

Medição da retracção autogénea: novo método disponível no LNEC



**António
Bettencourt
Ribeiro¹**



Sofia Ribeiro²



**Arlindo
Gonçalves³**

RESUMO

Actualmente, face à disponibilidade de adjuvantes redutores de água muito potentes, é crescente a utilização de betões e argamassas com baixa razão água/cimento (e.g. betões de elevado desempenho, betões autocompactáveis ou argamassas de reparação). Nestes casos, a retracção autogénea é, em geral, a parcela mais importante da retracção. Os métodos usuais para medir a retracção autogénea, por exemplo recorrendo a provetes selados fabricados em moldes metálicos, não permitem medir a retracção autogénea que ocorre nas primeiras horas de endurecimento, subavaliando, assim, a retracção autogénea total. O LNEC dispõe agora de um método desenvolvido na Dinamarca, que permite medir deformações ainda no estado fresco do material. Neste trabalho apresentam-se os princípios do método, descrevem-se resumidamente os procedimentos e ilustram-se exemplos da deformação de pastas de cimento a partir de alguns minutos após a amassadura.

PALAVRAS-CHAVE

Retracção autogénea, retracção em idades jovens; ensaios

- ¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Núcleo de Betões 1700-066 Lisboa, Portugal. bribeiro@lnec.pt
- ² Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Núcleo de Betões 1700-066 Lisboa, Portugal. sribeiro@lnec.pt
- ³ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Núcleo de Betões 1700-066 Lisboa, Portugal. arlindo@lnec.pt

1. INTRODUÇÃO

Os materiais de base cimentícia utilizados na construção civil, pastas, argamassas e betões, têm na sua constituição água e ligante. O processo de hidratação do ligante é responsável pelo endurecimento do material que confere as características necessárias para o seu correcto desempenho. Sendo o processo de hidratação inerente à constituição do material, é fundamental conhecer os resultados desse processo que interferem nas suas aplicações. Entre eles estão, por exemplo, o aumento de temperatura e a variação de volume. Neste texto aborda-se o segundo fenómeno, a variação de volume, mais concretamente a utilização de uma nova metodologia para a avaliar.

As variações de volume nos materiais cimentícios são mais relevantes nas idades jovens, uma vez que nesse período a hidratação se encontra em franco desenvolvimento e a matriz tem menor resistência. Daí a frequente ocorrência de fissuras, nos casos em que essas variações de volume estão restringidas, como é o caso da aplicação de novos materiais sobre materiais já existentes, ou da ligação de peças com espessuras muito diferentes.

Todavia, no início da hidratação a sua medição é complexa, uma vez que o material passa do estado líquido para o estado sólido num processo progressivo e em que o sólido apresenta inicialmente muito baixa rigidez e fraca resistência. Os métodos para medir a deformação de pastas de cimento em idades jovens podem agrupar-se em dois tipos: métodos volumétricos e métodos lineares [1,2]. O primeiro mede variações de volume enquanto o segundo avalia apenas a variação de comprimento. Porém, apenas o primeiro é usado para medir as deformações enquanto a pasta se encontra no estado fresco. Ole Jensen desenvolveu um método que conjuga a medição da variação de volume no estado fresco com a medição da variação de comprimento no estado endurecido [3]. O LNEC adquiriu um equipamento deste tipo, podendo efectuar medições da retracção em pastas e argamassas desde idades muito jovens.

A necessidade de medir a retracção de betões pouco tempo após a mistura tornou-se mais importante face à disponibilidade de adjuvantes redutores de água muito potentes, e à crescente utilização de betões e argamassas com baixa razão água/cimento (e.g. betões de elevado desempenho, betões autocompactáveis ou argamassas de reparação). Nestes casos, a retracção autogénea é, em geral, a parcela mais importante da retracção. A importância da retracção autogénea é actualmente bem reconhecida, tendo sido já incluída na normalização europeia uma forma de a estimar [4, 5]. Apesar de existirem modelos relativamente simples de determinar o valor da retracção autogénea, os resultados obtidos são aproximados e não reflectem suficientemente os processos envolvidos para se poder negligenciar a medição das deformações por ensaios, nos casos em que o controlo da fissuração é importante.

