



Reabilitação da Ponte Edgar Cardoso

Por José Carlos Marques, Diretor Técnico da Betão Liz, S.A.

A Ponte Edgar Cardoso, conhecida como Ponte sobre o Mondego e também como Ponte da Figueira da Foz, foi inaugurada em 1982. Foi a primeira ponte com tabuleiro atirantado construída em Portugal e é um *ex-libris* do vasto portfólio de projetos do Professor Edgar Cardoso. Com o passar dos anos foram evidenciados sinais de uma progressiva degradação de diversos elementos estruturais da ponte, o que motivou estas obras de reabilitação. O betão para a obra foi fornecido pela Betão Liz, uma empresa InterCement, a partir do seu centro de produção na Figueira da Foz.

A Betão Liz colaborou ativamente na especificação do betão que foi utilizado, propondo soluções que permitiram conciliar as exigências do projeto com as necessidades da obra.

O inventor de pontes

Edgar Cardoso nasceu no Porto a 11 de maio de 1913. Licenciou-se em Engenharia Civil na Faculdade de Engenharia do Porto em 1937. Em 1938 inicia a sua atividade profissional na Junta Autónoma das Estradas. Em 1951

integra o corpo docente do Instituto Superior Técnico de Lisboa, como professor catedrático. Foi membro da Academia das Ciências de Lisboa, investigador honorário do Laboratório Nacional de Engenharia Civil e doutor *honoris causa* pelas Faculdades de Arquitetura e de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Faleceu no dia 5 de julho de 2000.

Ao longo de mais de 55 anos de vida profissional, o Professor Edgar Cardoso foi um ilustre representante da engenharia nacional. Foi o autor de cerca de 500 estudos e projetos de estruturas que realizou em países espalhados por 4 continentes como: Portugal, Angola, Moçambique, Antiga Índia Portuguesa, Brasil, China, Costa Rica, Guiné-Bissau, Macau, Nigéria, Timor e Venezuela.

A ponte sobre o rio Mondego na Figueira da Foz, que tem o seu nome, foi um dos seus projetos mais reconhecidos. Entre as suas criações mais notáveis, destacam-se também a Ponte da Arrábida, classificada monumento nacional em 2013, e a Ponte de São João, ambas no Porto, assim como a Ponte da Taipa, em Macau.

Edgar Cardoso dizia que "em todos os rios há um sítio que foi feito para ter uma ponte e que é preciso encontrá-lo".

Reabilitação da Ponte

A Ponte da Figueira da Foz tem um desenvolvimento total de 1421 metros. O tramo central tem uma estrutura metálica e é atirantado com um vão de 225 metros. Os tramos laterais são de betão armado pré-esforçado em estrutura contínua e em curva. As torres, em betão armado, elevam-se 85 metros acima do nível da água. Os sinais da progressiva degradação de diversos elementos estruturais levaram à necessidade de inspecionar a ponte e estudar a sua reabilitação.

As zonas analisadas apresentavam fissuração generalizada nos maciços cilíndricos onde apoiam as torres. Parte dessas fissuras eram acompanhadas pela formação de eflorescências e em, alguns casos, de escorrências provenientes das armaduras passivas corroídas. Nas vigas de travamento a fissuração observada era superficial e sem orientação preferencial. No betão original verificava-se uma taxa de penetração de cloretos elevada nos primeiros 50 mm de profundidade. Os trabalhos de reforço e reabilitação foram iniciados no final de 2015 e prevê-se que fiquem concluídos durante o primeiro trimestre de 2017.

Os trabalhos passaram pela remoção do betão superficial até 20 mm, além do plano das armaduras de modo a expor a totalidade da superfície lateral dos varões. Incluíram também a limpeza das superfícies expostas e a execução de uma "gola" em betão armado e pré-esforçado com um microbetão auto-compactável e de retração controlada.

Retração no Betão

Para garantir o bom comportamento mecânico e a durabilidade de uma estrutura, o betão deve cumprir diversos requisitos. Habitualmente, a principal característica avaliada é a resistência à compressão. No entanto, outras características como a permeabilidade, a resistência aos agentes agressivos, a fluência, a retração, entre outras, começam a ser valorizadas de forma mais corrente e não apenas em estruturas especiais. De entre as diversas características referidas, destaca-se a retração do betão que não é mais do que a variação do volume de uma peça devido às reações de hidratação do ligante e à saída de água por secagem. Os problemas associados à retração têm merecido um estudo cada vez mais aprofundado, já que estas variações de volume, se estiverem restringidas, podem provocar tensões internas e fissuração do betão.

