

# EXPRESSTHERMO



MONITORIZAÇÃO DA  
MATURAÇÃO DO BETÃO, SIMPLES E EFICAZ!

## MONITORIZAÇÃO DA MATURAÇÃO DO BETÃO, SIMPLES E EFICAZ!

### APRESENTAÇÃO

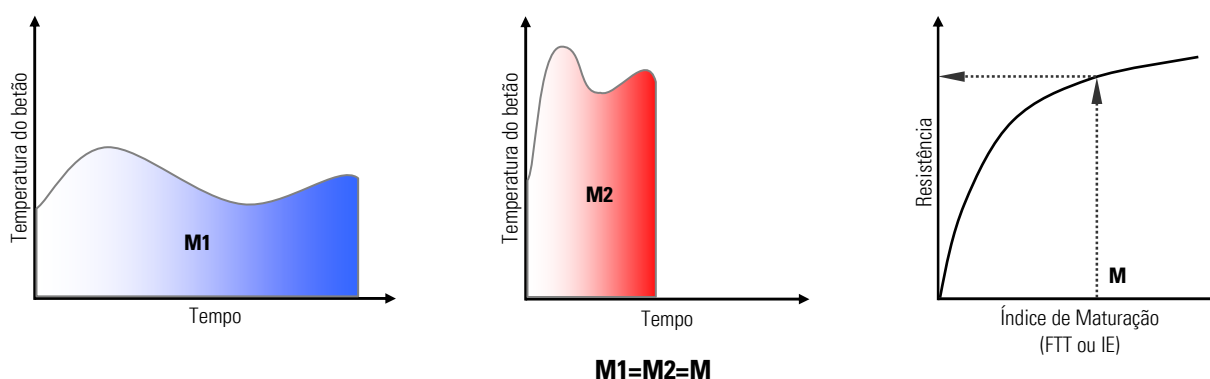
A cura e o endurecimento do betão são etapas inevitáveis de qualquer obra que envolva estruturas de betão armado, encontrando-se geralmente no caminho crítico do planeamento uma vez que é incontornável.

O método mais usual para controlo de qualidade deste processo é a utilização de provetes que representam, de forma aproximada, a evolução do endurecimento do betão da estrutura real. É sabido que este método fornece informação consideravelmente deficiente.

A resistência de uma mistura de betão depende da temperatura a que esteve sujeito e do tempo de cura. Tempos de cura mais longos e temperaturas mais elevadas levam a que a resistência se desenvolva mais rapidamente. O método da maturação tem em consideração a combinação destes dois factores e permite estimar a resistência do betão através do histórico da temperatura de cura.

As bases deste conceito já são conhecidas desde o início do século XX, mas só em 1950 este fenómeno foi estudado cientificamente e publicado o primeiro trabalho sobre o assunto. Fruto da investigação sobre o conceito da maturação do betão, a "American Society for Testing and Materials" (ASTM) publicou em 1987 a primeira versão de uma norma sobre a aplicação prática da avaliação da maturação do betão. Com o avanço da tecnologia e disponibilidade de equipamentos apropriados, este método está a conquistar uma confiança crescente e ser utilizado de forma cada vez mais generalizada.

O Método da Maturação tem por base uma teoria bastante simples: a exposição do betão a temperaturas mais elevadas resulta numa taxa de hidratação mais elevada (e, em consequência, um desenvolvimento mais rápido da resistência). Pelo contrário, se o betão é exposto a temperaturas mais frias, hidrata mais lentamente. Os dados registados pelos sensores de temperatura de betão, quando relacionados com uma curva de calibração gerada previamente, fornecem a informação necessária para estimar a resistência desenvolvida pelo betão durante o processo de cura.



Em resumo: uma mistura de betão com um mesmo índice de maturação apresenta a mesma resistência independentemente das variações de temperatura a que esteve sujeita e do tempo que demorou a atingir esse índice.