Neste trabalho apresenta-se genericamente o método desenvolvido por Ole Jensen, referem-se as vantagens e limitações, e apresenta-se exemplos da medição da retracção de pastas, iniciada cerca de 30 minutos após a mistura da água com o cimento.

2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

O método de medição da retracção autogénea encontra-se descrito em pormenor na Especificação LNEC E 476-2007 [6]. O equipamento utilizado (Fig. 1) é constituído essencialmente por uma estrutura suporte de aço (Fig. 1, A) que inclui três barras cilíndricas onde assenta o provete. O provete de pasta ou argamassa é previamente colocado dentro de um tubo enrugado de polietileno de baixa densidade (Fig. 1, B), muito flexível na direcção longitudinal. As variações dimensionais do provete são registadas num deflectómetro digital (Fig. 1, C), ligado a um sistema de aquisição de dados que memoriza continuamente os valores obtidos. Apesar de o equipamento se encontrar numa sala com temperatura e humidade condicionadas, as medições são corrigidas da variação de comprimento do suporte através de uma barra padrão de aço (Fig. 1, D).

O enchimento do tubo de polietileno com pasta ou argamassa deve ser efectuado de forma a minimizar o volume de ar aprisionado, através de consolidação por mesa vibratória. Após o enchimento, o tubo é fechado, através de 2 tampas colocadas nas extremidades do tubo (Fig. 1, E), e colocado na estrutura suporte.

Durante a fase fresca a variação volumétrica é registada através da variação de comprimento, uma vez que o sistema se encontra isolado de trocas de matéria com o exterior e que a rigidez do tubo na direcção transversal é muito superior à sua rigidez na direcção longitudinal. No estado endurecido, quando o material se comporta como um sólido, são registadas as variações de comprimento, que permitem o cálculo da extensão da retracção da forma usual.

É desprezada a rigidez do tubo na direcção longitudinal e considera-se que se está em condições autogéneas, ou seja sem trocas de humidade e a temperatura constante. Recorre-se a arrefecimento por ventilação do tubo. Se necessário é também registada a variação de temperatura no material, para eventual correcção das medições, mas com o sistema utilizado não são de esperar subidas de temperatura superiores a 1 °C devidas à hidratação.

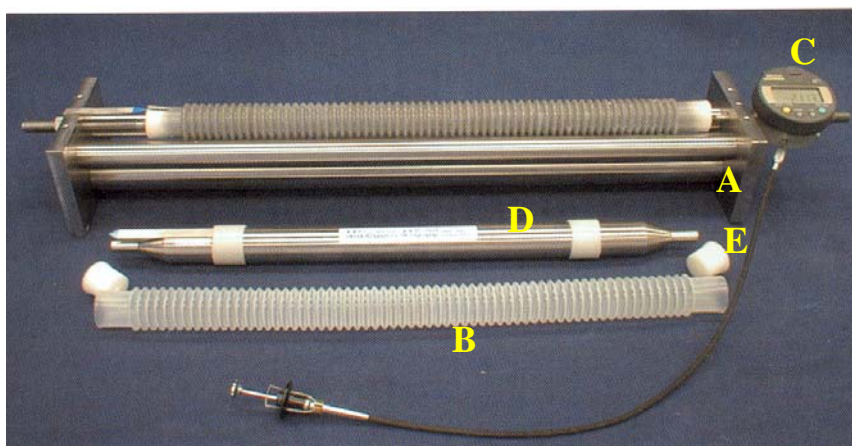


Figura 1. Partes principais do equipamento para medir a retracção autogénea: A – estrutura de suporte; B – tubo de polietileno; C – deflectómetro digital; D – barra padrão; E – tampa do tubo.

3. VANTAGENS E INCONVENIENTES

O método utilizado permite medir as deformações desde a fase líquida e abrange portanto toda a fase em que ocorrem as deformações que podem contribuir para a criação de tensões, o que não acontece com os métodos tradicionais em que só se medem as deformações após a desmoldagem. Nestes, a desmoldagem só pode ser realizada quando o provete tem uma resistência suficiente para permitir o seu manuseamento sem risco de dano. Nos betões com baixa razão água/cimento, o aumento da resistência é muito rápido nas primeiras idades, pelo que a passagem de uma fase fresca para um estado de hidratação já relativamente avançado ocorre em poucas horas, não permitindo neste caso obter, em geral, a deformação associada a parte significativa das reacções de hidratação, avaliando mal a tendência para as peças fissurarem. Ainda como vantagem do método aqui apresentado está a boa repetibilidade dos resultados na fase pós presa, tendo-se medido, entre provetes resultantes da mesma amassadura, diferenças que se mantiveram ao longo do tempo inferiores a 2 %, significativamente melhor que a dos métodos tradicionais, onde por vezes se encontram diferenças da ordem dos 10 % ou superiores.

