

Assessment of the influence of the type of aggregates and rehydration on concrete submitted to high temperatures

Avaliação do tipo de agregado e da reidratação Do concreto submetido à elevadas temperaturas

A. A. A. DE SOUZA ^a
ambrosio@fec.unicamp.br

A. L. MORENO JR ^b
almoreno@fec.unicamp.br

Abstract

The behavior of concrete under fire is being studied by a group at the Structures and Civil Engineering Laboratory of the Civil Engineering, Architecture and Urbanism College in UNICAMP. This work presents an investigation on the loss of mechanical strength of different concrete mixes after submitted to high temperatures and on the influence of rehydration. Mixtures were prepared with three different aggregates: expanded clay, basalt and limestone. Test bodies were submitted to temperatures of 300 °C and 600 °C under the same heating rate as that of Curve ISO-834 (1999). After heat treatment, some of the test bodies were rehydrated in air, some were immersed in water and others were wrapped up in plastic film during 28, 56 and 112 days. At these ages, concretes were evaluated in relation to compression strength, tension strength and modulus of elasticity, therefore providing an assessment of the influence of the aggregate type and rehydration on the recovery of mechanical strength.

Keywords: concrete, high temperatures, mechanical properties, rehydration .

Resumo

O efeito do comportamento do concreto perante o fogo está sendo estudado por um grupo formado no Laboratório de Estruturas e Construção Civil da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP. Este trabalho apresenta uma investigação sobre a perda de resistência mecânica ocorrida em diferentes misturas de concreto depois de submetidas a temperaturas elevadas, bem como, uma investigação da influência da reidratação. As misturas foram preparadas com três diferentes agregados: argila expandida, basalto e calcário. Os corpos-de-prova C, obedecendo a mesma taxa de 300 °C e 600 °C foram submetidos às temperaturas de 300 aquecimento da Curva ISO-834 (1999). Após o tratamento térmico, parte dos corpos-de-prova foram reidratados ao ar, outra parte foi imersa em água e outros envolvidos em filme plástico durante 28, 56 e 112 dias. Nestas idades os concretos foram caracterizados em relação à resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade e assim uma avaliação da influência do tipo de agregado e da reidratação na recuperação da resistência mecânica pôde ser feita.

Palavras-chave: concreto, altas temperaturas, propriedades mecânicas, reidratação.

^a Doutoranda, Departamento de Estruturas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, ambrosio@fec.unicamp.br, Rua Saturnino de Brito, 135, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo, Campinas, SP, Brasil, cep: 13083 - 852;

^b Professor Doutor, Departamento de Estruturas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, almoreno@fec.unicamp.br, Rua Saturnino de Brito, 135, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo, Campinas, SP, Brasil, cep: 13083 - 852.

1. Introdução

1.1 Exposição ao fogo

A capacidade de uma edificação em preservar a integridade de seus ocupantes, durante um tempo determinado, sob a ação do incêndio, pode ser traduzida como “resistência ao fogo”, ACI 216R-89 [1].

O método térmico padrão normalizado que é recomendado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas através da NBR 14432 [2] é o da International Organization for Standardization: Fire-resistance Tests – Elements of Building Construction ISO 834 [3]. A figura [1] apresenta o padrão ISO-834 (Incêndio-padrão) adotado que é considerado como básico e aceito universalmente como um método padrão temperatura x tempo.

Ainda são poucos os dados que mostram como é o comportamento do concreto sob temperaturas elevadas, principalmente devido as dificuldades existentes na execução dos ensaios em escala real.

1.2 Influência do tipo de agregado na resistência mecânica de concretos submetidos a elevadas temperaturas

Considerando-se o fato de que os agregados compõem cerca de 70% do concreto, é natural a grande influência do tipo de agregado nas propriedades térmicas e na resistência mecânica de concretos submetidos a elevadas temperaturas.

A natureza dos minerais nos agregados é preponderante no valor da condutividade térmica do concreto endurecido: o basalto, baixa condutividade; os calcários possuem condutividade média e o quartzo, condutividade mais elevada. A condutividade térmica é a propriedade térmica do concreto que mede a capacidade do material conduzir o calor. Análoga à condutividade, a difusividade térmica no concreto também é diretamente influenciada pelo tipo de agregado: basalto, calcário e quartzo. A difusividade mede a velocidade da variação de temperatura no interior do material, Neville [4].

Se o agregado contém pirita (sulfeto de ferro - FeS_2), a oxidação

lenta em torno dos 150°C causa desintegração do agregado e conseqüentemente a ruptura do concreto, NEVILLE [4]. Agregados silicosos, contendo grande quantidade de quartzo (SiO_2) como granito, arenito e alguns xistos, apresentam uma expansão súbita de volume quando aquecidos a aproximadamente 500°C , Landi [5], Lin et al. [6]. Aos 573°C , os cristais de quartzo- α transformam em quartzo- β seguida de expansão da ordem de 0,85%, Mehta & Monteiro [7].

