

ANÁLISE DE VIABILIDADE ENTRE CONCRETOS DOSADOS PELOS MÉTODOS DA ABCP/ACI E IPT/USP

¹ LUCAS COSTA DO NASCIMENTO

² Fernanda Wanderley Correa Araújo

RESUMO

A determinação adequada da proporção de materiais na produção de um concreto pode implicar numa redução significativa do custo final de obra, uma vez que é um dos materiais mais utilizados na construção civil. A ampla utilização em obras de construção civil indica a necessidade da racionalização no quantitativo de materiais que compõem a mistura, através da determinação de um traço eficiente que permita uma interligação adequada entre as diferentes propriedades físicas requeridas a um concreto, com o menor custo possível. Este estudo apresenta uma análise comparativa de propriedades físicas e mecânicas, consumo de materiais e de custo entre dois métodos de dosagem: o proposto pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), que é uma adaptação do método da ACI, e o método experimental do IPT/EPUSP. A partir de parâmetros iniciais (volume de concreto, resistência à compressão, abatimento pelo tronco de cone e propriedades físicas do cimento e agregados) e seguindo as prescrições e etapas descritas pelos métodos, determinou-se os respectivos traços para a moldagem de determinada quantidade de corpos de prova rompidos com idades de 14 e 28 dias. Com os dados obtidos, comprovou-se que ambos os métodos são aptos para fornecerem concretos com as propriedades físicas predefinidas. Em termos de custo, a análise financeira do consumo de materiais, baseada nos preços de referência do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI/PE Abril-2019), verificou uma maior economia de materiais pelo método do IPT/EPUSP.

Palavra-Chave: concreto, métodos de dosagem, consumo de materiais, custo, resistência.

ABSTRACT

The proper determination of the proportion of materials in the production of a concrete can imply a significant reduction of the final cost of work, since it is one of the materials most used in construction. The wide use in civil works indicates the need to rationalize the quantity of materials composing the mixture by determining an efficient feature that allows an adequate interconnection between the different physical properties required of a concrete with the lowest possible cost. This study presents a comparative analysis of physical and mechanical properties, material consumption and cost between two dosing methods: the one proposed by the Brazilian Portland Cement Association (ABCP), which is an adaptation of the ICA method, and the experimental method IPT / EPUSP. From initial parameters (concrete volume, compressive strength, cone trunk abatement and physical properties of cement and aggregates) and following the prescriptions and steps described by the methods, the respective traces were determined for the molding of a certain amount of ruptured specimens aged 14 and 28 days. With the obtained data, it was verified that both methods are able to provide concretes with the predefined physical properties. In terms of cost, the financial analysis of material consumption, based on the reference prices of the National System of Costs Survey and Civil Construction Indices (SINAPI / PE April-2019), verified a greater material saving by the IPT / EPUSP.

Keywords: concrete, dosage methods, material consumption, cost, resistance.

¹ Bacharelando em Engenharia Civil – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (PE) – Brasil

² Orientador do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (PE) – Brasil

1 Introdução

Dezenas de milhões de metros cúbicos de concreto são produzidos anualmente, sendo este material classificado como um dos mais consumidos no mundo. Sua extensa utilização na construção civil está intimamente relacionada com a grande versatilidade de seu uso: quando no estado fresco, pode ser moldável e adensável, permitindo a criação de peças de formatos variáveis, após seu endurecimento, pode atingir satisfatórias resistências à compressão, viabilizando o funcionamento dessas peças (METHA & MONTEIRO, 1994).

De forma geral, pode-se afirmar que o concreto é um produto resultante da mistura de um meio aglomerante com materiais de diferentes naturezas. A ABNT NBR 12655 (2015), no item 3.1, define concreto de cimento Portland como sendo a mistura homogênea de cimento, agregados e água, incluindo ou não componentes minoritários como aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozzolânicos. Segundo Neville & Brooks (2010) pode-se entender a relação entre os materiais constituintes do concreto como uma mistura de duas fases: a pasta de cimento hidratada e os agregados, assim é evidente que as propriedades da mistura é função das propriedades das duas fases e da interface entre elas.

Um concreto que atenda aos requisitos mínimos de qualidade, deve reunir propriedades que permitam seu transporte, lançamento e adensamento. A eficiência nesses processos é de fundamental importância para garantir o bom funcionamento da peça moldada e que o material após endurecido apresente as características de desempenho e durabilidade especificadas em projeto.

A principal característica do concreto em seu estado fresco é a trabalhabilidade. Bauer (2016) explica que um concreto é trabalhável quando há uma adequada ligação entre a mistura, o tipo da obra, os métodos de lançamento, adensamento e acabamento. Dessa forma, um concreto pode ser trabalhável em determinada situação, porém não em outra, pois as condições relativas à natureza da obra e aos métodos de execução adotados podem inviabilizar o seu uso. A trabalhabilidade é uma característica difícil de ser quantificada, em função disso, na prática, verifica-se a sua consistência, pois é o fator que mais influi nesta propriedade.