Especificação do Betão:

- › Norma NP EN 206-1: 2007
- › Classe de resistência: C35/45
- › Classe de consistência: SF2 (BAC)
- › Classe de exposição ambiental: XS3(P)
- › Classe de teor de cloretos: Cl 0,20
- › Máxima dimensão agregado: D_{máx}10 mm
- › Retração controlada: <math><100 \times 10^{-6}</math> m/m aos 28 dias

(Condições de conservação dos provetes:
Temperatura 20±2 °C; Humidade relativa 50±5 %)



Tipos de retração

Betão fresco	Retração plástica – devido à rápida evaporação da água superficial não compensada por movimentos de água internos, que provoca a secagem da água nos poros capilares.
Betão endurecido	Retração por secagem – devido à saída de água dos poros capilares do betão, por evaporação.
	Retração autogénea – ocorre no betão sem trocas de humidade com o exterior e está associada à diminuição de volume e ao consumo de água que ocorre nas reações de hidratação.
	Retração por carbonatação – devido à reação do hidróxido de cálcio com o dióxido de carbono que está associada a uma diminuição de volume.
	Retração por variação de temperatura – devido às variações de temperatura associadas às reações exotérmicas de hidratação dos componentes do betão (não tem origem nas variações da temperatura ambiente).

Controlo da retração

O controlo da retração numa estrutura de betão não é uma tarefa simples, tendo em conta os diferentes mecanismos de retração existentes. Pode passar por diversas medidas de prevenção:

- Forma e dimensão da peça;
- Composição do betão;
- Colocação, compactação e cura do betão;
- Introdução de armaduras específicas;
- Proteção do betão endurecido.

Para controlar a retração ao nível do estudo da composição do betão é fundamental considerar alguns pressupostos:

- Reduzir a quantidade de finos;
- Baixar a razão água/cimento;
- Considerar agregados mais grossos;
- Usar adições (principalmente cinzas volantes);
- Utilizar adjuvantes (superplastificantes, redutores de retração, agentes expansivos,...);
- Obter uma estrutura granulométrica compacta.

Estudo do betão

O estudo do betão de baixa retração para a obra de reabilitação da Ponte Edgar Cardoso foi da responsabilidade do Laboratório Central da Betão Liz. O estudo foi iniciado alguns meses antes do início dos fornecimentos.

Para além da retração, foram previstos diversos requisitos para garantir uma adequada colocação do betão em obra e assegurar a sua durabilidade. Isto levou a uma seleção rigorosa de todos os constituintes e a um estudo aprofundado das suas características.

Para o betão da Ponte foram utilizados os agregados disponíveis na central de betão, nomeadamente britas calcárias e areias naturais siliciosas da região.

O cimento utilizado foi o CEM I 42,5 R, proveniente do Centro de Produção da Cimpor em Alhandra.

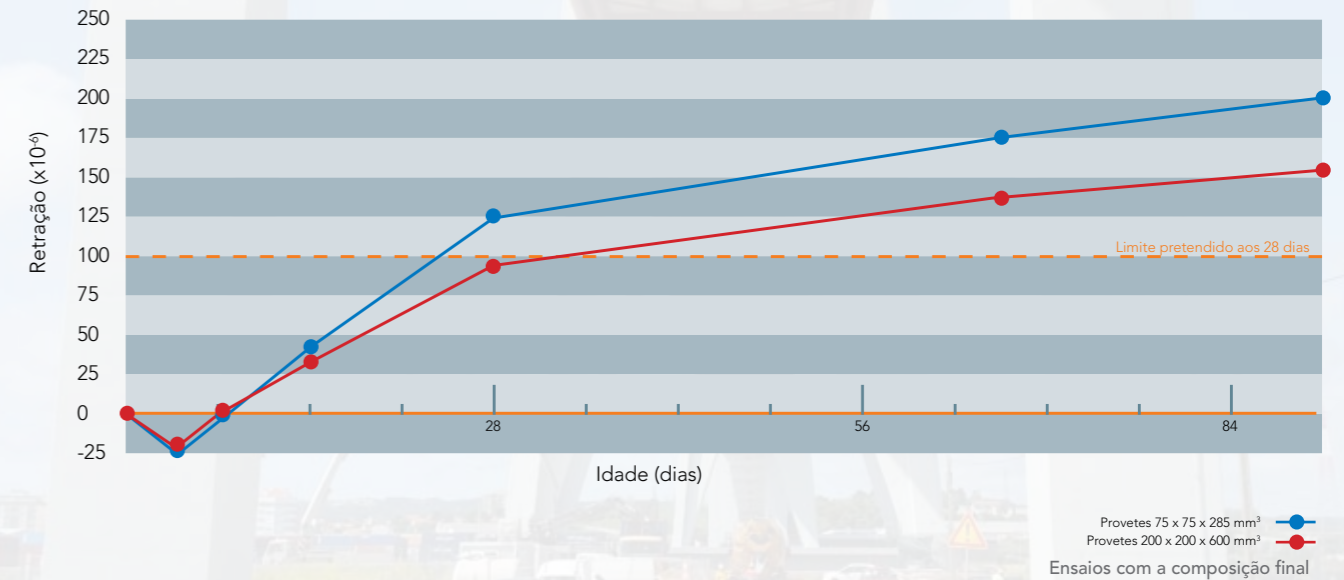
Para a produção do betão foram utilizados diversos tipos de adjuvantes. Com o adjuvante superplastificante foi possível reduzir a razão água/cimento, melhorar a coesão e a homogeneidade do betão e também garantir a manutenção da trabalhabilidade por um tempo adequado ao transporte e aplicação do betão. O adjuvante redutor de retração atuou através da diminuição da tensão superficial da água retida nos micróporos do betão. Reduziu a tendência para evaporar e evitou, assim, contrações e tensões internas. O agente expansivo permitiu compensar o efeito da retração através de um ligeiro efeito expansivo provocado no betão. O modulador de viscosidade melhorou a robustez da composição e compensou, assim, possíveis variações das características das matérias-primas utilizadas.

