



Solução digital para aumento de produtividade em concretos pré-moldados através do monitoramento térmico



Holcim

Histórico de inovação

Primeira empresa a produzir o cimento CP V ARI no Brasil



PRODUTOS & SERVIÇOS

I – CONCRETE

O que é ?



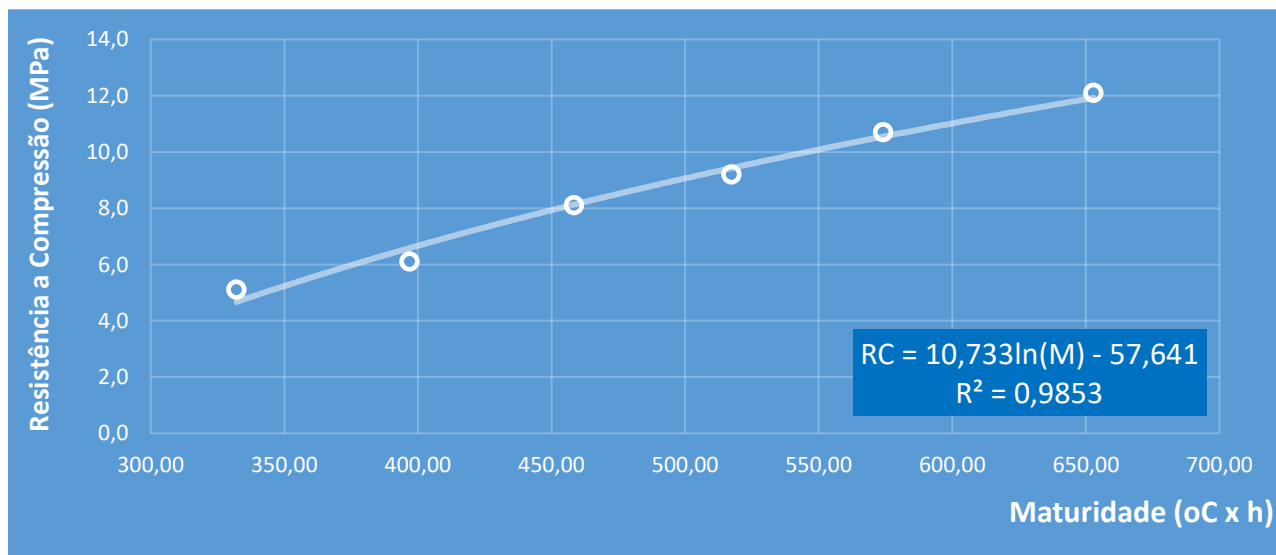
Tecnologia digital para monitoramento térmico em estruturas de concreto e pré-moldados, diagnósticos e avaliação dos parâmetros de qualidade do concreto através da aplicação do **Método da Maturidade**.



I – CONCRETE

O que é Maturidade?

Maturidade do Concreto é um conceito que relaciona a temperatura, o tempo e o desenvolvimento da resistência à compressão.



I – CONCRETE

Histórico da Maturidade

Os primeiros estudos sobre da **maturidade do concreto** datam das décadas de 40 e 50, na Inglaterra. McIntosh, Nurse e Saul foram os primeiros pesquisadores a falar sobre esta temática. Impulsionados inicialmente pelo desejo de prever a resistência do concreto curado a vapor, estudaram os efeitos da variação de temperatura no concreto em relação ao tempo.

“O concreto, da mesma mistura e na mesma maturidade (calculado em temperatura-tempo), tem aproximadamente a mesma resistência, qualquer que seja a combinação de temperatura e tempo para compensar essa maturidade”

O desenvolvimento do **Método da Maturidade** se baseia na quantificação do calor de hidratação, na sua variabilidade no tempo e temperatura a qual é submetido, bem como da energia de ativação do concreto.