Segundo Rodrigues (1998) a plasticidade pode ser entendida como a facilidade em que uma certa massa de concreto fresco se deforma sob ação de uma força externa ou interna, como por exemplo, o peso próprio. O mesmo autor ainda afirma que é possível classificar a consistência de um concreto como seca, semiplástica, plástica e fluida. O

método de ensaio mais usual para determinação da consistência é o ensaio do abatimento do tronco de cone, especificado pela ABNT NBR NM 67 (1998).

Em seu estado endurecido, a principal característica do concreto é a sua resistência à compressão axial. De acordo com Neville & Brooks (2010), de forma geral, a resistência à compressão é de fácil verificação, pois o atendimento às especificações e obrigações contratuais, se dá devido a correlação existente entre essa resistência e as outras propriedades, como: massa específica, impermeabilidade, durabilidade e resistência à abrasão, impacto, tração e a sulfatos. Rodrigues (1998) relata que a resistência do concreto pode ser função da resistência da pasta, da aderência entre pasta e agregado e da resistência do agregado; de forma secundária, o teor de cimento e a dimensão máxima característica (DMC) dos agregados também ocasionam uma devida influência.

A boa prática da engenharia exige que essas propriedades - tanto no estado fresco como no endurecido – sejam atingidas com o menor custo possível. Dessa forma fica evidente a necessidade de se realizar um estudo que permita definir as proporções adequadas de cada material a ser misturado, esse procedimento é denominado dosagem. De acordo com Helene & Terzian (1992), um concreto econômico nem sempre é aquele que atende a todas as exigências com o menor consumo do aglomerante, em alguns casos os aditivos podem apresentar preços equivalentes ao do cimento, em outros, os agregados graúdos podem ser de difícil obtenção, dessa forma pode ser conveniente aumentar a proporção do material de fácil acesso a fim de obter um concreto menos oneroso.

Percebe-se que a dosagem de um concreto é um processo complexo que depende de variáveis específicas das diversas condições de uso. Há muito tempo pesquisadores dedicam estudos nessa área, desenvolvendo métodos que se aplicam em diversas condições especiais. Alguns dos métodos comumente utilizados no Brasil são: ABCP, IPT, UFRGS e a Tabela de Caldas Branco. Nesse estudo, porém, serão analisados os métodos ABCP e IPT.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) elaborou seu método de dosagem baseado no método proposto pelo *American Concrete Institute* (ACI). De acordo com Rodrigues (1998), após a realização de vários estudos - onde foram confeccionados aproximadamente 150 traços de concreto - foi possível concluir que o método do ACI obedecia muito bem às exigências de simplicidade e eficiência, entretanto foi necessário realizar ajustes para as condições brasileiras. O método, que foi publicado em um estudo técnico de autoria do engenheiro Públio Penna Firme Rodrigues, permite ser empregado de forma simples: conhecendo as características dos materiais e definindo as propriedades

a serem alcançadas pelo concreto, basta seguir uma série de etapas (utilizando gráficos e tabelas) para que se obtenha o traço.

No livro “Manual de Dosagem e Controle de Concreto”, Helene & Terzian (1992) foi apresentada uma metodologia de dosagem que visa a determinação rápida e racional de um diagrama de dosagem. O método IPT/EPUSP, que foi baseado no método já existente desenvolvido no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), tem como objetivo a determinação de um diagrama de dosagem, que permita obter, para os mesmos materiais, traços específicos para resistências distintas.

Desta forma, este artigo objetiva examinar quais os efeitos da aplicação desses métodos frente à racionalização dos quantitativos de materiais nas misturas de concreto, tendo em vista não só atingir as propriedades necessárias, mas também obter a dosagem mais econômica.

2 Metodologia de pesquisa

Para ambos os métodos de dosagem, faz-se necessário inicialmente a caracterização dos materiais utilizados na fabricação do concreto. Os índices físicos são apresentados na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Características dos materiais.

Agregado miúdo (Areia)		Agregado graúdo (Brita)		Cimento	
MF	2,8	DMC	19 mm	Tipo	CP II - Z - 32
δ	2366,09 kg/m ³	δ	2700 kg/m ³	δ	3000 kg/m ³
μ	2073,13 kg/m ³	γ_{comp}	1528,1 kg/m ³		

Definiu-se o f_{ck} , resistência característica de compressão do concreto aos 28 dias, com base na classe de agressividade ambiental dada pela NBR 12655/2006, que no caso deste trabalho trata-se da classe II, com agressividade moderada e pequeno risco de deterioração da estrutura, resultando em um concreto de classe C25. Outra característica definida foi o abatimento do concreto adotado como sendo 90 ± 10 mm, adotado conforme a norma ACI 211-81 que apresenta os valores de abatimento em função dos diversos tipos de construção, conforme Tabela 2. Adotou-se no presente trabalho a utilização do concreto em elementos estruturais de vigas e pilares.

