



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CONCURSO PÚBLICO PARA PROFESSOR DO QUADRO PERMANENTE
EDITAL 89/2017-UFES

PROVA ESCRITA/CHAVE DE RESPOSTAS¹

1ª Questão: Considerando um edifício residencial em Vitória/ES (10 pavimentos, meio marinho/industrial, UR = 80%, T = 28°C), no que se refere ao cimento Portland e ao concreto de cimento Portland **(valor 50,0)**:

(1) Aponte e justifique 2 (duas) propriedades essenciais ao concreto no estado fresco e 4 (quatro) propriedades essenciais ao concreto no estado endurecido para os pilares do sistema estrutural em concreto armado deste estudo de caso. **(valor 2 por propriedade, total 12)**

Propriedades do concreto no estado fresco: Trabalhabilidade e consistência para facilitar a execução (requisito de desempenho de construtibilidade).

Propriedades do concreto no estado endurecido: Resistência mecânica, módulo de elasticidade (requisito de desempenho de segurança estrutural); baixa porosidade (requisito de desempenho vida útil e durabilidade, agressividade do meio); durabilidade/resistência química (requisito de desempenho vida útil e durabilidade, agressividade do meio).

(2) Informe a classe de agressividade, o fck do concreto, a relação a/c e a vida útil de projeto, com base na ABNT NBR 6118/2014 e na NBR 15.575/2013 deste estudo de caso. **(valor 2 por item, total 8)**

Classe de agressividade: III (meio marinho/industrial)

fck=30MPa

a/c=0,55

vida útil de projeto=50anos

¹ Esta chave de respostas deve servir como base para correção. A comissão analisou domínio e precisão do conhecimento, coerência na construção do argumento e precisão lógica do raciocínio; forma de expressão em termos de correção linguística, coesão, coerência e legibilidade, conforme Resolução nº 35/2017 do CEPE/UFES.

A

(3) Quais características do cimento podem influenciar nestas propriedades e devem ser controladas (justifique)? **(valor 2 por item, total 12)**

As características químicas do cimento, como resíduo insolúvel, perda ao fogo, MgO, SO₃, e CO₂, são indicadores de eventuais problemas com início de hidratação, redução de reatividade, expansibilidade, o que afeta a resistência mecânica e a durabilidade.

A finura (resíduo na peneira 75 µm ou área específica) é uma característica importante para a solubilidade dos ligantes hidráulicos. Em primeiro lugar, a área de contato do grão com a água é fundamental na cinética da reação e na precipitação de compostos hidratados, de tal sorte que, até certos limites, o aumento da área específica aumenta a velocidade de evolução da resistência mecânica e assegura propriedades e características importantes da mistura no estado fresco, como trabalhabilidade, coesão e redução de exsudação. O aumento da quantidade de partículas muito finas de elevada energia superficial deve também ser controlado para não prejudicar a mistura ou exigir grande quantidade de água ou o uso de aditivos.

Tempo de início de pega pode influenciar a trabalhabilidade e a tecnologia de aplicação de concreto. O tempo de fim de pega é uma característica de controle facultativo, que também pode influenciar a trabalhabilidade, a tecnologia de aplicação de concreto e o início do endurecimento.

A expansibilidade a quente indica a presença de componente potencialmente expansíveis, sobretudo aqueles relacionados com a hidratação do MgO.

Resistência à compressão de cimento é considerada na obtenção de curvas de dosagem do concreto por também influenciar a resistência do concreto e deve ser avaliada aos 3, 7 e 28 dias, para a maioria dos cimentos normalizados. As resistências à compressão do CP V-ARI, particularmente, são avaliadas nas idades de 1,3 e 7 dias.

Teor de material pozolânico + escória de alto-forno + material carbonático tem sua determinação facultativa e afeta a resistência mecânica e a durabilidade da mesma forma que as adições minerais afetariam, em teores menores ou maiores que os permitidos.

(4) Qual o cimento normalizado no Brasil mais indicado para este estudo de caso (justifique)? **(valor 4, total 4)**

Cimento CP II E ou Cimento CP III RS, em função da produção regional (proximidade a siderúrgicas) e por questões relacionadas com a agressividade do meio (classe de agressividade III), particularmente no que tange a ataque por cloretos e ao mecanismo de corrosão das armaduras. O CP IV atende a questões técnicas, mas não é encontrado no mercado local.

(5) Quais adições minerais podem ser empregadas em concreto, com base na normalização brasileira? **(valor 2, total 6)**

Sílica ativa, metacaulim e outros materiais pozolânicos (desde que atendam aos requisitos da NBR 12653:2014).

