

Respostas Esperadas – Prova Mestrado – Edital DPPG 74/2021

Questão 1

- a) VOLUME DE VAZIOS PERMEÁVEIS (VPV): o maior volume de vazios permeáveis foi observado para os traços de 100% de cinzas volantes, este teor diminui à medida que aumenta o teor de escória no traço. Isso sugere uma microestrutura menos porosa conforme o teor de escória aumenta, devido à formação de géis de preenchimento espacial C-A-S-H e C-N-A-S-H comparado com os géis N-A-S-H mais porosos formados em misturas com 100% de cinzas volantes. Após 180 dias, o valor de VPV diminui para cada mistura, sendo mais pronunciada para as misturas com maior teor de escória, provavelmente devido ao desenvolvimento contínuo de sua microestrutura, diferente do que acontece para 100% de cinza volante.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO: O aumento do teor de escória nas misturas aumentou a resistência à compressão aos 7 e 28 dias em relação ao F100Bc. Com 1 dia somente o F80c diminuiu a resistência comparado ao F100Ac. A resistência à compressão do concreto de cimento Portland foi similar ao F60c e F30c (40% e 0% de escória, respectivamente).

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO: O comportamento da resistência à tração é semelhante ao observado para a resistência à compressão, onde os valores de resistência aumentam com o aumento do teor de escória.

- b) A solução de cloreto penetrou através de toda a seção transversal das amostras F100Ac e F100Bc. Isso é provavelmente devido ao grande volume de vazios permeáveis e uma rede poros bem conectada, permitindo a entrada rápida de íons cloreto. Com o aumento do teor de escória (F80c, F60c e F30c), a profundidade média de penetração do cloreto diminuiu para 65, 20 e 9 mm, respectivamente, assim como o VPV diminuiu com o aumento do teor de escória. A profundidade média de penetração do cloreto para o PCc (concreto de cimento Portland) foi de 5 mm, semelhante ao F30c, inclusive em relação ao VPV. Isto sugere que a profundidade de penetração do cloreto está relacionada ao VPV e à rede de poros.

Questão 2

- a) A aplicação da auditoria energética em unidade de piroprocessamento de uma fábrica de cimento Portland contribuiu para melhorar a eficiência energética do processo de produção de clínquer e operação do sistema por meio de geração de energia elétrica uma vez que identificou a viabilidade da instalação de uma unidade de WHRPG a partir da recuperação de energia térmica da planta KMCC. Os resultados da auditoria energética indicaram que cerca de 50% do aporte de calor total foi consumido para a formação do clínquer e 48% dele foi perdido na forma de radiação da casca do forno, resfriador de grelha, pré-aquecedor e convecção junto com os gases de exaustão da unidade de piroprocessamento. A eficiência térmica da unidade de piroprocessamento está na faixa de eficiência térmica das usinas modernas (50–54%). Além disto, o potencial de produção de energia elétrica a partir dos gases de exaustão do pré-

aquecedor e resfriador de grelha pela unidade de geração de energia de recuperação de calor residual (WHRPG) foi de 5,2 MWh.

b) O outro uso da energia termal proveniente dos gases de exaustão poderia ser para desumidificar a matéria-prima e, conseqüentemente aumentar a eficiência da moagem da fábrica de matérias-primas. Com base na Fig. 6 e na Tabela 11 verifica-se perda de energia térmica no moinho de matérias-primas e da torre de resfriamento. Assim, parte da energia perdida dos gases de exaustão do pré-aquecedor e do resfriador da grelha na ordem de 672,4 kJ / kgcl e 571,9 kJ / kgcl poderia ter esta outra destinação. O teor de umidade da matéria-prima pode ser enquadrado como restrição para este uso. Contudo, como a planta desta indústria (KMCC - Kerman Momtazan Cement Company) encontra-se em uma área quente e seca, o teor de umidade da matéria-prima é relativamente baixo (~ 2% em peso, bem abaixo da faixa limite de 4 a 6%) fato que não reduz a eficiência da unidade WHRPG (Waste Heat Recovery Power Generation), bem como a viabilidade econômica da sua instalação.

c) Na Tabela 12, foi apresentado o custo de investimento para aquisição e instalação de uma unidade de 6MW de WHRPG com tecnologia SRC para a planta KMCC e o tempo de retorno sobre o capital. A viabilidade econômica da recuperação da energia térmica dos gases de exaustão da unidade de piroprocessamento por meio de uma unidade WHRPG depende da taxa de retorno sobre o capital, a qual depende da tecnologia, tamanho e capacidade da unidade WHRPG, horas de operação do forno por ano, custos de eletricidade e valor do imposto. Em relação à possibilidade de produzir cerca de 5,2MWh de energia elétrica utilizando uma unidade WHRPG com ciclo a vapor de Rankine (SRC), a taxa de retorno do capital seria de cerca de 15% (ao ano) e 6,67 anos. Em comparação com custo de instalação com equipamento locais e chineses na Ásia, China e Europa apresentados na Figura 8 o valor investido em dólar por quilowatt produzido estaria dentro do padrão europeu e um pouco acima do patamar asiático, porém factível considerando o tempo de retorno de menor do que 7 anos.

USD 12.000.000,00 / 5180 Kw (Energia elétrica gerada líquida) = USD 2.316,60/Kw

- d) Table 10 - The total usable thermal energy for generating electricity 663,2 kJ/Kg (TUTE)
- Table 11- Energy conversion efficiency 22%
 - Clinker production 137.500 Kg/h
 - Base para o cálculo = 1 Watt = 1 joule por segundo
 - O autor fez um cálculo meio maluco, mas pode ser repetido: dividiu total usable thermal energy por 3600 (1 hora = 3600 segundos) e multiplicou pelos 22% de eficiência energética
 - $(663,2 \text{ kJ} / \text{Kg} / 3600 \text{ seg}) \times 0,22 = 0,040529 \text{ (kJ/s)} / \text{Kg} = 0,040529 \text{ kW/kg}$
 - O cálculo correto conduz ao mesmo resultado, mas por outra via:
 - Produção de clinker = 137,500 kg/h = 38,19 kg/seg
 - energia por kg = 663,2 kJ / kg
 - energia por segundo = produção de clinker por segundo x energia por kilograma = 38,19 kg/seg x 663,2 kJ/ kg = 25.330,56 kJ/seg = 25330,56 kW x 22% = 5572,72 kw = 5,57 MW
 - Esse valor 5,57 MW, dividido pela produção de clinker, (137.500) dá o mesmo valor.

- Mas a tabela 11 apresenta problemas de unidade: a potência da unidade geradora seria 5,57MW e não MWh