O método da maturação permite estimar o desenvolvimento da resistência do betão, informação que se reveste da maior importância para os responsáveis de obra, na medida em que lhes permite tomar decisões sobre vários aspectos:

- Momento oportuno para a descofragem;
- Momento oportuno para o descimbramento;
- Programação de operações de pós-tensionamento;
- Cortar juntas;
- Remoção de protecções contra elementos atmosféricos adversos;
- Programação da entrada em serviço de uma estrutura.

## MONITORIZAÇÃO DA MATURAÇÃO DO BETÃO, SIMPLES E EFICAZ!

Para além dos aspectos operacionais, os custos de controlo de qualidade com o método da maturação são consideravelmente inferiores quando comparados com os métodos tradicionais: requerem menos provetes e menos ensaios. Sendo um método de teste não destrutivo, não tem qualquer impacto na estrutura.

Acresce ainda o facto de a informação ser obtida em obra, com a conseqüente comodidade e poupança de tempo.

Considerando todos estes factores, pode concluir-se que a monitorização da maturação do betão permite reduções de custos muito significativas e ganhos de tempo importantes, tudo isto através de um investimento insignificante.

Baseado na norma ASTM C1074 "Aplicação prática para a estimativa da resistência do betão através do Método de Maturação", o sistema de monitorização da cura do betão é composto por: sensores de temperatura e um software de cálculo que analisa o histórico de temperatura do betão e estima a resistência desenvolvida. O cálculo da maturação pode ser efectuado através de qualquer um dos métodos previstos na norma: Factor de Tempo-Temperatura (Nurse-Saul) ou Idade Equivalente (Equação de Arrhenius). Tudo isto em tempo real, na obra e através de uma ferramenta de software muito simples de utilizar.

### **PORQUÊ UTILIZAR O SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO DA MATURAÇÃO DO BETÃO?**

A abordagem tradicional de avaliar a resistência desenvolvida por uma estrutura de betão através de provetes curados nas mesmas circunstâncias que a estrutura real, é vulgarmente utilizada para programar as actividades da construção.

O Método da Maturação faz uso do conceito básico de que as propriedades do betão se desenvolvem com o tempo à medida que o cimento hidrata ao mesmo tempo que esta reacção liberta calor. A taxa de desenvolvimento da resistência na fase inicial está fortemente relacionada com a taxa de hidratação. Por sua vez, o calor gerado pela reacção de hidratação contribui para o aumento da temperatura do betão. A vantagem principal do Método da maturação é a de que utiliza o histórico da temperatura *real* do betão da para estimar a resistência desenvolvida.

Em 1920 foi publicada a norma ASTM C31, "Instruções para o fabrico e cura de provetes de betão". Posteriormente, em 1927, a ASTM publicou o trabalho de R.B. Young que questiona o método dos provetes – tese que persiste até hoje.

E. Cohen, presidente da ACI, escreve em 1972 que "este método [dos provetes] (...) necessita de melhorias significativas. O normal provete padrão é útil para testar e seleccionar a composição da mistura, é no entanto um péssimo procedimento para o controle de qualidade". Conclusão idêntica é publicada em 1976 por Ramakrishnan: "a ideia de que os provetes representam o betão na obra é incorrecta e impede o desenvolvimento de conceitos mais realísticos e económicos." Os provetes isolados, na esmagadora maioria dos casos, deturpam os valores reais da resistência desenvolvida pelo betão da estrutura.

#### *Preparação, manuseamento e ensaios*

A manipulação dos provetes têm impacto nos resultados dos testes que se venham a efectuar. Os provetes podem ser preparados de forma inadequada, mal manuseados e/ou testados, o que pode conduzir a que os resultados dos ensaios de flexão/compressão indiquem valores de resistência inferiores aos reais, causando atrasos na programação do trabalho.