Tabela 2 - valores de abatimentos recomendados em função do tipo de obra

Tipos de Obras	Abatimento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Paredes de fundações e sapatas armadas	75	25
Sapatas planas, caixões e paredes de infraestrutura	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifícios	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Construções de concreto massa	50	25

FONTE: ACI 211.1-81

Obs: Quando o método de adensamento não for vibratório, os valores dos abatimentos, apresentados na tabela, podem ser incrementados em 25mm.

Definida a classe de resistência, analisou-se as condições de preparo do concreto em função do desvio padrão (s_d), conforme na NBR 12655/2006. No caso deste estudo, foi a condição A com cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água medidos em massa e com correção de umidade, resultando em um s_d de 4,0 MPa. Assim, pode-se calcular a resistência de dosagem levando-se em conta o desvio padrão pela Equação 1 abaixo:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 s_d$$

$$f_{cj} = 25 + 1,65 * 4 = 31,6 \cong \mathbf{32 MPa}$$

(Equação 1: Cálculo da resistência de dosagem.)

Dessa forma, a Tabela 3 a seguir mostra as características desejadas do concreto produzido.

Tabela 3 - Características estabelecidas ao concreto.

CONCRETO	
f_{ck}	25 MPa
s_d	4 MPa
Abatimento	90±10mm
f_{cj}	32 MPa

2.1. Método de dosagem: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

O método da ABCP consiste basicamente em coletar alguns dados referentes aos materiais utilizados, tais como Módulo de Finura (MF), Dimensão Máxima Característica (DMC), Umidade (h%) e Massas Específicas Real (δ) e Unitária (γ) de cada material que

será empregado na produção do concreto e, a partir destes, aplicar em gráficos e tabelas que funcionam como ábacos que ao fim fornecerá a proporção final do traço.

2.1.1 Procedimento de cálculo para montagem do traço.

Definida a resistência mecânica, vide Tabela 3, o valor da relação água/cimento é estimado com base na curva de Abrams, que por sua vez, deve ser determinado em função do tipo de cimento. Quando não se dispõe da Curva de Abrams e não houver restrições quanto à durabilidade, é possível utilizar-se das Curvas de Walz, mostradas na Figura 1.

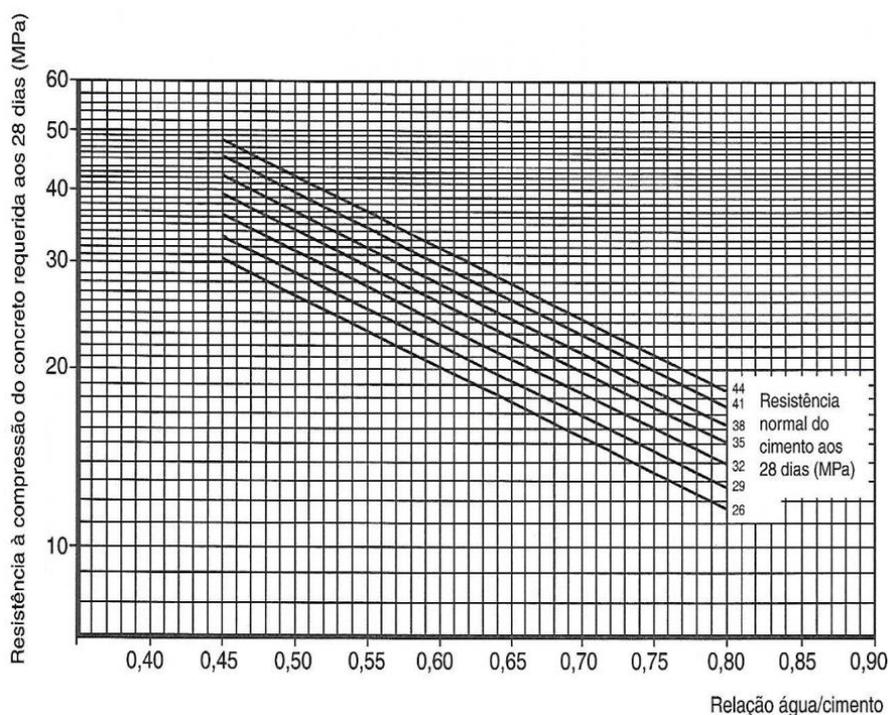


Figura 1 - Curva de Walz (RODRIGUES (1998), p.18).