Os agregados calcários (calcíticos e dolomíticos) são estáveis até aproximadamente 850°C , quando se inicia a decomposição do carbonato, formando os óxidos de cálcio e magnésio. Os agregados calcários apresentam expansões similares às dos silicosos somente a partir dos 700°C , devido às reações de descarbonatação e, da mesma forma, possuem a vantagem de apresentar menor diferença nos coeficientes de dilatação térmica entre a matriz e o agregado, minimizando assim, os efeitos destrutivos da dilatação térmica diferencial Mehta & Monteiro [7].

A calcinação dos agregados calcários é endotérmica: o calor é absorvido, retardando a elevação da temperatura. O material calcinado apresenta menor massa específica, prestando uma forma de isolamento da superfície, sendo favorável em peças robustas Neville [4]. Mas a calcinação também causa expansão e fragmentação dos agregados, lascamentos e liberação do gás carbônico, Lin et al. [6].

Souza & Moreno [8] estudaram o efeito da temperatura elevada no concreto preparado com agregado granito submetido a temperatura máxima de 600°C . Os valores referentes à resistência à compressão foram reduzidos à 86% do valor padrão, sem aquecimento, e a resistência à tração foi reduzida à 60%. Posteriormente, Moreno & Bizzo [9], repetiram este mesmo estudo, alterando a taxa de aquecimento; obtendo, neste caso, valores de redução superiores. A influência do valor da taxa de aquecimento foi comprovada.

1.3 Recuperação da resistência mecânica após reidratação

Segundo Caraslindas & Barros [10], a exposição do concreto a temperaturas elevadas produz deteriorações das propriedades mecânicas devido a alterações químicas e mecânicas. Os autores afirmam que: “... aquecer o concreto em temperaturas próximas a 600°C remove a água de hidratação da pasta de cimento. Além disso, as diminuições do módulo de elasticidade e resistência não são recuperáveis após o concreto ser resfriado até a temperatura ambiente”.

Contrariando os autores citados, Cánovas [11] afirma que: “Se a temperatura do concreto não ultrapassa os 500°C , este pode sofrer uma reidratação posterior que pode fazê-lo recuperar até 90% de sua resistência inicial após um ano”.

Essa recuperação pôde ser comprovada mais tarde por Souza & Moreno [8], onde concretos avaliados, aquecidos à temperatura máxima de 600°C , apresentaram recuperação de resistência à compressão em torno de 80% e recuperação da resistência à tração em torno de 98%.

Poucos e controversos, são os estudos sobre a recuperação da resistência mecânica de concretos submetidos à elevadas temperaturas com a reidratação. Justificando-se, desta forma, a variável em estudo neste trabalho.

Figura 1 – Curva Padrão ISO-834 temperatura x tempo (ISO 834 (3))

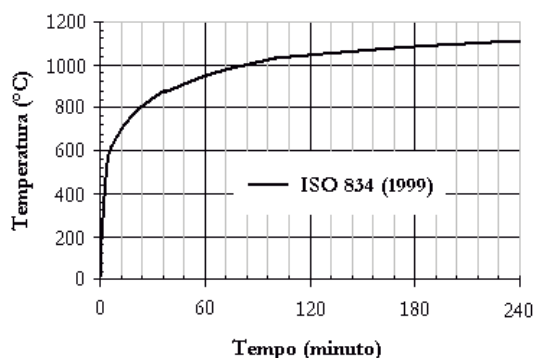
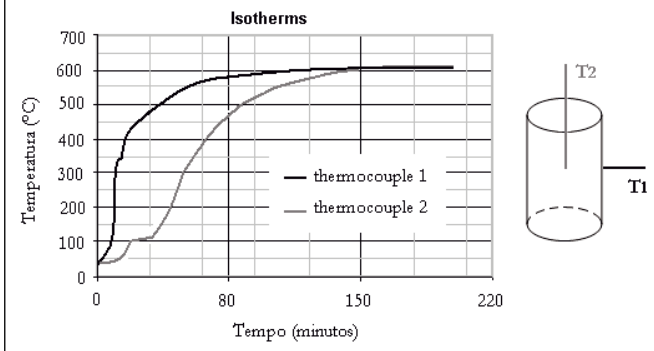


Figura 2 – Evolução das temperaturas máximas de exposição com o padrão pelo tempo; pontos de instrumento na superfície e no interior do corpo-de-prova



2. Procedimento experimental

O número de variáveis influentes no comportamento de concretos sob efeito do fogo é elevado, destacando-se o tipo de agregado, temperatura máxima de exposição, a umidade do concreto, a relação água/cimento, o tipo de cimento, o tamanho do corpo-de-prova, a taxa de elevação e a taxa de resfriamento, a trabalhabilidade do concreto e o tipo de cura.