#### *Diferença de condições ambientais*

As diferenças entre o meio envolvente em que estão os provetes e aquele a que está sujeita a estrutura têm um impacto significativo na taxa de desenvolvimento da resistência. As temperaturas de cura para os provetes em laboratório e em obra raramente reproduzem fielmente as condições de cura do betão da estrutura. A evolução da temperatura será naturalmente diferente devido às diferenças entre as condições ambientais, da geometria, das características térmicas e do volume das massas. Em consequência, a taxa de desenvolvimento da resistência será necessariamente diferente. Considerações de ordem económica e de segurança nas actividades da construção (descobragem, pós-tensionamento, escoramento, etc.) requerem que a avaliação da resistência desenvolvida pelo betão seja o mais exacta possível.

## MONITORIZAÇÃO DA MATURAÇÃO DO BETÃO, SIMPLES E EFICAZ!

### *Diferenças de volume e geometria*

As diferenças geométricas entre os provetes e o betão na estrutura leva a que existam diferenças significativas na evolução da temperatura e, conseqüentemente, nas taxas de desenvolvimento da resistência. Volumes maiores retêm maior quantidade de calor. Os provetes contêm um volume muito pequeno de betão, mas em comparação, a área da sua superfície é grande. Este coeficiente do volume em relação à área de superfície significa que tem uma menor capacidade de reter calor. Esta diferença, em termos de propriedades térmicas comparativamente com uma estrutura real, significa que os provetes desenvolvem resistência a um ritmo muito diferente do betão de estrutura real. Os processos tradicionais em que são utilizados os provetes penalizam tanto o dono de obra, como o empreiteiro, não considerando o calor adicional que é retido pela estrutura e o correspondente ganho no desenvolvimento de resistência. Tudo isto são factores que custam tempo e dinheiro.

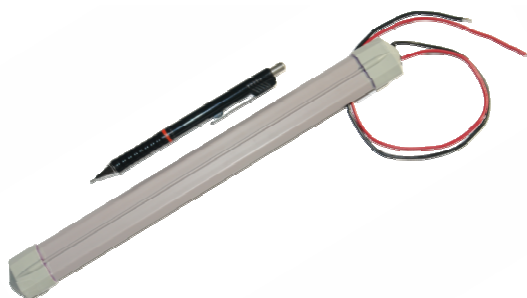
Não importa se a estrutura está exposta a um ambiente mais frio ou mais quente, ou se ocorrem grandes amplitudes térmicas, o sistema avalia todo o histórico da temperatura e fornece dados precisos que permitem dispor de um protocolo de validação em obra, tanto para decisões sobre o andamento da obra como para decisões relacionadas com a garantia de qualidade.

Não importa qual a forma da estrutura (pilares, vigas, lajes, pavimentos, plataformas elevadas, etc.) o sistema fornece informação em obra e em tempo real, sobre a qualidade do betão, que é crítica para o desenrolar da obra e para determinar a segurança e a oportunidade de poder avançar para as etapas seguintes. Poder avaliar e documentar o desenvolvimento da resistência do betão em obra e em tempo real, é um aspecto que faz toda a diferença.

### **VANTAGENS EM UTILIZAR UM SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO DA MATURAÇÃO DO BETÃO**

- Proporciona informação que permite ajustar a programação da obra, melhora o Controlo de Qualidade e poupa tempo e dinheiro.
- Encurta o caminho crítico das actividades programadas: permitindo antecipar, com segurança, as operações que dependem do desenvolvimento da resistência do betão.
- Obtenção de dados de forma imediata e em obra, melhorando o Controlo de Qualidade.
- Documenta o desenvolvimento da resistência e regista o histórico das condições de temperatura, contribuindo para uma Garantia de Qualidade.

### **SENSOR DE TEMPERATURA PARA BETÃO – CTS100**



O CTS100 regista a temperatura em três localizações distintas (nas extremidades e no centro) com uma periodicidade definida pelo utilizador, entre 1 a 255 minutos.

