

## PCC 3222 Prova I 2023

### Gabarito

#### 1. “As características dos concretos no estado fresco impactam em seu desempenho no estado endurecido e nos impactos ambientais decorrentes.”

A partir dessa afirmação, analise as frases abaixo, e as relacione com impactos ambientais atrelados aos concretos.

- 1) Em concretos bem compactados, quanto menor for o teor volumétrico de água, menos poros e melhores as propriedades no estado endurecido
- 2) Para um determinado tipo de concreto, mantidas constantes as matérias-primas, e quanto menor for o teor de água, mais difícil será obter trabalhabilidade adequada

O desempenho mecânico de um concreto no estado endurecido está diretamente relacionado com a presença das fases hidratadas do cimento e à porosidade residual no concreto. Sabendo que o teor de água consumido pela reação de hidratação é sempre menor que o necessário para obter a continuidade volumétrica das fases e sua fluidez no estado fresco, essa porosidade residual decorre da diferença entre a parcela da água consumida na hidratação do cimento e o excesso de água para obter a mobilidade (fluidez) do concreto. Quanto menor for a água em excesso, menos poroso e mais resistente será o concreto para um determinado grau de hidratação.

Contudo, formular composições de concreto com reduzido teor de água é sempre uma tarefa mais técnica, demandando maior controle dos fatores que afetam a mobilidade das partículas, sobretudo quando maiores índices de fluidez são exigidos. Por outro lado, se for necessário elevar o teor de água para obtenção da fluidez em um concreto, a consequente redução da resistência mecânica forçará o aumento no teor de cimento para compensar. Toda solução que eleve o consumo de cimento no concreto prejudica o meio ambiente devido às emissões de CO<sub>2</sub> geradas na fabricação do clínquer Portland, lembrando que a fabricação de cimento responde por grande parcela desse gás na atmosfera.

2. A porosidade previsível da pasta de cimento endurecida, em cada idade, é resultado do volume de água não consumida nas reações químicas de hidratação e da contração volumétrica da água que passa ao estado sólido. Ela define a resistência mecânica da pasta e, mantido o volume de pasta, a resistência dos concretos convencionais. Também influencia a estabilidade dimensional – retração por secagem e fluência - dos concretos e o transporte de massa (águas puras ou contaminadas, gases como o CO<sub>2</sub>) que podem causar a degradação das estruturas.

Dois cimentos CPII estão disponíveis para produzir concretos de uma obra, um CP 40 e outro CP 32. O estudo inicial de dosagem chegou em formulações trabalháveis na tabela abaixo. Resultados de resistência mecânica somente estarão disponíveis em 28 dias.

Materiais	Água combinada 28 dias (g/g)	Concreto I		Concreto II	
		kg/m <sup>3</sup>	D (kg/dm <sup>3</sup> )	kg/m <sup>3</sup>	D (kg/dm <sup>3</sup> )
Cimento A	0,2	370	2,95		
Cimento B	0,25			336	3,1
Agregados		1833	2,67	1833	2,67
Água		188	1	205	1

Com base nos dados acima, assumindo que a água ao se combinar sofre uma redução volumétrica de 25%, e desprezando o ar incorporado na mistura e adensamento, estime:

||

Todas as respostas precisam estar na Tabela resumo. Adicionalmente, as justificativas e evidências (cálculos, raciocínios) que as embasam, devem ser apresentadas de forma facilmente verificável.

Tabela resumo de respostas. Inclua as unidades se necessário.

	Concreto I	Concreto II
Densidade kg/m <sup>3</sup>	2391 ou 2241	2374 ou 2253
Volume de pasta (dm <sup>3</sup> /1000dm <sup>3</sup> )	313,4	313,4
Porosidade do concreto (dm <sup>3</sup> /dm <sup>3</sup> )	0,132	0,142
Resistência (Maior/menor)	M (ou não sabemos)	
Classe de Resistência do cimento	32 (ou 25)	40 (ou 32 se I 25)

O primeiro problema (que foi resultado de acaso) foi interpretar a tabela. A coluna kg/m<sup>3</sup> é o consumo de materiais para fazer 1m<sup>3</sup> de concreto. A coluna D (kg/dm<sup>3</sup>) é massa específica dos materiais, usada para calcular volume. Esta identificação não deveria ser problema para quem fez os exercícios em classe e imagina o sentido físico das grandezas.

### A densidade de cada concreto (kg/m<sup>3</sup>)

Densidade do concreto no estado fresco é a simples soma da massa de concreto dividido pelo volume ocupado.

A tabela apresenta a quantidade de cada ingrediente (cimento, agregados, água) para produzir 1m<sup>3</sup> de concreto.

Densidade úmida do concreto I = 370+1833+188 = 2391 kg/m<sup>3</sup>

Densidade úmida do concreto II = 336+1833+205 = 2374 kg/dm<sup>3</sup>

Como não estava especificado, é também possível considerar a densidade seca, após o concreto hidratar e o excesso de água evaporar – o que exigiria longo tempo em umidade muito baixa e não ocorre na prática na quase totalidade dos ambientes, onde o concreto nunca seca completamente. Neste caso, somente a fração da água que reage quimicamente com o cimento (0,25 da massa do cimento) contribui para o peso. O volume do concreto é definido pelo espaço ocupado pelos materiais úmidos (ignorando a retração, que na quase totalidade das situações, não tem significado prático).