Neste trabalho, as variáveis envolvidas foram o tipo de agregado graúdo, a temperatura máxima de exposição (300° e 600°C), condições de reidratação para a recuperação da resistência mecânica após o aquecimento e o tempo de exposição à temperatura.

Como constantes foram adotados o cimento e o agregado miúdo, a relação água/cimento, a geometria do corpo-de-prova, o tipo de cura, o teor de umidade, a taxa de aquecimento (Curva Padrão ISO-834 [3]) e a taxa de resfriamento (aproximadamente 1°C/minuto). Corpos-de-prova das três misturas de concreto foram moldados com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, de acordo com as especificações da NBR 12821 – Preparação de concreto em laboratório [12] e de acordo com a NBR 5738 –

Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto [13].

Para cada mistura de concreto (a primeira com agregado argila expandida, a segunda com agregado basalto e a terceira com agregado calcário) foram moldados 132 corpos-de-prova, sendo as proporções entre os materiais, em massa, iguais à 1: 2,93: 1,37: 0,57; 1: 2,80: 2,39: 0,57 e 1: 2,67: 2,32: 0,57; respectivamente, para o cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e relação água/cimento. As três misturas foram preparadas de forma a garantir trabalhabilidade – medida pelo ensaio de abatimento e igual a 125 mm.

Os corpos-de-prova foram avaliados, em relação às suas resistências à compressão, tração e módulo de elasticidade, transcorridos 100 dias de suas moldagens (todos os corpos-de-prova ficaram em câmara úmida neste período), onde, praticamente está estabilizado o incremento das propriedades mecânicas do concreto em função da idade. Os resultados obtidos foram adotados como padrão de comparação para as amostras aquecidas às temperaturas máximas de exposição (300°C e 600°C).

Para a avaliação do tempo de exposição de cada amostra às temperaturas máximas de exposição, foi utilizado um forno especialmente desenvolvido para este estudo, figura [2]. Ressalta-se que este forno é capaz de simular eletronicamente a taxa de aquecimento da Curva Padrão ISO-834 [3]. Este equipamento apresenta um suporte central para o corpo-de-prova e arranjo para termopares que foram embutidos nas amostras, em orifícios previamente executados durante a sua concretagem. Todos os termopares foram conectados a um equipamento de aquisição automática de dados.

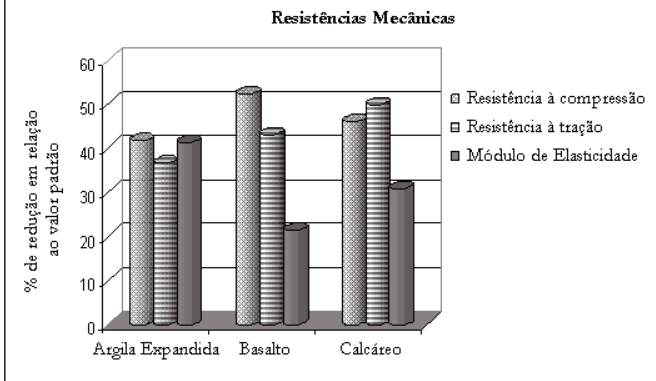
A distribuição dos termopares facilitou o monitoramento da temperatura dentro da amostra, sendo possível então acompanhar toda a evolução da temperatura ao longo do tempo nos pontos instrumentados, de acordo com a curva representada na figura [2a]. Esta é uma curva padrão de referência para corpos-de-prova das três misturas de concreto aquecidas nas temperaturas máximas de 300°C e 600°C.

O tempo de exposição à temperatura máxima foi aquele correspondente ao tempo necessário para que o Termopar 1, localizado no interior do corpo-de-prova de cada mistura, alcançasse a temperatura externa estipulada (Termopar 2); ou seja, é o ponto onde as duas curvas se encontram, ilustradas na figura [2b].

Tabela 1 – Tempo de exposição à temperatura máxima para cada mistura de concreto avaliada

Temperatura (°C)	Tipo de agregado	Tempo necessário para o Termopar 2 atingir a temperatura externa do Termopar 1
300	Argila expandida	140 minutos
	Basalto	160 minutos
	Calcário	130 minutos
600	Argila expandida	160 minutos
	Basalto	200 minutos
	Calcário	160 minutos

Figura 3 - Comparação da redução de resistência mecânica, em relação ao valor padrão, para as três misturas de concreto



Na tabela [1] são mostrados os tempos referentes a cada traço e temperatura em análise. De posse dos tempos necessários para a estabilização da temperatura no interior da amostra, os corpos-de-prova foram colocados em outro forno, com capacidade para 6 amostras, que também simula eletronicamente a elevação da temperatura de acordo com a Curva Padrão ISO-834 [3].