É um dispositivo robusto e autónomo, com memória para 2048 pontos de leitura, resolução de 0,5°C e erro inferior a  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

## MONITORIZAÇÃO DA MATURAÇÃO DO BETÃO, SIMPLES E EFICAZ!

Programando o sensor com um intervalo de leitura de 15 minutos – perfeitamente adequada à evolução esperada no processo de cura – a memória tem capacidade para 21 dias de registo. Aumentado para 1 hora, a memória passa a ter capacidade para guardar 3 meses de registo.

Cada sensor tem um número de identificação único, com 64 bits, atribuído e inscrito a laser no dispositivo durante o processo de fabrico.

A unicidade desse número físico e electrónico garante que a rastreabilidade seja inequívoca.

A comunicação com o sensor é efectuada através de 2 fios, cujas pontas ficam acessíveis no exterior da estrutura permitindo o contacto eléctrico com o sensor para a comunicação nas operações de programação e descarga/análise de dados.

O invólucro do sensor é fabricado em PVC, o que lhe confere uma resistência adequada à utilização pretendida.

A duração da bateria interna pode ir até 10 anos, o que significa que os sensores podem ser utilizados para monitorizar as condições de vida da estrutura após a monitorização inicial do processo de cura.

Estão disponíveis sensores de 4 comprimentos diferentes, a utilizar consoante a aplicação pretendida.

Modelo	Comprimento do sensor	Modelo	Comprimento do sensor
CTS100-8	19,7 (7.75)	CTS100-12	29,8 (11.75)
CTS100-10	24,8 (9.75)	CTS100-15	37,5 (14.75)

Nota: Dimensões expressas em centímetros (polegadas).

## SOFTWARE EXPRESSTHERMO

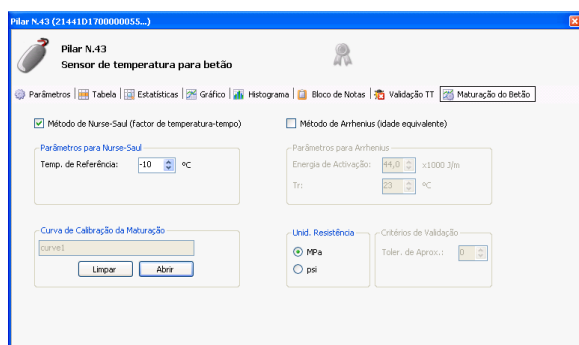
O software ExpressThermo Professional dispõe de um módulo com as ferramentas de análise e cálculo para obter informação da maturação do betão.

Utilizando curvas de calibração o ExpressThermo calcula também a estimativa da resistência desenvolvida.

A interface, de utilização muito intuitiva, permite programar os parâmetros de registo, descarregar e analisar as medições efectuadas, e efectuar, de forma automática, os cálculos para a estimativa da resistência desenvolvida.

A informação dos sensores é guardada em ficheiros de projecto que podem agrupar vários sensores. Isto possibilita, por exemplo, dispor de um ficheiro único para cada obra, ou secção de construção.

Alguns ecrãs das ferramentas do ExpressThermo para a avaliação da maturação do betão:



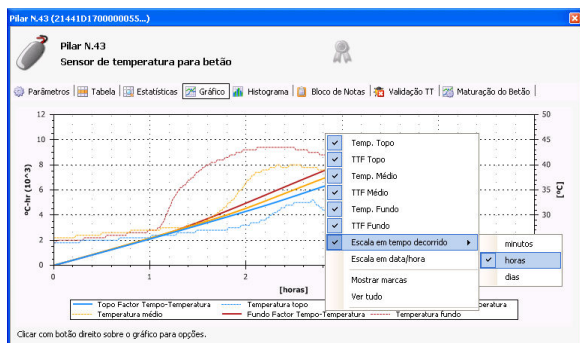
Definição dos parâmetros para o cálculo da maturação