Em seguida determina-se os consumos dos materiais começando pelo consumo de água. Para tal, basta correlacionar o abatimento desejado (ver Tabela 3) com a DMC do agregado graúdo (ver Tabela 1) através da Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 - Determinação do consumo de água

Consumo de água aproximado (L/m³)					
Abatimento (mm)	Dimensão Máxima Característica (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

FONTE: RODRIGUES (1998), p.20

Como o abatimento desejado esteve entre em 80 e 100 mm e a DMC do material foi de 19 mm, o consumo de água (C_a) aproximado é de 205 L/m³. Em seguida foi calculado o consumo de cimento (C), conforme a Equação 2:

$$a/c = \frac{C_a}{C} \quad (\text{Equação 2: Cálculo do consumo de cimento})$$

Assim, o consumo de cimento estimado é de 414,14 kg/m³.

Em seguida, determinou-se o teor de consumo de agregado graúdo, utilizando o valor do Módulo de Finura (MF) e a Dimensão Máxima Característica (DMC) na Tabela 5. Após achar o teor do consumo, basta multiplicá-lo pelo peso específico do agregado compactado, obtendo assim o consumo de agregado graúdo.

Tabela 5 - Determinação do teor de consumo de agregado graúdo

MF	Dimensão Máxima Característica (mm)				
	9,5	19,5	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

FONTE: RODRIGUES (1998), p.20

Como o módulo de finura do agregado miúdo foi de 2,8 e a DMC do agregado graúdo é de 19 mm (Ver Tabela 1), obtém-se que o teor do consumo de agregado é de 0,670. Assim, o consumo de agregado graúdo foi de 1023,83 kg/m³.

Por último calculou-se o consumo de agregado miúdo multiplicando o volume de areia pelo seu peso específico real. Para o cálculo do volume de agregado miúdo utiliza-se a Equação 3: utilizar os valores reais da Tabela 1 e de consumo de cimento (414,14).

$$V_{\text{areia}} = 1 - \left(\frac{\text{cimento}}{\gamma_{\text{cim}}} + \frac{\text{brita}}{\gamma_{\text{brita}}} + \frac{\text{água}}{\gamma_{\text{água}}} \right)$$

$$V_{\text{areia}} = 1 - \left(\frac{414,14}{3000} + \frac{1023,83}{2700} + \frac{205}{1000} \right)$$

$$V_{\text{areia}} = 0,28$$

(Equação 3: Obtenção do volume de areia.)

Assim, o consumo de areia foi de 662,5 kg/m³.

Por fim, com os dados dos consumos de cimento, areia, brita e água pôde-se obter o traço unitário, como mostrado a seguir:

414,14 : 662,5 : 1023,83 : 205 - Traço em massa (TM)

Tabela 6 – Traço unitário em massa (kg) pelo método da ABCP.

Cimento	Areia	Brita	Água/cimento	Consumo de cimento
1,00	1,59	2,47	0,49	414 kg/m ³

2.1.2 Execução do traço

Para a execução do traço, calculou-se o consumo de cimento necessário para confecção de 6 corpos de provas, os quais foram divididos em dois grupos de três. O primeiro grupo (G1) foram rompidos aos 14 dias, o segundo grupo (G2) aos 28. Contudo, teve-se que calcular primeiro o volume total dos corpos de prova em litros com um acréscimo de 10%, assim:

$$V_c = [9 \times (\pi \times 5^2) \times 20] \times 1,1 = 15550,88 \text{ cm}^3 = 15,55 \text{ Litros}$$

Dado o volume de 15,55 litros, pode-se calcular o consumo de cimento para a confecção desse volume de concreto utilizando-se a Equação 4.

$$C_{\text{cimento}} = \frac{V_c}{\left(\frac{1}{\gamma_{\text{cim}}} + \frac{\text{areia}}{\gamma_{\text{areia}}} + \frac{\text{brita}}{\gamma_{\text{brita}}} + a/c \right)} \quad \text{(Equação 4: Consumo de cimento.)}$$

Utilizando-se a equação acima, obteve-se o consumo de cimento de 6,43 kg. Sabendo-se o consumo de cimento e o traço unitário em massa, basta multiplicar esse consumo pelo traço e achar a massa de cada material para a confecção de 15,55 litros de concreto resultando em:

Tabela 7 - Massa dos materiais para a confecção do concreto.

Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)
6,43	10,52	16,05	3,00

Assim sendo, pôde-se pesar os materiais como (Figura 2); foi feita a imprimação da betoneira; misturou-se os materiais (Figura 3); averiguou-se o abatimento (Figura 4); em seguida moldou-se os corpos de prova (Figura 5); após 24h desmoldou-se os corpos de prova e colocou-os em tanque de cura e foram retirados em grupos de três para ensaio de compressão aos 14 (G1) e 28 (G2) dias.



Figura 2 – Materiais pesados e separado.



Figura 3 - Betoneira em funcionamento.



Figura 4 - Execução de averiguação do abatimento.