Todas as amostras foram colocadas em estufa durante as 24 horas anteriores aos ensaios de aquecimento (aproximadamente 100°C) de maneira a garantir um mesmo teor de umidade. Terminado o processo de aquecimento, no tempo de exposição e temperatura máxima estipulados, as amostras foram resfriadas gradualmente,

à taxa de 1°C/minuto e dentro do próprio forno, até temperatura ambiente (aproximadamente 25°C).

Uma vez resfriados, alguns corpos-de-prova foram ensaiados para avaliação das resistências mecânicas (resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade) e, desta maneira, comparar o acréscimo de resistência de concretos aquecidos, em função do tipo de agregado e da temperatura máxima de exposição.

A seguir, iniciou-se o procedimento para avaliação da recuperação de resistência em função da reidratação para cada concreto executado com um dos três tipos de agregados propostos. De forma a se observar esta influência, dividiu-se os corpos-de-prova aquecidos em três partes, uma parte foi deixada ao ar, outra parte foi imersa em água e outra parte envolvida em filme plástico durante 28, 56 e 112 dias. Ao final de cada período de reidratação mencionado, os corpos-de-prova foram ensaiados para avaliação das resistências mecânicas (resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade) e, desta maneira, obter a evolução do incremento de resistência mecânica, em função do tempo (28, 56 e 112 dias) e do processo de reidratação (imersos em água, envoltos em filme plástico e hidratados ao ambiente).

3. Resultados e Análise

Os resultados ilustrados pela figura [3] são referentes às porcentagens de recuperação das propriedades mecânicas dos corpos-de-prova que foram submetidos às temperaturas máximas de exposição (300°C e 600°C) e diferentes condições de reidratação, todos comparados com o padrão (sem aquecimento).

Os resultados apresentados evidenciam o decréscimo das propriedades mecânicas para as três misturas de concreto. A redução de resistência à compressão atinge níveis entre 50% e 60%. Para a resistência à tração a redução foi entre 50% e 65% e para o

Figura 4 - Recuperação da resistência à compressão do concreto, após aquecimento à temperatura de 300°C e reidratado por vários processos

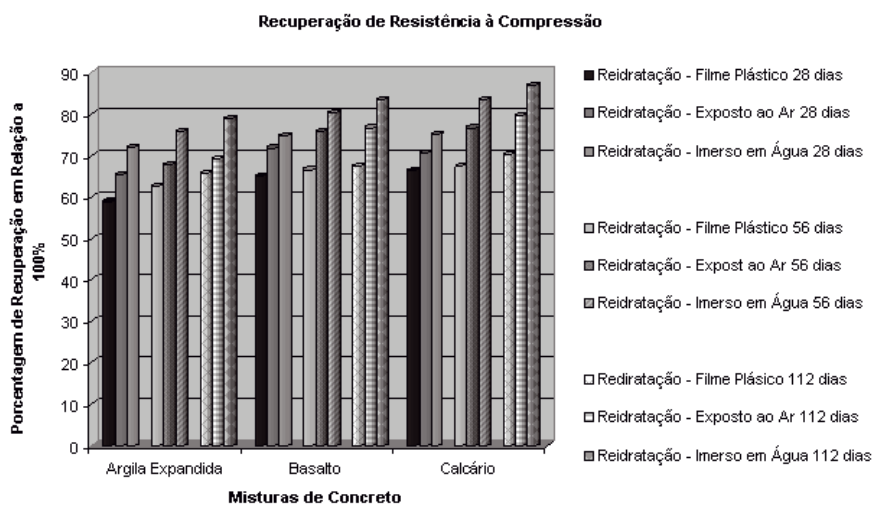


Figura 5 – Recuperação da resistência à compressão do concreto, após aquecimento à temperatura de 600°C e reidratado por vários processos