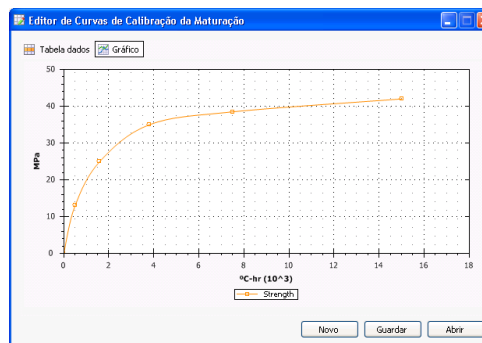
Data / Hora	Tempo	Temp. Topo [°C]	TTF [°C-hr]	Temp. Médio [°C]	TTF [°C-hr]	Temp. Fundo [°C]	TTF [°C-hr]
2007-10-09 12:58:00	00:55	+25,5	1924,500	+27,0	1990,500	+26,5	1959,500
2007-10-09 12:59:00	00:56	+25,5	1960,000	+27,0	2027,500	+26,5	1996,000
2007-10-09 13:00:00	00:57	+25,5	1995,500	+27,0	2064,500	+26,5	2032,500
2007-10-09 13:01:00	00:58	+25,5	2031,000	+27,0	2101,500	+26,5	2069,000
2007-10-09 13:02:00	00:59	+25,5	2066,500	+27,0	2138,500	+27,0	2106,000
2007-10-09 13:03:00	01:00	+25,5	2102,000	+27,0	2175,500	+27,0	2143,000
2007-10-09 13:04:00	01:01	+26,0	2138,000	+27,0	2212,500	+27,0	2180,000
2007-10-09 13:05:00	01:02	+26,0	2174,000	+27,0	2249,500	+27,0	2217,000
2007-10-09 13:06:00	01:03	+26,0	2210,000	+27,0	2286,500	+27,0	2254,000
2007-10-09 13:07:00	01:04	+26,0	2246,000	+27,0	2323,500	+27,0	2291,000
2007-10-09 13:08:00	01:05	+26,0	2282,000	+27,0	2360,500	+27,5	2328,500
2007-10-09 13:09:00	01:06	+26,0	2318,000	+27,0	2397,500	+27,5	2366,000

Consulta das leituras de temperatura/maturação

# MONITORIZAÇÃO DA MATURAÇÃO DO BETÃO, SIMPLES E EFICAZ!



Consulta do gráfico do registo e curvas de maturação



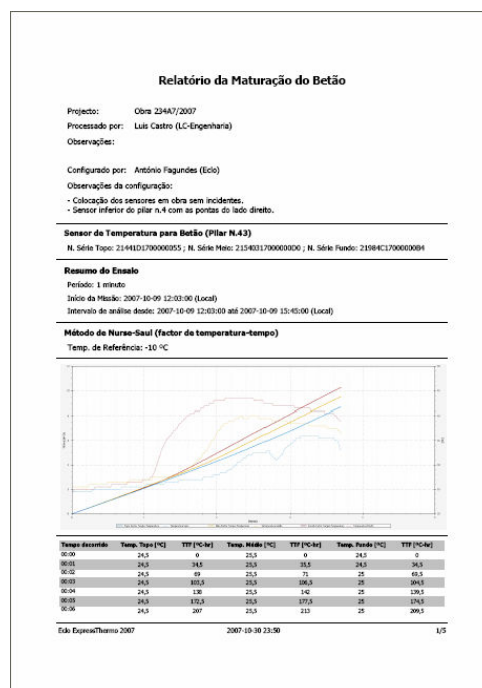
Editor de curvas de calibração da maturação

O ExpressThermo gera também relatórios com os dados do registo, gráfico e informação de cálculo e do projecto.

O conteúdo pode ser seleccionado no momento da impressão, de acordo com as necessidades do utilizador. As secções seleccionáveis são: resumo dos parâmetros de registo, gráfico do registo e dos valores calculados, tabela do registo e dos valores calculados, informação sobre o método e parâmetros de cálculo e informação do projecto.

Os relatórios podem ser completamente personalizados, com alterações que podem ir desde a formatação até à inclusão de imagens (o logótipo da empresa, por exemplo).