Figura 5 - Copos de provas nos moldes (G1)

2.2 Método de dosagem: IPT/EPUSP

O método consiste em encontrar, de forma experimental, a melhor proporção entre os agregados constituintes do traço. O abatimento foi definido em função da trabalhabilidade requerida, a depender da aplicação e emprego do concreto dosado. Fixado

o *slump* em 90±10 mm e a quantidade de brita inicial – no caso dessa pesquisa adotado em 20kg – exploram-se diferentes teores de argamassas, formulado a seguir:

$$\alpha = \frac{1 + a}{1 + m} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde,

α : teor de argamassa;

m: Soma de areia e brita (a+b);

a: Areia.

2.2.1 Definição dos parâmetros para obtenção do diagrama de dosagem

Para elaboração do diagrama de dosagem, partiu-se do princípio que seriam necessários três pontos que correlacionassem a resistência à compressão, relação a/c, traço e consumo de cimento. Para o presente estudo definiu-se a avaliação dos teores de argamassas para o traço base de 1:5 (cimento: agregados secos totais, em massa – m), atendendo as recomendações do método do IPT/EPUSP.

A análise e determinação do teor de argamassa ideal para o traço foi de grande importância para a adequabilidade do concreto quanto ao seu uso. A falta de argamassa proporciona um concreto com grande segregação, alta porosidade e falta de coesão, favorecendo no surgimento de falhas de concretagem. Por outro lado, o excesso no teor, nos garante uma melhor aparência e coesão, no entanto aumenta o custo para produção devido a um maior consumo de cimento. Além desse fator, um alto teor de argamassa favorece o surgimento de patologias de fissuração, por origem térmica e/ou por retração de secagem.

Na Tabela 8, pode-se observar as quantidades de cada componente do traço base, para um teor de argamassa inicial, assim como as quantidades de acréscimos de cimento e areia.

O material foi inicialmente pesado e separado, figura 6a, e posto na betoneira (que estava devidamente imprimada), na respectiva ordem: brita, 80% água, areia, cimento e os 20% restante da água. Após esse procedimento foram realizados os acréscimos sucessivos de argamassas na mistura até atingir o teor ideal.

Percebeu-se que as melhores condições de coesão e envolvimento dos agregados ocorreu para um teor de 56%, como mostra a Figura 6b. Nota-se um aspecto homogêneo da superfície do concreto, com argamassa envolvendo os grãos do agregado graúdo.

Tabela 8 – Traço base em função do teor de argamassa.

Teor de Argamassa	Traço Unitário			Qtde. de Areia (kg)		Qtde. de Cimento (kg)		Qtde. de Brita (kg)
	Cimento	Areia	Brita	Massa Total	Acréscimo	Massa Total	Acréscimo	
40%	1	1,4	3,6	7,78		5,56		20,00
42%	1	1,52	3,48	8,74	0,9579	5,75	0,1916	20,00
44%	1	1,64	3,36	9,76	1,0263	5,95	0,2053	20,00
46%	1	1,76	3,24	10,86	1,1023	6,17	0,2205	20,00
48%	1	1,88	3,12	12,05	1,1871	6,41	0,2374	20,00
50%	1	2	3	13,33	1,2821	6,67	0,2564	20,00
52%	1	2,12	2,88	14,72	1,3889	6,94	0,2778	20,00
54%	1	2,24	2,76	16,23	1,5097	7,25	0,3019	20,00
56%	1	2,36	2,64	17,88	1,6469	7,58	0,3294	20,00
58%	1	2,48	2,52	19,68	1,8038	7,94	0,3608	20,00
60%	1	2,6	2,4	21,67	1,9841	8,33	0,3968	20,00

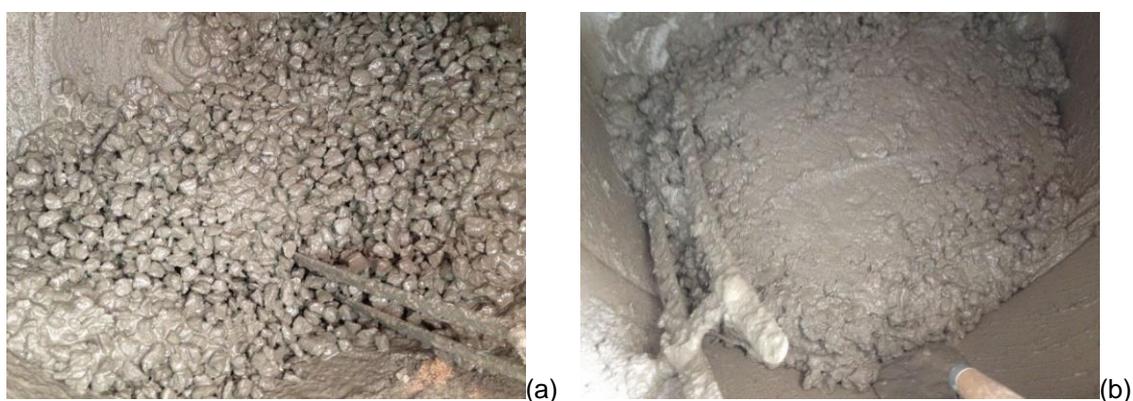


Figura 6 - Análise comparativa do traço base com teor de argamassa inicial (a) e ideal (b).