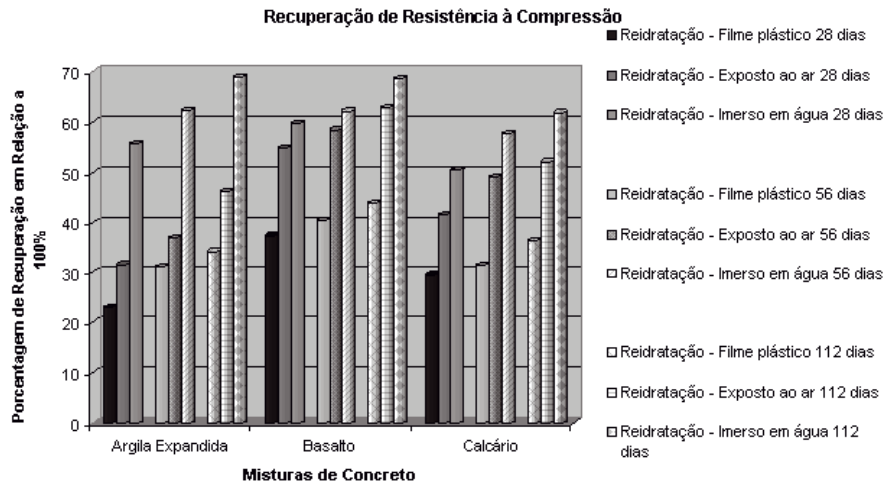
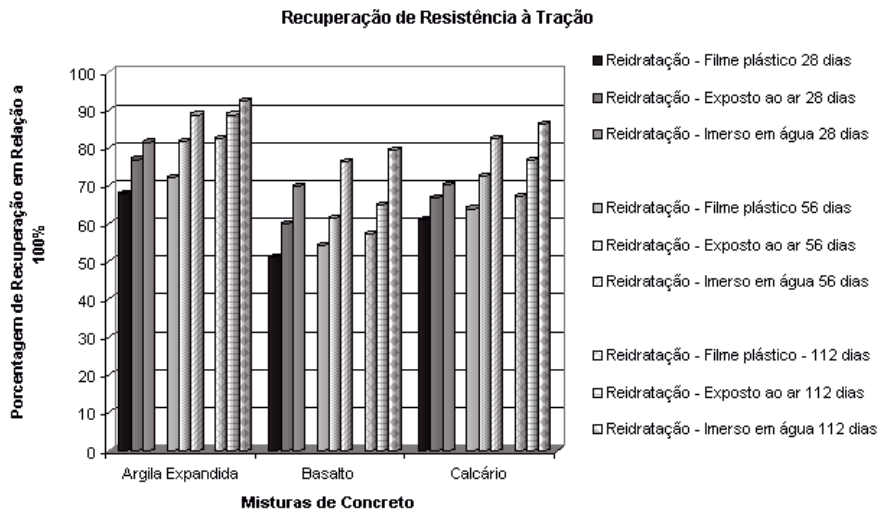


Figura 6 – Recuperação da resistência à tração do concreto, após aquecimento à temperatura de 300°C e reidratado por vários processos



módulo de elasticidade a redução atingiu níveis entre 60% e 80% em relação ao valor inicial.

Os gráficos apresentados nas Figuras [4], [5], [6], [7], [8] e [9] mostram os valores de recuperação da resistência à compressão, resistência à tração e do módulo de elasticidade, para as três misturas de concreto aquecidas às temperaturas máximas de 300°C e 600°C e caracterizadas após os três tipos de reidratação para as idades de 28, 56 e 112 dias.

Pela observação das figuras anteriores, onde a recuperação da resistência mecânica de concretos executados com dife-

rentes agregados é avaliada em função do tipo de reidratação, pode-se verificar a influência restrita do tipo de agregado nesta recuperação.

Os níveis de recuperação dependem principalmente do tipo de reidratação utilizada. Por exemplo, ao reidratar as misturas de concreto por imersão em água durante 112 dias, estas apresentaram níveis de recuperação em torno de 70% para a resistência à compressão, 80% para a resistência à tração e 60% para o módulo de elasticidade.

Conforme já observado por CÁNOVAS [11], em que afirma que

a resistência mecânica do concreto pode ser recuperada em até 90% do valor inicial com a reidratação.

Observa-se neste trabalho de pesquisa que esse fenômeno ocorre, pois ensaios realizados por outros pesquisadores mostram que a pasta calcinada, após a reidratação, volta a apresentar perdas de massa principalmente nos intervalos de 150-400°C e 400 a 500°C, relacionados respectivamente aos aluminatos hidratados e a portlandita. Este fato leva a crer que pode estar ocorrendo uma re-hidratação dos compostos que perderam sua água estrutural durante a calcinação.

3.1 Influência do tipo de agregado na resistência mecânica do concreto submetido à temperatura de 300°C e 600°C

Em relação à resistência à compressão, os resultados apresentados nas figuras anteriores evidenciaram redução entre 20% e 30%, para as três misturas preparadas com os diferentes tipos de agregados quando aquecidas à temperatura de 300°C e resfriadas lentamente.