É possível também exportar os dados do registo para diversos formatos tais: texto, HTML, XML, Excel.



## UTILIZAÇÃO DO SISTEMA

A utilização do sistema de Monitorização da Maturação do betão pressupõe duas etapas.

### Etapas 1: Criar a curva de maturação

A criação da curva de calibração de Maturação para uma mistura de betão deverá ser efectuada em laboratório antes da utilização em obra. Em alternativa, pode ser executado em obra durante os trabalhos iniciais de betonagem.

Em qualquer um dos casos os métodos de fabrico, materiais constituintes, proporções, e aditivos utilizados na mistura deverão ser os mesmos uma vez que as curvas de calibração dependem exclusivamente das características de uma mistura específica.

Todas as alterações a qualquer dos factores descritos, ou no processo de fabrico obrigam ao desenvolvimento de uma nova curva de calibração.

## MONITORIZAÇÃO DA MATURAÇÃO DO BETÃO, SIMPLES E EFICAZ!

### Etapa 2: Colocação dos sensores em obra

Para utilizar o sistema em obra, basta colocar os sensores nos pontos a monitorizar e programá-los com os parâmetros pretendidos. Posteriormente basta conectar o sensor, descarregar e analisar os dados. Os sensores podem ser colocados na estrutura de duas formas diferentes:

- Fixação prévia na armadura, antes da betonagem.
- Colocação na massa de betão fresco, introduzindo nela o sensor.

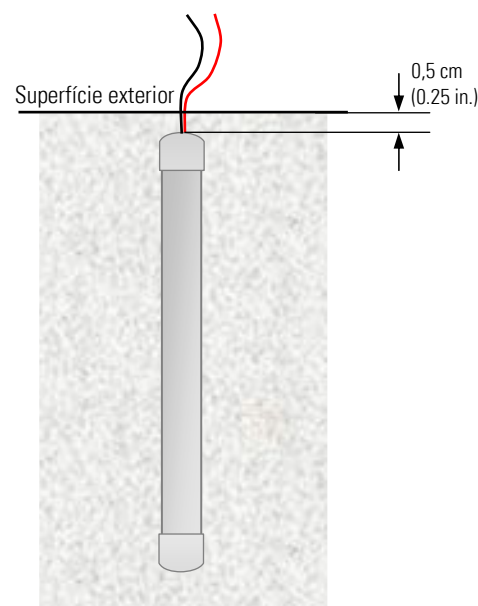
Em qualquer uma das situações deverá ser colocado na perpendicular com a superfície exterior, com o topo a cerca de 0,5 cm de profundidade. As extremidades dos cabos ficarão expostas para posterior comunicação com o sensor.

O Índice de Maturação do betão é calculado automaticamente pelo software ExpressThermo Professional.

Para poder determinar a maturação e a resistência desenvolvida é necessário dispor da curva de calibração da maturação para a mistura de betão utilizada.

A Eclo disponibiliza, a pedido, informação técnica e um guia de utilização do sistema.

Está também disponível um serviço de consultoria em obra, especialmente indicado para as empresas que vão iniciar a utilização do sistema e pretendem formação.



### KIT EXPRESSTHERMO PARA BETÃO



O Kit Eclo ExpressThermo para Betão contém:

- 1 CD de instalação do software ExpressThermo Professional
- 1 Licença para PC
- 1 Adaptador USB
- 1 Cabo de comunicação para sensores CTS100

### REFERÊNCIAS

De entre diversas empresas e organismos que utilizam sistemas de monitorização da maturação do betão, ou exigem a sua utilização aos empreiteiros de contratam através dos cadernos de encargos, aqui se destacam alguns pela sua dimensão ou notoriedade:

- Administração Federal de Auto-estradas do Departamento de Transportes dos EUA
- Administração Federal da Aviação dos EUA
- Departamento de Transportes do Estado da Califórnia (EUA)
- Departamento de Transportes do Estado do Texas (EUA)
- Instituto Tecnológico Dinamarquês

## MONITORIZAÇÃO DA MATURAÇÃO DO BETÃO, SIMPLES E EFICAZ!

### NORMAS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

As seguintes normas, especificações e relatórios referem-se a técnicas de estimativa e análise da maturação do betão.