A água utilizada foi uma água limpa, isenta de resíduos, proveniente de um furo artesiano existente nas instalações de fabrico.

Para obter uma primeira avaliação da retração do betão, foram efetuados ensaios preliminares, onde foram testadas algumas composições com diferentes dosagens de ligante, diferentes agregados e com a utilização de adjuvantes redutores de retração.

Os resultados obtidos nesses ensaios permitiram demonstrar que não seria fácil cumprir o limite máximo da retração previsto no projeto de 100×10^{-6} m/m aos 28 dias.

Curvas de Desenvolvimento da Retração



Após diversos ensaios e alguns ajustes nas composições, que passaram a incluir 4 tipos de adjuvantes, conseguimos atingir os valores da retração pretendidos, conforme está evidenciado no gráfico.

Os ensaios efetuados para avaliar a retração permitiram também verificar a influência que a dimensão dos provetes utilizados tem nos resultados obtidos. Verificou-se que nos provetes com $200 \times 200 \times 600$ mm³ a retração medida é cerca de 30% inferior aos valores obtidos com provetes de $75 \times 75 \times 285$ mm³.

A medição da retração dos provetes, executados pela Betão Liz, foi efetuada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Produção e Fornecimento do Betão

A produção do betão de baixa retração implicou um desafio acrescido para garantir a qualidade do produto fornecido. Apesar da central de fabrico ter implementado um Sistema de Controlo da Produção, de acordo com a Norma NP EN 206-1, a produção deste betão obrigou a um controlo mais exigente de todo o processo produtivo. O controlo das matérias-primas foi reforçado, principalmente dos agregados utilizados, através da inspeção visual de todas as cargas antes da sua utilização e de ensaios regulares para avaliar as suas propriedades.

Conclusões

A análise dos resultados dos ensaios efetuados veio confirmar que os pressupostos apresentados para baixar os valores da retração no betão estavam corretos. Estão a

decorrer novos ensaios em parceria com o LNEC para avaliar a retração do betão colocado na obra. Estes ensaios destinam-se a confirmar que as especificações do projeto são cumpridas e a garantir a durabilidade da solução utilizada na reabilitação da Ponte Edgar Cardoso.

Como empresa pioneira em Portugal no setor do Betão Pronto, a Betão Liz tem mantido uma postura atenta e empenhada na pesquisa e no desenvolvimento das soluções tecnológicas mais eficazes para a satisfação dos seus clientes ao longo dos seus 50 anos de atividade.

O propósito da Betão Liz é continuar a percorrer o caminho da qualidade, inovação, segurança e sustentabilidade, construindo parcerias com clientes, fornecedores e a comunidade, de modo a assegurar um futuro promissor.

Ficha técnica

- › **Designação:** Ponte Edgar Cardoso na Figueira da Foz – Reabilitação e Reforço Estrutural da Base das Torres
- › **Dono de Obra:** Infraestruturas de Portugal
- › **Projeto original:** Edgar Cardoso
- › **Projeto de Reabilitação:** Armando Rito Engenharia
- › **Empreiteiro:** Soproel – Sociedade de Projectos, Obras e Estudos, S.A.
- › **Fornecedor de Betão:** Betão Liz, S.A., uma empresa InterCement