Por outro lado, em relação a métodos lineares em que não é necessária a desmoldagem mas que usam moldes com maior inércia, a baixa rigidez do tubo de polietileno aumenta a sensibilidade da medição e reduz a possibilidade de concentração de tensões e de microfissuração.

Entre os inconvenientes do método estão a dificuldade de expulsar o ar associada à forma nervurada do tubo e a fraca reprodutibilidade dos resultados na fase fresca inicial. Este segundo inconveniente não é muito relevante, pois nessa fase as variações de volume não criam tensões, dado que os líquidos tomam livremente a forma dos seus recipientes. A exsudação de misturas com maior razão A/C torna também as leituras nas primeiras idades pouco representativas, pelo que não é recomendável efectuar medições com estas misturas. Finalmente, a definição do tempo zero, ou seja, o tempo a partir do qual as deformações posteriores são relevantes para o cálculo de tensões, ainda não é definido de forma consensual. Todavia, este inconveniente é partilhado por qualquer método, dado o estado actual do conhecimento.

Apesar de o método ser extensível a betões, usando um tubo de maiores dimensões [7], actualmente o LNEC não dispõe desses moldes nem tem ainda experiência sobre a sua utilização.

4. EXEMPLOS DE RESULTADOS DE ENSAIOS

Na forma tradicional de medir a retracção, em que os provetes são desmoldados às 24 horas, sendo esse considerado o tempo zero, é corrente obter-se uma curva aproximadamente parabólica nos gráficos que relacionam a idade do betão com a extensão de retracção. Um exemplo disso está apresentado na Fig. 2, relativa à retracção de provetes de betão livres e selados, ou seja, sujeitos ou não à retracção de secagem, respectivamente.

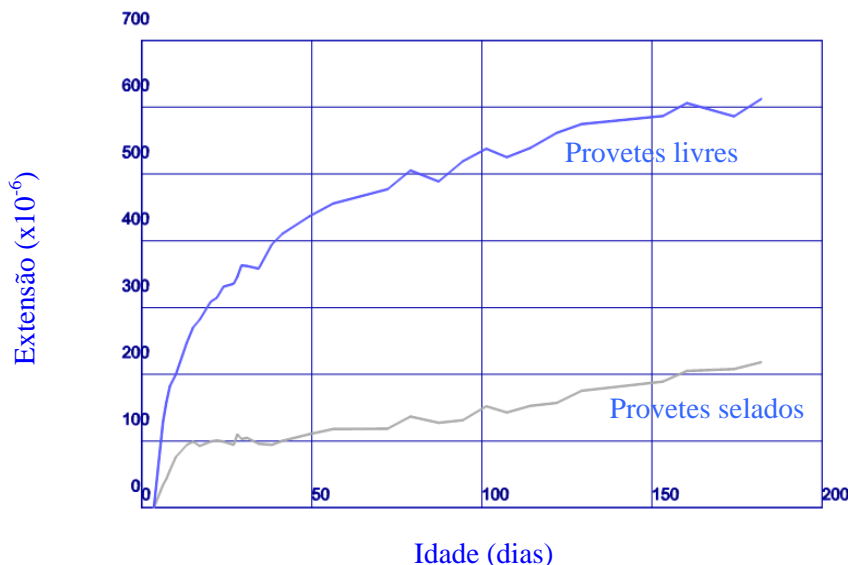


Figura 2. Exemplo de resultados obtidos num ensaio de retracção tradicional de um betão corrente (valores positivos correspondem a retracção)

Por vezes surgem expansões nas primeiras idades, que não são objecto de apreciação especial, sendo consideradas associadas a variações de temperatura ou à reabsorção de água exsudada, Fig. 3.