A próxima etapa foi a determinação dos dois traços auxiliares para possibilitar a montagem do diagrama de dosagem. Para esses dois traços foi estabelecida uma variação do teor de agregados de $m \pm 1,5$ em relação ao traço base (de 1:5). Desta forma, a proporção 1:m do traço rico ficou 1:3,5, e para o traço pobre de 1:6,5.

Levando em consideração o teor de argamassa ideal encontrado durante a dosagem do traço base (de 56%), e a consistência preestabelecida na metodologia (de 90 ± 10 mm), foi possível estabelecer os traços rico (1:1,52:1,98:0,37) e pobre (1:3,2:3,3:0,68).

2.2.2 Montagem do Diagrama de dosagem e obtenção do traço definitivo

Nas idades de 14 e 28 dias, os corpos de prova moldados, referentes aos traços base, rico e pobre, foram rompidos à compressão conforme a NBR 5739/2018 (Tabela 9).

Tabela 9 - Resistências médias dos corpos de prova para os traços rico, base e pobre.

Traço	$f_{cm,14}$ (MPa)	$f_{cm,28}$ (MPa)
1:1,52:1,98:0,37 (Rico)	37,63	40,95
1:2,36:2,64:0,39 (Base)	24,35	27,20
1:3,2:3,3:0,68 (Pobre)	15,76	17,90

Com os valores de resistência obtidos, foi possível iniciar a montagem do diagrama de dosagem. Mas vale destacar que o diagrama apresentado é apenas válido para materiais com as mesmas propriedades físicas e parâmetros adotados neste estudo. Qualquer modificação implica na necessidade de uma nova análise experimental.

A correlação entre a resistência à compressão axial aos j dias (f_{cj}) e a relação água/cimento é baseada na “Lei de Abrams” (Equação 6); já entre o traço de concreto (m) e a relação água/cimento é definida pela “Lei de Lyse” (Equação 7); enquanto que entre o consumo de cimento e o traço é baseada na “Lei de Molinari” (Equação 8).

$$f_c = \frac{k_1}{k_2^{a/c}} \text{ (Equação 6: Lei de Abrams)}$$

$$m = k_3 + k_4 \cdot a/c \text{ (Equação 7: Lei de Lyse)}$$

$$C = \frac{1000}{k_5 + k_6 \cdot m} \text{ (Equação 8: Lei de Molinari)}$$

Aplicando a regressão linear na Equação 6, pode-se obter a relação a/c , com os valores dos coeficientes de k_1 e k_2 . O traço m , por sua vez é diretamente proporcional à relação a/c , segundo Equação 7. Para obter os coeficientes k_5 e k_6 linearizou-se a Equação 08, onde os coeficientes k_1 à k_6 são constantes definidas pelo método. Após a obtenção dos dados referentes ao estudo experimental do IPT/EPUSP, elaborou-se o diagrama de dosagem, que correlaciona a resistência à compressão axial (f_{cj}), relação água/cimento (a/c), traço de concreto (m) e consumo de cimento (C), conforme apresentado na Figura 8:

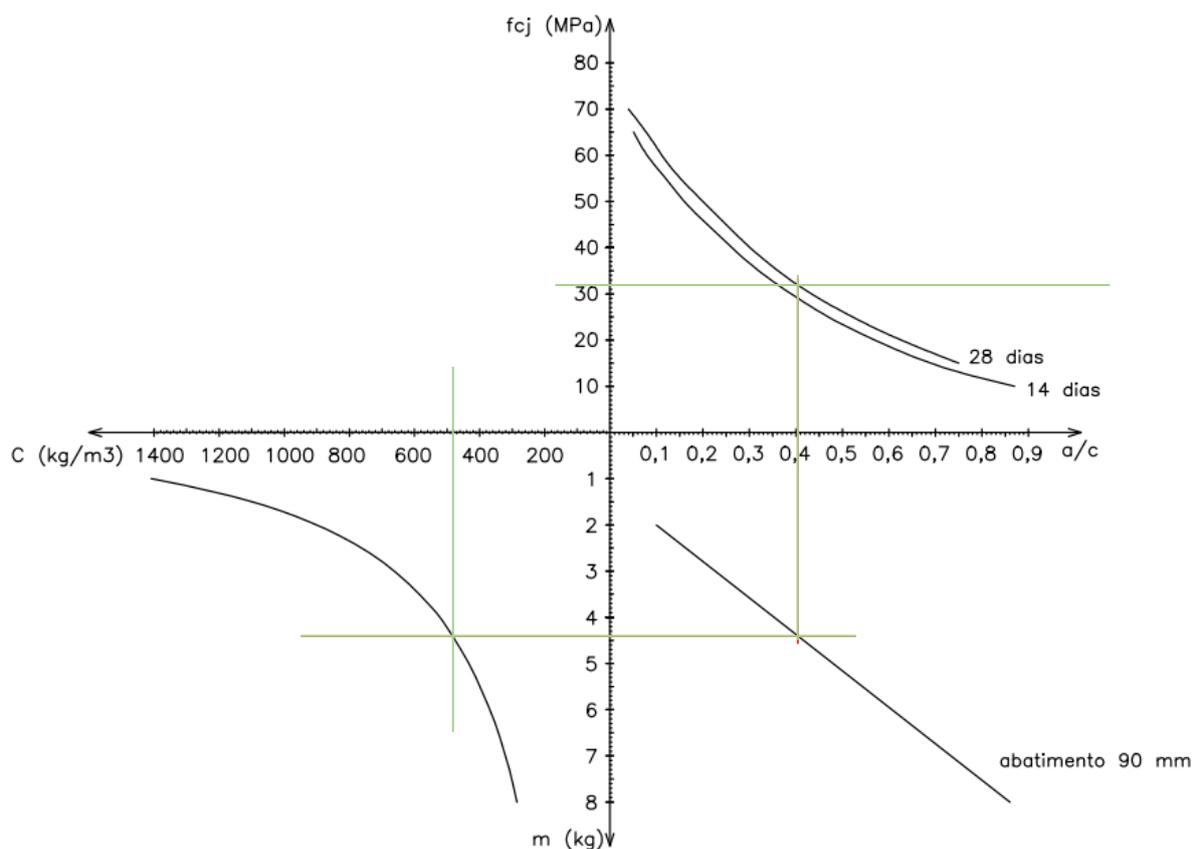


Figura 8 - Diagrama de dosagem – método IPT/EPUSP.

A partir do diagrama de dosagem, do método experimental do IPT/EPUSP expresso na Figura 8 é possível obter qualquer traço para as resistências à compressão desejadas. No entanto, as características dos materiais e as propriedades do concreto se devem manter conforme às preestabelecidas neste estudo no tópico 2 (teor de argamassa e consistência). No estudo em questão, o diagrama de dosagem foi montado para obter o traço de concreto com as características predefinidas pela Tabela 3. Assim, foi possível definir o traço (Tabela 10) para a resistência 32MPa aos 28 dias de idade.

Tabela 10 – Traço unitário em massa (kg) pelo método do IPT/EPUSP.

Cimento	Areia	Brita	Água/cimento	Consumo de cimento
1,00	2,02	2,38	0,40	490 kg/m ³

3 Resultados e Discussões

3.1 Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas

Em seu estado fresco, a propriedade física mais representativa do concreto é a sua consistência, a qual pode ser verificada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone,

segundo a NBR NM 67 (1998). Através deste ensaio verificou-se que para os dois traços houve atendimento ao abatimento requerido (90 ± 10 mm).

Quanto ao estado endurecido, a resistência à compressão axial é adotada como a principal, e mais representativa propriedade do concreto. A Tabela 11 indica os valores das resistências médias (f_{cm}) dos corpos de prova para idades de 14 e 28 dias:

Tabela 11 - Resistências médias dos corpos de prova dosados segundo os métodos da ABCP/ACI e IPT/EPUSP.

Traço	$f_{cm,14}$ (MPa)	$f_{cm,28}$ (MPa)
ABCP	32	35
IPT	29	32

Com base na metodologia de dosagem da ABCP e no diagrama de dosagem elaborado a partir do método do IPT/EPUSP, verifica-se que para a obtenção da resistência de dosagem preestabelecida (32 MPa), utilizam-se traços distintos, os quais diferem no consumo de materiais.

3.2 Análise comparativa de custo

A análise financeira foi realizada a partir dos preços de referência do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), referente aos insumos com desoneração do mês de abril de 2019, no estado de Pernambuco. Os preços de referência dos respectivos materiais estão indicados na Tabela 12. Para fins simplificativos, a análise foi restringida ao custo dos materiais secos. Não foram levadas em consideração as despesas referentes a serviços operacionais (ensaios, transporte de materiais, concretagem etc.).

Tabela 12 - Preços dos materiais secos

Código	Descrição do insumo	Unidade	Preço mediano (R\$)
00001379	Cimento Portland composto CP II-32	kg	0,41
00000370	Areia média - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m ³	65,00
00004721	Pedra britada n.1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m ³	60,68

FONTE: SINAPI/PE – maio/2019

A partir dos traços unitários indicados nas Tabelas 6 e 10, verificou-se os custos para diferentes volumes de concreto:

Tabela 13 - Comparativo de preços dos materiais secos de concretos dosados pelos métodos ABCP/ACI e IPT/EPUSP.