(6) Há necessidade de algum aditivo ou adição mineral ao concreto deste estudo de caso (qual?) (justifique)? **(valor 2 por item, total 8)**

Poderia ser empregado retardador de pega e superplastificante para atender propriedades do concreto fresco e endurecido, particularmente em caso de maior densidade de armadura.

Há cimentos que já possuem adições minerais, com vantagens técnicas. As adições minerais (silica ativa e metacaulim) poderiam ajudar no atendimento a vida útil mínima de 50 anos, particularmente considerando a classe de agressividade III.

2ª Questão: Considerando um edifício residencial em Vitória/ES (10 pavimentos, meio marinho/industrial, UR = 80%, T = 28°C), no que se refere ao cimento Portland e ao concreto de cimento Portland **(valor 50,0):**

(1) Descreva os mecanismos de hidratação e endurecimento. **(valor 3 por item, total 9)**

O mecanismo de hidratação inicia-se com a dissolução do grão anidro em meio aquoso, que forma espécies químicas diversas. Quando a dissolução atinge o nível de saturação, ocorre a combinação entre essas espécies químicas e a água, levando à precipitação de sólidos hidratados. As fases precipitadas possuem composições diferentes daquelas presentes nos constituintes dos ligantes originais. O mecanismo de dissolução-precipitação continuará enquanto houver água suficiente. Os pequenos núcleos de produtos hidratados formados inicialmente vão crescendo, unindo-se uns aos outros e formando um novo sólido contínuo.

Quando um grão anidro estiver envolvido por produtos hidratados, a reação de hidratação prossegue por mecanismo de difusão, cada vez mais lento, pelo fato de a água precisar penetrar através da camada densa e espessa de produtos hidratados.

(2) Quais compostos hidratados são formados a partir da hidratação do clínquer? **(valor 2, total 8)**

Alguns compostos cristalinos, como alita e belita, fases impuras de $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ e o $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, respectivamente, presentes no cimento, são solúveis em água. No entanto, fases vítreas são sempre mais solúveis, porque, do ponto de vista termodinâmico, ainda retêm energia de cristalização. Por exemplo, na forma cristalina natural, o quartzo tem solubilidade praticamente desprezível e nenhuma capacidade ligante à temperatura ambiente. No entanto, quando em estado amorfo, apresenta solubilidade aproximadamente dez vezes superior. Essa solubilidade pode ser ainda mais ampliada com o aumento do pH do meio aquoso, o que favorece a precipitação dos silicatos.

Os ligantes hidráulicos são constituídos por compostos de cálcio, alumínio e silício. Os silicatos de cálcio hidratados ($\text{CaO}\text{-}\text{SiO}_2\text{-}\text{H}_2\text{O}$, de estequiometria variável), aluminatos hidratados (C_xAH_y), Portlandita, entre outros, são os compostos hidratados mais comuns. Outras espécies químicas, como o SO_3 , Fe, Na, K, entre outras, podem estar presentes, mas em quantidades menores.

3
A
50

(3) Como estes compostos hidratados influenciam nas propriedades como resistência mecânica e durabilidade do concreto deste estudo de caso? **(valor 2 por item, total 6)**

O C-S-H é importante para resistência mecânica e durabilidade. Afeta negativamente a retração e a fluência. A portlandita é importante para a reserva alcalina e para conter a frente de carbonatação. Os aluminatos hidratados não afetam positivamente a resistência mecânica e a durabilidade, influenciando a pega.

(4) Quais adições são empregadas na fabricação dos cimentos normalizados no Brasil? **(valor 1 por adição, total 3)**

Escória de alto-forno, materiais pozolânicos (cinza volante e argila calcinada) e filer calcário são adições minerais empregadas na fabricação de cimentos no Brasil.

A gipsita é um constituinte do cimento que funciona como regulador de pega.

(5) Como estas adições influenciam na hidratação e nos compostos hidratados formados? **(valor 6 por adição, total 18)**

Diferentemente das pozolanas, a escória de alto-forno tem hidraulicidade latente e sua energia interna pode ser usada na formação de produtos hidratados semelhantes aos obtidos na hidratação do cimento Portland, mesmo sem a presença do hidróxido de cálcio. Entretanto, a velocidade das reações de hidratação das escórias de alto-forno é muito lenta e a quantidade de produtos hidratados formados não é suficiente para seu emprego como material cimentício sem a utilização de nenhuma forma de ativação. Para acelerar esta reação, torna-se necessária a ativação por processos físicos ou mecânicos, químicos e térmicos. A ativação física ou mecânica está relacionada ao aumento da finura. Com isso, a dissolução se desenvolve mais rapidamente, devido à maior área de contato da escória de alto-forno com a solução. A ativação térmica é obtida por elevação da temperatura do sistema escória de alto-forno-solução, o que afeta tanto a cinética das reações químicas quanto a solubilidade dos vidros de sílica.