Figura 7 – Recuperação da resistência à tração do concreto, após aquecimento à temperatura de 600°C e reidratado por vários processos

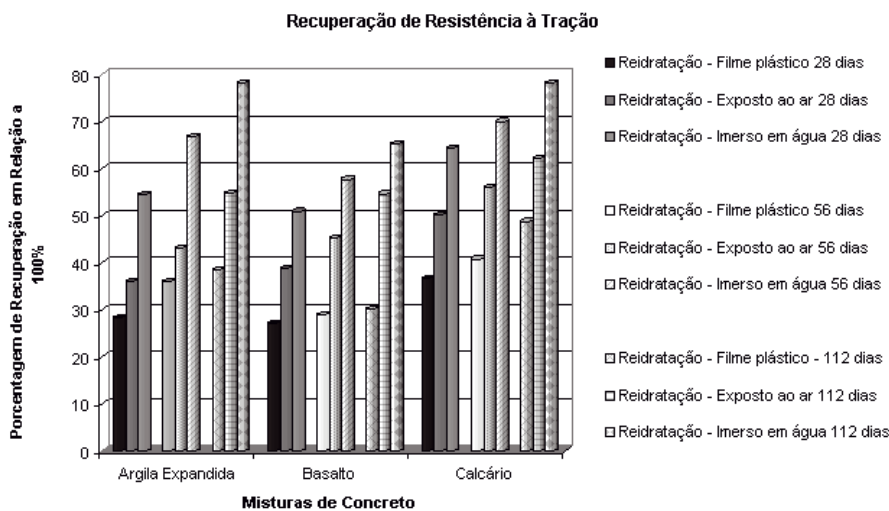
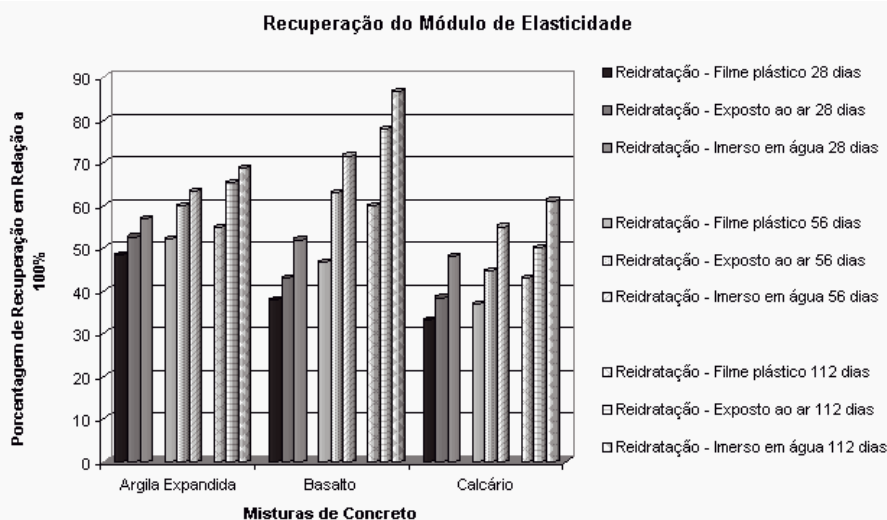


Figura 8 – Recuperação do módulo de elasticidade do concreto, após aquecimento à temperatura de 300°C e reidratado por vários processos



Em relação à resistência à tração as misturas que utilizaram como agregado a argila expandida e o calcário apresentaram desempenho semelhante ao da resistência à compressão ao serem expostas à 300°C, perdendo, aproximadamente, 20% do seu valor inicial. Para o concreto, cujo agregado foi o basalto esta redução foi 40%.

O módulo de elasticidade foi a propriedade mecânica que apresentou redução mais acentuada quando os corpos-de-prova foram submetidos à temperatura de 300°C. Esta redução foi em torno de 35% para a mistura que utilizou como agregado a argila expandida e 43% e 50% para as misturas que utilizaram como agregado o basalto e o calcário, respectivamente.

Para a temperatura de exposição de 600°C, observou-se uma grande redução da resistência à compressão para a mistura que utilizou como agregado a argila expandida, aproximadamente 60%. As misturas que utilizaram como agregado o basalto e o calcário apresentaram redução de 48% e 55%, respectivamente. Em relação à resistência à tração, as misturas que apresentaram maiores reduções foram as que utilizaram argila expandida e basalto, em torno de 65% e 57%. Para a mistura que utilizou calcário a redução foi, aproximadamente, 50%.

A mistura que teve melhor comportamento em relação ao módulo de elasticidade, quando aquecida à 600°C, foi a que utilizou argila expandida, apresentando uma redução de 60% do valor inicial. As misturas com basalto e calcário apresentaram redução de 80% e 70%, respectivamente.

No caso das três misturas de concreto analisadas, a que apresentou melhor desempenho quanto a resistência à compressão e tração após ter sido submetida ao aquecimento de 300°C e resfriadas lentamente foi a que utilizou como agregado o basalto. O agregado argila expandida apresentou o melhor resultado para o módulo de elasticidade.

Para a temperatura de aquecimento de 600°C as misturas apresentaram variações que impossibilitaram a determinação da que

teve melhor comportamento em pelo menos duas propriedades. O melhor comportamento quanto a resistência à compressão foi observado na mistura de concreto que utilizou como agregado o basalto. Em relação a resistência à tração, o concreto preparado com agregado calcário apresentou menor perda, em torno de 50%. Para o módulo de elasticidade, o melhor comportamento foi o do concreto preparado com agregado argila expandida, em torno de 40% de perda da propriedade.