Volume de concreto (m ³)	Custo (R\$) Traço IPT/EPUSP	Custo (R\$) Traço ABCP/ACI	Diferença (R\$)
1	228,06	235,7	7,64
5	1.140,30	1.178,50	38,20
20	4.561,20	4.714,00	152,80
50	11.403,00	11.785,00	382,00
100	22.806,00	23.570,00	764,00
250	57.015,00	58.925,00	1910,00
500	114.030,00	117.850,00	3820,00
1000	228.060,00	235.700,00	7640,00

Analisando as informações contidas na Tabela 13, nota-se que o concreto dosado pelo método do IPT/EPUSP apresentou uma economia de 3,24% em relação ao método da ABCP. Esta diferença de valores também pode ser observada através do volume requerido de concreto – caso seja requisitado para uma edificação de pequeno porte um volume de 20 m³ de concreto, a utilização do método do IPT/EPUSP traria uma economia de R\$ 152,80 de materiais secos em relação ao método da ABCP/ACI; em uma edificação de médio porte, para volume de 250 m³, essa economia se elevaria para R\$ 1.910,00; já para um empreendimento de grande porte, se requisitado um volume de 1000 m³, haveria um racionamento de R\$ 7.640,00. Portanto, observa-se que a escolha do método mais adequado pode ser influenciada pelo volume de concreto objetivado.

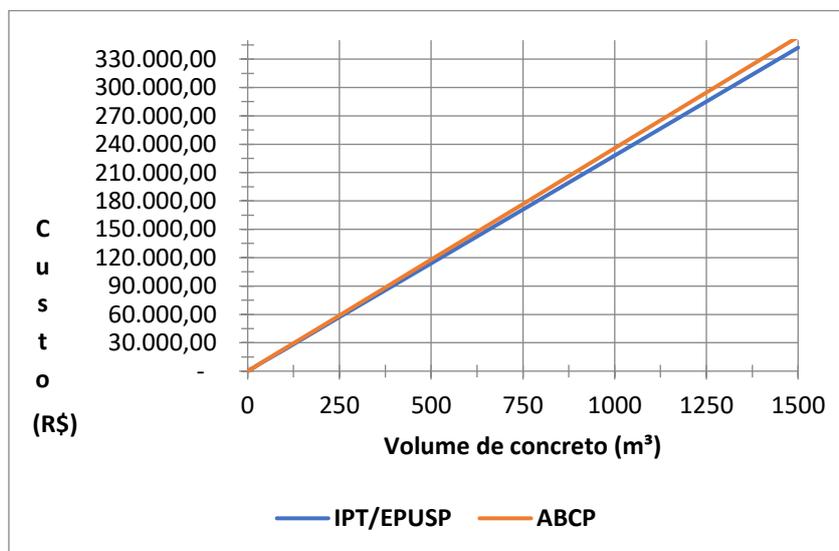


Figura 9 - Custo dos materiais secos em função do volume de concreto.

4 Conclusão

O presente estudo foi direcionado à análise das principais propriedades físicas e da economia de materiais de dois concretos dosados pelo método da ABCP/ACI e IPT/EPUSP. Em termos das propriedades físicas, constatou-se que em ambos os métodos foi possível atingir os valores resistência à compressão axial e de consistência predefinidas, certificando a validade dos métodos para dosagem de concretos convencionais.

Em termos econômicos, foi verificado que o concreto dosado a partir do método do IPT/EPUSP apresentou um custo de materiais secos inferior (na ordem de 3,24%). A expressividade na diferença de preços depende do volume de concreto requerido para determinada edificação, podendo ser ou não significativa. Além disso, cabe destacar a menor complexidade na dosagem do concreto pelo método da ABCP/ACI – o que poderia repercutir em menores despesas de serviços operacionais. Conseqüentemente, pode-se afirmar que a definição do método de dosagem mais adequado deriva de circunstâncias específicas nas quais o material será utilizado, atentando-se ao volume requerido e ao custo de serviços.

A homogeneidade dos materiais, o conhecimento e experiência do tecnologista, a demanda de trabalho experimental e uso de laboratórios, dentre outros fatores influenciam na obtenção dos resultados. Portanto, deve-se atentar para a adoção de um método de dosagem em que haja a coerência da fundamentação teórica e aspectos práticos, como a adequação do método à realidade da obra.

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 5739:2018**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Concrete – Compression Test of Cylindrical Specimens Comitê. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

BAUER, L. F. **Materiais de Construção**: Novos Materiais para Construção Civil. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

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

METHA & MONTEIRO, **Concreto – Estruturas Propiedades e Materiais**, São Paulo, 1994

NEVILLE, A., & BROOKS, J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2010.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. ET – 67. São Paulo: ABCP, 1998.

Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI.
Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx> . Acesso: 30/05/2018.