Na prática, a ativação química é a que apresenta melhores resultados. A aceleração da hidratação da escória acontece pela combinação de dois fatores:

- *elevação da velocidade de dissolução pela elevação do pH do meio aquoso;*
- *antecipação do início de precipitação dos compostos hidratados.*

Os ativadores reagem com os íons da escória de alto-forno em solução e modificam a composição química e mineralógica dos produtos hidratados. O clínquer, por liberar, durante sua hidratação, hidróxido de cálcio e, em menor proporção, sulfatos e hidróxidos alcalinos, constitui um excelente ativador químico.

Materiais pozolânicos são todos os silicatos e os aluminossilicatos, predominantemente na forma vítrea, que se solubilizam em meio alcalino e reagem em solução com os íons Ca^{2+} , levando à precipitação de silicatos de

cálcio hidratados, principal produto hidratado. Além de C-S-H, também podem ser formados aluminatos e sílico-aluminatos, em função da composição química do material pozolânico. As pozolanas, isoladamente, não possuem capacidade ligante e necessitam de uma fonte de cálcio. Há, porém, algumas pozolanas que possuem mais de 25% de cálcio em sua composição química.

A atividade pozolânica depende da área específica da pozolana, dos teores de sílica e de alumina reativas, da estrutura desordenada (teor de vidro) e, principalmente, de sua capacidade de combinar com o hidróxido de cálcio para formar compostos com propriedades cimentícias, a qual deve ser comprovada por ensaios normalizados de atividade pozolânica.

É conhecido o fato de a distribuição granulométrica influenciar a demanda de água, e os fíleres calcários diminuir ou não alterarem a demanda de água para uma determinada trabalhabilidade. Esta tendência depende da composição química, da distribuição granulométrica e da forma das partículas de filer calcário. Além disso, o filer calcário aumenta a resistência inicial até determinados teores e resulta em menos perda de resistência mecânica frente a curas inadequadas. Por outro lado, no que diz respeito à durabilidade, a literatura técnica aponta alguns problemas frente a meios agressivos, como o aumento da difusão de cloretos e menor resistência a sulfatos, que vêm sendo enfrentados com sucesso por adoção de medidas preventivas. Dois mecanismos são reconhecidos em cimentos com adição de filer calcário:

- primeiro efeito, o mais importante, está ligado ao fato de o filer calcário, mesmo não produzindo quantidades significativas de produtos hidratados, aumentar a dispersão das partículas;
- segundo efeito deve-se ao fato de sua elevada área específica favorecer a nucleação e, por consequência, aumentar a taxa de reação, acelerando a formação do silicato de cálcio hidratado.

O efeito filer parece predominar ao longo do tempo, embora também seja reconhecida certa reatividade decorrente da reação com os aluminatos do clínquer, com formação de carboaluminatos, mas sem contribuição expressiva para o desenvolvimento da resistência mecânica. Pode-se controlar e modificar a evolução da hidratação dos cimentos com filer calcário, adequando sua moagem e distribuição granulométrica, mas não é possível alterar a quantidade final de C-S-H formado.

(6) Como estas adições influenciam nas propriedades como resistência mecânica e durabilidade do concreto deste estudo de caso? (valor 2 por adição, total 6)

A produção de cimentos Portland com adições minerais, como escória de alto-forno, cinza volante, pozolanas artificiais (argila calcinada, por exemplo, e filer calcário), apresenta inúmeras vantagens técnicas relacionadas com a maior durabilidade de estruturas de concreto (baixa permeabilidade, resistência ao ataque de cloretos e sulfatos, prevenção das reações álcali-agregado, elevada resistência à compressão em idades mais avançadas), além de diversificar as aplicações e características específicas do cimento.

A escória de alto-forno e os materiais pozolânicos tendem a afetar negativamente as resistências mecânicas nas primeiras idades e aumentar a

resistência em idades a partir dos 28 dias de idade. O filer calcário tem maior influência na melhor dispersão das partículas e na maior nucleação. Não afeta significativamente as propriedades de resistência mecânica e durabilidade.

A B
100