Se para a análise estrutural a longo prazo a expansão inicial não é relevante, para o estudo da fissuração em idades muito jovens é necessário compreender melhor a origem do fenómeno. Para estas situações este novo equipamento dá uma ajuda importante. Veja-se então o comportamento de duas pastas de cimento, fabricadas com a mesma razão água cimento (0,30), mas com cimentos diferentes. Foi usado também um superplastificante para conferir fluidez suficiente à pasta para enchimento do molde. Os tempos de presa das pastas foram de 310 minutos na pasta identificada como presa normal

e de 720 minutos na pasta identificada como presa lenta. Os diferentes tempos de presa estão associados a diferentes teores de óxido de alumínio no cimento, 5,42 % e 4,43 % e a distinta dosagem de superplastificante, 0,82 % e 1,85 %, respectivamente. Na Fig. 4 encontram-se indicados os valores da extensão.

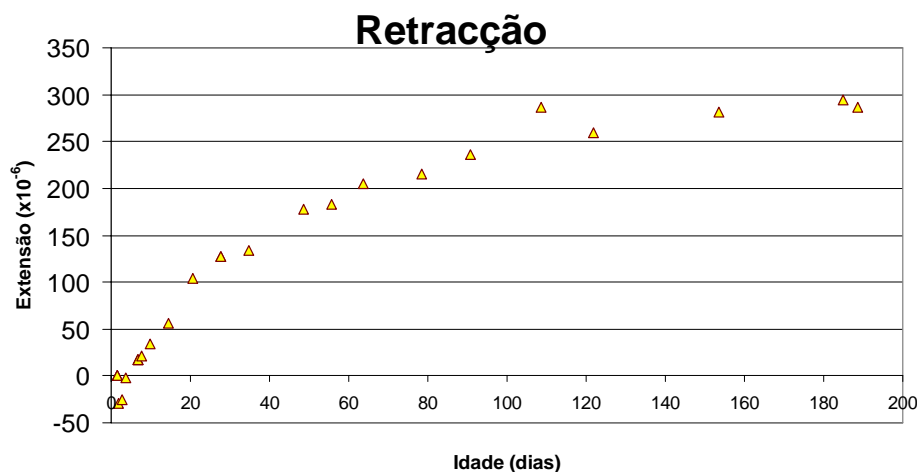


Figura 3. Exemplo de resultados obtidos num ensaio de retracção tradicional de um betão corrente em que se observou expansão nas primeiras idades (valores positivos correspondem a retracção).

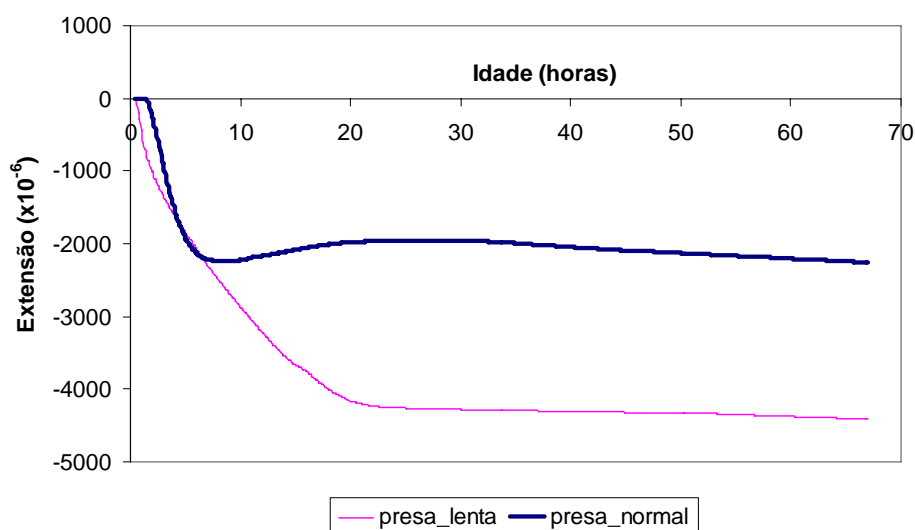


Figura 4. Extensão de duas pastas, com dois cimentos diferentes, medida no equipamento desenvolvido por Ole Jensen (valores negativos correspondem a retracção).