#### *ASTM*

ASTM C 1074 – “Aplicação prática para estimar a resistência do betão através do Métodos de Maturação”

ASTM C 918 – “Método de teste para determinar a resistência à compressão precoce e estimar a resistência a longo prazo”

#### *ACI*

ACI 228.1R (secção 2.7) – “Métodos para estimar a resistência do betão em obra”

ACI 306R – “Betonagem em tempo frio”

ACI 318 – “Regulamento para betão estrutural em edifícios”

R6.2 – A avaliação da resistência do betão em obra pode ser demonstrada pelos provetes ou outros métodos oficialmente reconhecidos, como por exemplo (...) Medição do factor de cura e respectiva correlação de acordo com a ASTM C 1074.

#### *Normas Europeias e Eurocódigos*

ENV 206 – “Betão; Comportamento, produção, colocação e critérios de conformidade”

10 – Transporte, colocação e cura do betão fresco

10.6 – Cura e protecção

10.7 – Tratamento com calor

10.8 – Descofragem

11 – Procedimentos para o controle da qualidade

EN 2006-1 – “Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade”

ENV 13670-1 – “Execução de estruturas de betão. Parte 1: Regras gerais”

EC 2 (Eurocódigo 2) – “Projecto de estruturas de betão. Parte 1: Regras gerais e regras para edifícios”

6.3 – Regras de construção

6.3.1 – Betão

6.3.2 – Moldes e Cimbres

6.3.2.4 – Desmoldagem e descimbramento

#### *Legislação Portuguesa*

D.L. 301/2007, de 23 de Agosto – Estabelece as condições a que deve obedecer a especificação e produção dos betões de ligantes hidráulicos.

D.L. 349-C/83, de 30 de Julho – “Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado”

Art.º 153.º – Desmoldagem e descimbramento

Art.º 165.º – Cura do betão

§ 2.º - “Os processos especiais de cura do betão, eventualmente utilizados, devem ser aplicados de acordo com a técnica de eficácia comprovada. Devem, além disso, ter-se em conta as eventuais alterações das propriedades do betão motivadas por tais processos, em particular no que se refere à evolução da resistência no tempo,...”

## MONITORIZAÇÃO DA MATURAÇÃO DO BETÃO, SIMPLES E EFICAZ!

### A Eclo

A Eclo é uma empresa de base tecnológica, líder em I&D+i de sistemas de monitorização.

A oferta de equipamentos e soluções divide-se em quatro áreas:

- Sistemas de registo e monitorização de temperatura e humidade baseado nos registadores Thermochron, Hygrochron e iBTag® e no software ExpressThermo;
- Sistema de monitorização da maturação do betão baseado no software ExpressThermo;
- Sistemas de gestão de informação de rastreabilidade para a indústria agro-alimentar: ExpressTrace;
- Sistemas de monitorização e controlo baseados em tecnologia sem-fios: ExpressNET.

Para além das soluções standard, tem capacidade para trabalhar em projectos de desenvolvimento por medida. O portfolio de soluções conta já com grandes projectos como um sistema integrado de gestão de informação operacional e de registos de temperatura para o maior exportador de fruta da Argentina, a TSP Patagonia Norte.

Mantém uma parceria tecnológica com a Maxim Integrated Products, Inc. (fabricante dos Thermochron e Hygrochron) e desenvolve todo o sistema que permite a utilização desses registadores. É a única empresa na Península Ibérica a trabalhar com estes equipamentos com o estatuto de Parceiro Autorizado de Desenvolvimento – Authorized Solutions Developer – atribuído pela Maxim Integrated Products, Inc.