A diminuição da resistência à compressão de concretos aquecidos, depende de fatores como a taxa de aquecimento, a taxa de resfriamento e, principalmente, do tipo de agregado.

Os resultados deste trabalho mostraram que o grau de alteração das propriedades mecânicas do concreto exposto à temperatura elevada é fortemente influenciado pelo tipo de agregado. Entretanto, observa-se que, não se pode excluir destes parâmetros intervenientes a taxa de aquecimento, o tempo de exposição à temperatura, a taxa de resfriamento, a umidade do concreto e, como observado por Caralindas & Barros [10] a densidade do concreto. Estes parâmetros, certamente, deverão ser avaliados em futuros trabalhos de pesquisa sobre o assunto.

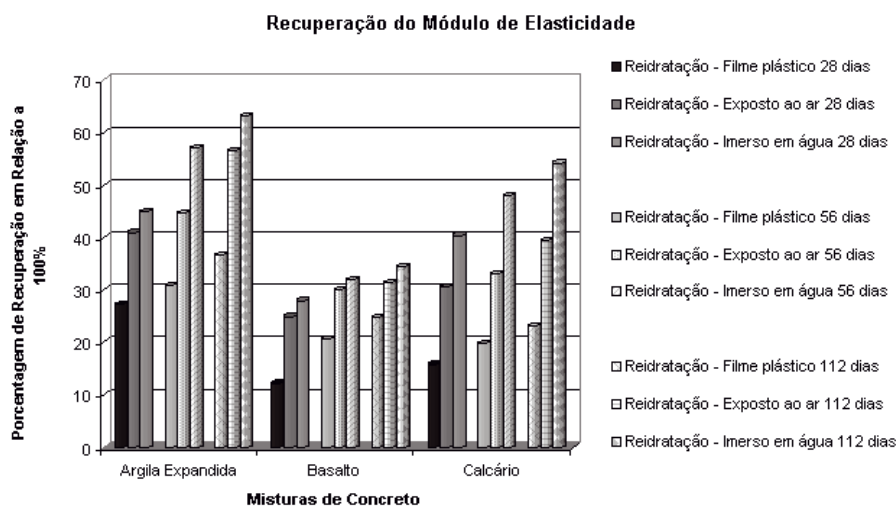
3.2 Processos de reidratação

As diferentes condições de reidratação adotadas neste trabalho foram responsáveis pela recuperação maior ou menor das resistências mecânicas do concreto após aquecimento.

Os corpos-de-prova preparados com o agregado basalto e o agregado calcário, quando expostos à temperatura máxima de 300°C e reidratados por 112 dias, imersos em água, apresentaram recuperação da resistência à compressão em torno de 90% e do mesmo modo, a mistura feita com argila expandida apresentou recuperação de 80%.

Quando expostos à temperatura máxima de 300°C, os corpos-de-prova que foram reidratados ao ambiente apresentaram valores

Figura 9 – Recuperação do módulo de elasticidade do concreto, após aquecimento à temperatura de 600°C e reidratado por vários processos



intermediários de recuperação da resistência à compressão, ao serem analisados em relação as amostras que ficaram imersas em água e às que foram envolvidas em filme plástico (sem exposição ao ambiente). Ressalta-se aqui que os corpos-de-prova envolvidos em filme plástico apresentaram valores inferiores aos outros dois tipos de reidratação; porém significativos, entre 65% e 70%. Em relação à resistência à tração, as três misturas de concreto apresentaram perda acentuada quando expostas à temperatura de 300°C. Após 112 dias de reidratação por imersão em água, a recuperação foi em torno de 95% para a mistura feita com agregado argila expandida, em torno de 80% para a mistura feita com agregado basalto e 85% para a mistura feita com agregado calcário. Neste caso, convém observar que a recuperação, na mesma idade, considerando-se o processo de reidratação ao ambiente, alcançou índices próximos daqueles obtidos para os corpos de prova imersos em água (com uma diferença de 10% a menos). Para o módulo de elasticidade, os corpos-de-prova expostos à 300°C apresentaram uma redução mais acentuada nos seus valores. Quando submetidos a reidratação por imersão em água, a recuperação para as misturas feitas com os agregados argila expandida e basalto foi 65% e 86%, respectivamente, na idade de 112 dias. Para a mistura que utilizou como agregado o calcário a recuperação foi de 60%.