Sem entrar em grandes detalhes sobre a origem do comportamento diferenciado das duas pastas, objecto de um outro trabalho em curso, observa-se em ambas uma fase inicial de grandes deformações, que corresponde à fase fresca da pasta, seguida de uma certa estabilização, que corresponde à fase de solidificação. A pasta de presa lenta, como seria de esperar, apresenta um período de deformação no estado líquido mais prolongado, o que se reflecte na maior deformação medida. No entanto, como atrás se referiu, este método não apresenta boa reprodutibilidade na fase fresca, pelo que os valores absolutos medidos nesta fase têm apenas valor indicativo, pois dependem de outros factores não controlados, como sejam o tempo de enchimento dos provetes ou o tempo da massa em repouso antes do início das medições. Tome-se então como tempo inicial, ou seja, tempo t_0 , o primeiro instante em que a curva apresenta um declive nulo, que se atribui ser devido à passagem de um comportamento equiparado ao de um líquido para um comportamento equiparado a um sólido e

que apenas as deformações neste segundo estado são relevantes para as tensões no sólido. Neste caso, os valores da extensão referidos na Fig. 4 são transladados de forma a que a extensão nula seja a correspondente ao referido instante. Obtém-se então a Fig. 5, que ilustra um comportamento bem diferenciado das pastas no que se refere às extensões após o instante t_0 . Serão estas, em princípio, as deformações relevantes para as tensões no sólido.

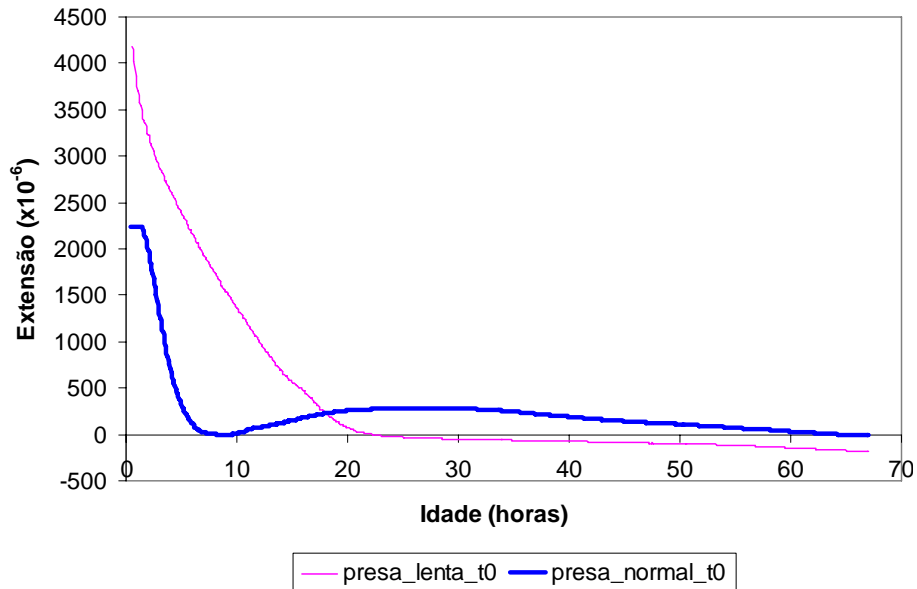


Figura 5. Valores indicados na Fig. 4, considerando o zero da extensão na primeira zona da curva com declive nulo (assumido como t_0)