Densidade seca do concreto I = 370+1833+(0,25\*370) = 2277 kg/m<sup>3</sup>

Densidade seca do concreto II = 336+1833+(0,2\*336) = 2253kg/dm<sup>3</sup>

Na prática, todavia, espera-se que em uma peça típica de concreto para edifício (espessuras entre 15 a 20cm) vai estabilizar com uma umidade média (mais seco na superfície, mais saturado no centro) em torno de 5%. Você consegue calcular a densidade do concreto?

O volume de pasta de cada concreto ( $\text{dm}^3$ ).

Desprezado o ar incorporado (que tipicamente 2% mas pode ser mais alto) o volume de pasta é a soma dos volumes ocupados pelo cimento e a água.

$$V_{\text{pasta}} = V_{\text{cimento}} + V_{\text{água}}$$

### Concreto I

2,95 kg of cimento (*ocupa*)  $1 \text{ dm}^3$

370 kg of cimento (*ocupa*)  $V_{\text{cimento}} \text{ dm}^3$

$$V_{\text{cimento}} = 370 \text{ kg} / 2,95 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3} = 125,4 \text{ dm}^3$$

$$V_{\text{água}} = 188 \text{ kg} / 1 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3} = 188,0 \text{ dm}^3$$

$$V_{\text{pasta I}} = 313,4 \text{ dm}^3$$

### Concreto II

$$V_{\text{pasta II}} = 336 / 3,1 + 205$$

$$V_{\text{pasta II}} = 108,4 + 205$$

$$V_{\text{pasta II}} = 313,4 \text{ dm}^3$$

Outra forma de estimar é observar que o volume da pasta é o volume total do concreto menos o volume ocupado pelos agregados. E que neste caso, o volume dos agregados é o mesmo. O volume de pasta dos dois concretos precisa ser igual.

Como a soma dos volumes dos materiais é de  $1 \text{ m}^3$

$$V_p = 1000 - V_{\text{agregados}} = 1000 - 1833 / 2,67 = 313,4 \text{ dm}^3$$

### Estime a porosidade dos concretos ( $\text{dm}^3/\text{dm}^3$ )

Porosidade é a fração do volume total do concreto que ocupado pelos poros do concreto, mais a retração que a água sofre ao se incorporar em um sólido (0,25). Desprezado ar incorporado na mistura e moldagem, os poros são resultado da trabalhabilidade demandar mais água que a gasta na reação química de hidratação do concreto. Neste caso a água de reação química é 0,20kg de água para cada quilograma de cimento I e 0,25kg para o cimento II.

$$V_{\text{poros}} = V_{\text{água}} - V_{\text{cimento}} \cdot A_c(n)$$

$$V_{\text{poros (I)}} = 188 - 0,2 \cdot 370 + 0,25 \cdot 0,2 \cdot 370 = 188 - 74 + 114 + 18,5 \text{ dm}^3 = 132,5 \text{ dm}^3$$

$$V_{\text{poros (II)}} = 205 - 0,75(0,25 \cdot 336) = 142 \text{ dm}^3$$

Observe que mais de 10% do volume do concreto são poros ( $>130 \text{ L/m}^3$ ). Estes poros estão concentrados na pasta.

As massas de materiais da tabela são suficientes para produzir  $1 \text{ m}^3$ , ou  $1000 \text{ dm}^3$  de concreto (voce pode verificar somando os volumes). A porosidade é o volume de poros dividido pelo volume total,  $1000 \text{ dm}^3$

$$P_{\text{conc (I)}} = 0,132 \text{ dm}^3/\text{dm}^3$$

$$P_{\text{conc (II)}} = 0,142 \text{ dm}^3/\text{dm}^3$$

O concreto II tem menos cimento, mas um volume de poros maior.

Qual o concreto que potencialmente apresentará maior resistência mecânica aos 28 dias? Justifique.

Quando utilizamos agregados naturais e a resistência do concreto é baixa (<50MPa) a porosidade do concreto é governada principalmente pela porosidade da pasta (Pp).

Com os resultados da questão (b) e (c) é possível calcular a porosidade da pasta (Pp =

$$Pp(I) = 132\text{dm}^3/313,4\text{dm}^3 = 0,42\text{dm}^3/\text{dm}^3$$

$$Pp(II) = 142\text{dm}^3/313,4\text{dm}^3 = 0,45\text{dm}^3/\text{dm}^3$$

Em uma primeira aproximação, que o concreto I terá resistência maior pois tem menor porosidade da pasta hidratada. Assim, o concreto II será menos resistente. Esta estimativa é, no entanto, precária: parte destes poros serão poros de gel, e não irão afetar o transporte de massa e a resistência mecânica de maneira significativa.

Identifique a classe de resistência de cada cimento. Justifique.

A classe de resistência do cimento é uma medida da reatividade do cimento aos 28 dias de idade. Como a relação água/cimento é fixa, (0,485 kg de água: 1 kg de cimento), a areia sempre a mesma bem como a proporção entre cimento e areia (1:3) a resistência vai depender do volume de poros da pasta, uma função direta da água combinada.

Quanto maior a água combinada do cimento, maior a classe de resistência obtida neste ensaio.

Assim o cimento do concreto I, água combinada 0,2g/g, é de uma classe de resistência inferior ao do cimento do concreto II, 0,25g/g. Se o cimento I é CII 32, o cimento II será CII 40. É possível que o cimento I seja CP II 25 e o CII 32 ou 40.