É importante observar que os resultados deste trabalho, sem dúvida, comprovam recuperação de grande parte da resistência mecânica de concretos aquecidos, após reidratação. Confirmando Cánovas [11], se a temperatura do concreto não ultrapassar 500°C, este pode sofrer uma reidratação posterior que pode fazê-lo recuperar até 90% de sua resistência inicial após um ano. Esta recuperação pôde ser observada, também, nos estudos de Souza & Moreno [8], onde corpos-de-prova de concreto (dimensão 10cm x 20cm) aquecidos às temperaturas máximas de exposição de 300°C, 600°C e 900°C, e imersos em água durante 112 dias, apresentaram recuperação de resistência à compressão de 93%, 85% e 45%, respectivamente.

4. Conclusões

A pesquisa aqui exposta forneceu dados sobre como as propriedades mecânicas de concretos executados com diferentes agregados podem ser influenciadas pelas temperaturas elevadas. Particularmente, apresenta resultados de concretos preparados com agregado basalto, cujo comportamento não é referenciado em Códigos Normativos Nacionais e Internacionais, e de emprego usual no Brasil.

Os resultados obtidos nesta pesquisa evidenciam forte decréscimo da resistência à compressão para a temperatura máxima de exposição de 600°C. Este resultado, em maior ou menor porcentagem, já era esperado tendo por base estudos anteriores sobre o assunto.

Da mesma forma, observou-se que a reidratação do concreto, após aquecimento, pode contribuir para a recuperação de parte significativa da resistência mecânica inicial, seja ela em relação a resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Notou-se também, que os corpos-de-prova conservados imersos em água recuperam maior parte de sua resistência inicial com o passar do tempo. Os níveis de recuperação dependem principalmente do tipo de reidratação utilizada e o tipo de agregado apresenta pouca influência.

O fato dos valores de referência, indicados pela NBR 15200 [14], estarem aparentemente contra a segurança, deve ser avaliado com cautela. Embora não esteja claro no texto, os valores indicados referem-se a concretos aquecidos sob carga e ensaiados a quente. Fica, desta maneira, sugerida a incorporação no Código Normativo Nacional, a indicação de decréscimos de resistência de concretos aquecidos sem carga e ensaiados depois de resfriados lentamente, a exemplo do que ocorre em outros códigos normativos internacionais.

Finalizando, resta observar que os resultados obtidos foram coerentes com estudos anteriores sobre o tema aqui pesquisado. Entretanto, deve-se ressaltar, mais uma vez, que muitas são as variáveis envolvidas no problema, e que qualquer alteração destas variáveis pode resultar em diferenças significativas entre resultados de trabalhos de pesquisa sobre o assunto. Dentre as variáveis, pode-se destacar a umidade, a relação água/cimento, o tipo de agregado, o tempo de exposição à temperatura, a taxa de aquecimento e a taxa de resfriamento. Desta maneira, uma generalização ampla dos resultados obtidos por diferentes pesquisadores é muito difícil. Deve-se considerar os fatores anteriormente assinalados na interpretação dos resultados.

5. Referências bibliográficas

- [01] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Guide for determining the fire endurance of concrete elements. ACI 216R – 89. New York, 1996.
- [02] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. – NBR 14432, Rio de Janeiro, 2001.
- [03] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Fire-resistance tests – Elements of building construction. Part 1: General requirements. ISO-1. Geneva, 1999.
- [04] NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto, Editora Pini, São Paulo, 1997.
- [05] LANDI, F. R. Ação do incêndio sobre estruturas de concreto armado. Boletim técnico n° 01/86 PCC-EPUSP, São Paulo, 1986.
- [06] LIN, Wei-Ming; LIN, T. D.; POWERS-COUCHE, L. J. Microstructures of Fire Damaged Concrete. ACI Materials Journal. Vol. 93, N° 3. Technical Paper. ACI – American Concrete Institute. New York, May-June, 1996.
- [07] METHA, P. K.; MONTEIRO, P. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. Ed. PINI. São Paulo, 1994.
- [08] SOUZA, A. A. A.; MORENO Jr., A. L. Efeito de altas temperaturas na resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação do concreto. In: V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. São Paulo, 2003.
- [09] MORENO Jr., A. L.; BIZZO, L. B. P. Estudo do comportamento do concreto sob o efeito de temperaturas elevadas. In: Encontro Nacional de Betão Estrutural. Porto – Portugal, 2004.
- [10] CARASLINDAS, H.; BARROS, R.C. Portugal, 2004. Degradação das Propriedades Mecânicas do Betão

Exposto a Altas Temperaturas. *In*: Encontro Nacional de Betão Estrutural. Porto.

- [11] CÂNOVAS, M.F. Patologia e terapia do concreto armado. Editora Pini, São Paulo, 1988.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Preparação do concreto em laboratório. - NBR 12821, Rio de Janeiro, 1993.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. – NBR 5738, Rio de Janeiro, 2003.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estrutura de concreto em situação de incêndio. – NBR15200, Rio de Janeiro, 2004.