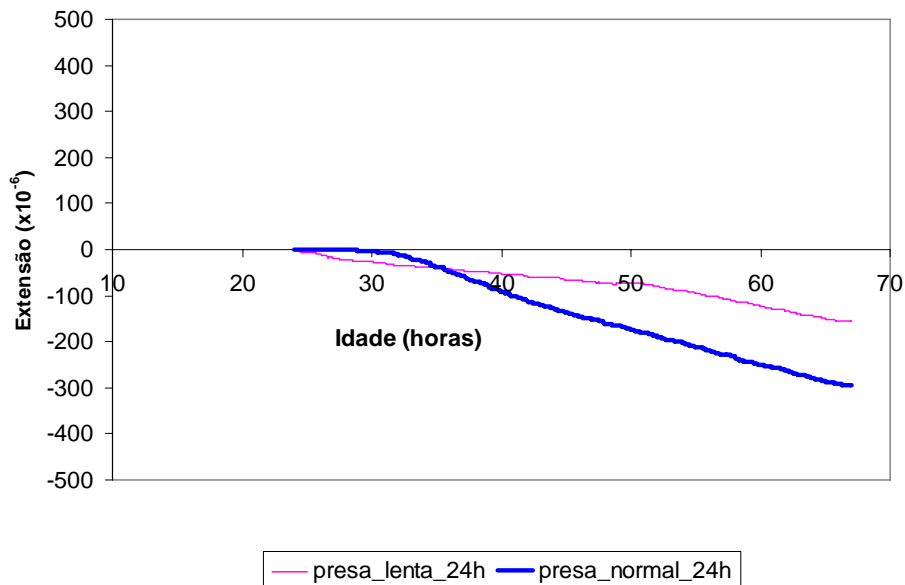


Figura 6. Valores indicados na Fig. 4, considerando extensão nula até às 24 horas

Caso fossem medidas apenas as deformações após as 24 horas, o observável seriam as deformações da Fig. 6, que estão longe de reflectir o comportamento real do material. Neste caso, da Fig. 6, por volta das 60 horas (cerca de 2,5 dias) a pasta com o cimento de presa normal teria cerca do dobro das deformações da pasta com cimento de presa lenta, o que, em termos de tensões, poderia resultar numa proporção semelhante. Observando a curva completa de deformações, chega-se à conclusão que as tensões resultantes nas duas pastas variam muito em função do tempo inicial t_0 , ou seja, do instante em

que as deformações não são livres de ocorrer sem originar tensões, podendo até ser escolhido um momento para o qual a pasta com cimento de presa lenta apresenta maiores deformações de retração que a pasta com cimento de presa normal, por exemplo entre as 15 e as 30 horas.

As deformações medidas nos dois cimentos são claramente distintas, exibindo num caso uma fase de expansão, o que sugere a possibilidade de estarmos em presença de erros associados ao método utilizado. Esse não parece ser o caso, uma vez que o ensaio apresenta boa repetibilidade, para o estado endurecido, como se pode observar na Fig. 7, que ilustra os resultados obtidos em duas pastas preparadas com a mesma composição, mas realizadas em instantes diferentes. Note-se, porém, que as duas pastas indicadas nesta figura não são exactamente iguais, uma vez que a pasta 1 foi misturada numa velocidade lenta, enquanto a pasta 2 foi amassada a velocidade usando também velocidade rápida (de acordo com a NP EN 196-1). Apesar da diferença na preparação das pastas, a extensão na fase endurecida é praticamente coincidente, o que evidencia que o método apresenta resultados coerentes, como ilustra a Fig. 8 (resultados após as 10 horas).

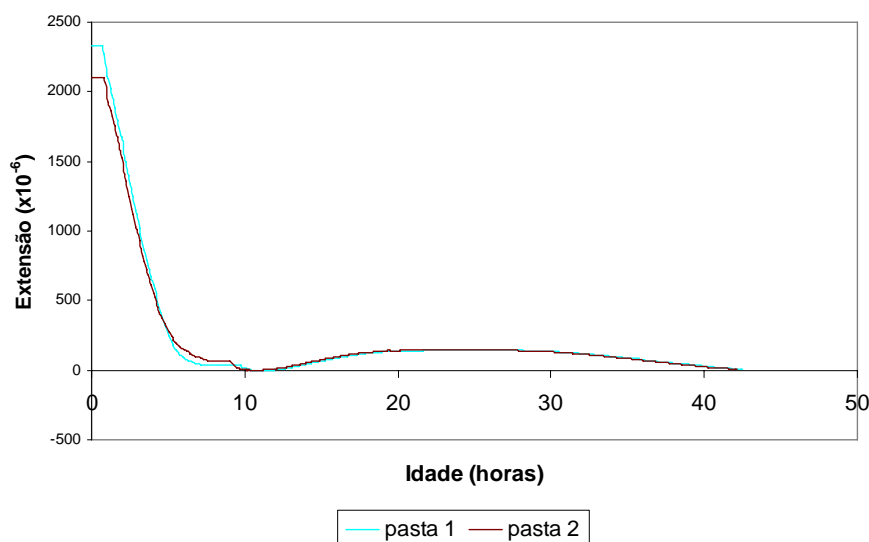


Figura 7. Extensão de duas pastas, fabricadas com a mesma composição, medida no equipamento desenvolvido por Ole Jensen.

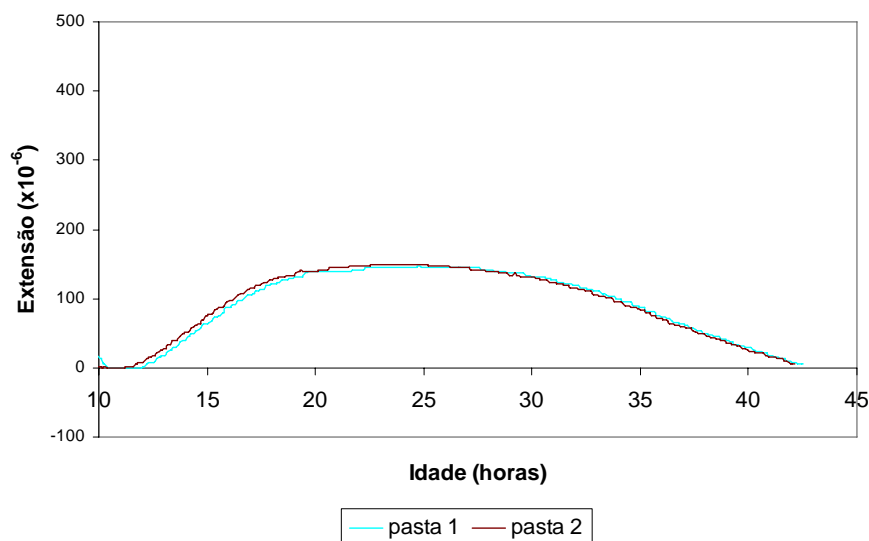


Figura 8. Valores indicados na Fig. 7, considerando extensão nula às 11 horas

5. COMENTÁRIOS FINAIS

A retracção autogénea do betão é um fenómeno com importância crescente. Os métodos correntemente utilizados em Portugal para a medir apresentam limitações nos casos em que a razão A/C é baixa. O novo método introduzido recentemente no LNEC, desenvolvido originalmente por Ole Jensen, apresenta vantagens significativas, uma vez que permite acompanhar as deformações desde a fase líquida, englobando, portanto, as variações de volume relevantes para o cálculo de tensões e para a fissuração. Assim, podem ser efectuadas melhores previsões da possibilidade de fissuração e proceder a uma escolha mais adequada de materiais a utilizar em aplicações específicas tais como materiais de reparação, betões autocompactáveis ou betões de elevado desempenho.

O controlo da fissuração nas estruturas não deve ser descurado, não só por efeitos estéticos mas principalmente para garantir a sua durabilidade. Casos existem em que a fissuração é inaceitável, como por exemplo em estruturas de contenção de líquidos não revestidas. A influência na fissuração do uso de diferentes cimentos, de adições, tais como sílica de fumo, cinzas volantes, fíler calcário, ou ainda de adjuvantes, por exemplo redutores de retracção, pode ser, assim, melhor avaliada. Os resultados de ensaios por este método, podem, portanto, ser usados como ferramenta dos projectistas para melhor controlar a fissuração das estruturas que dimensionam.

REFERÊNCIAS

- [1] JENSEN, OLE MEJLHEDE; HANSEN, PER FREIESLEBEN - Autogenous deformation and RH-change in perspective. *Cement and Concrete Research* 31 (2001) 1859–1865.
- [2] – MOUNANGA, PIERRE; BAROGHEL-BOUNY, VÉRONIQUE; LOUKILI, AHMED; KHELIDJ, ABDELHAFID - Autogenous deformations of cement pastes: Part I. Temperature effects at early age and micro–macro correlations. *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 110– 122.
- [3] JENSEN, OLE MEJLHEDE; HANSEN, PER FREIESLEBEN - A dilatometer for measuring autogenous deformation in hardening Portland cement paste. *Materials and Structures* 28 (1995) 406–409.
- [4] EN 1992-1-1. 2004, Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1: General rules and rules for buildings. CEN - European Committee for Standardization, 225 p.
- [5] prEN 1992-2. 2004, Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 2: Concrete bridges - Design and detailing rules. CEN - European Committee for Standardization, 91 p.
- [6] Especificação LNEC E 476. 2007, Pastas de cimento: determinação da retracção autogénea. LNEC, 7 p.
- [7] TIAN, QIAN; JENSEN, OLE MEJLHEDE - Measuring Autogenous Strain of Concrete. Technical report, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, August 2007, 36 p.