O método da maturidade é preconizado:

ASTM C1074-11 (EUA)

NCH 3565 (Chile)

PROY-NMX-C-579-ONNCCE-2020 (México)

NTP 339.217 (Peru)

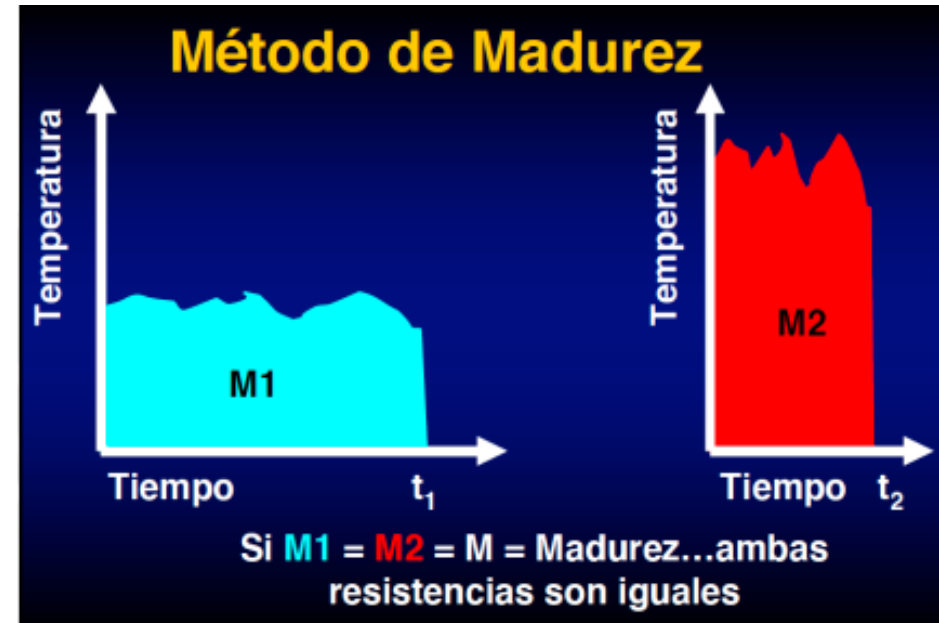
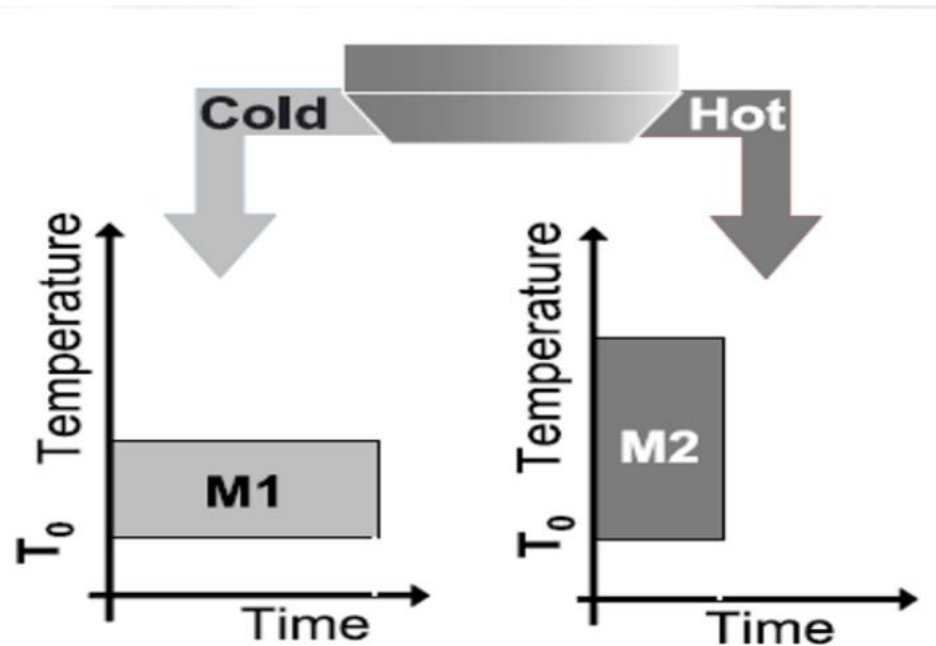
NTC 3756 (Colômbia)

NTG 41042 (Guatemala)

ABNT NBR 16055 - Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações — requisitos e procedimentos, está em fase de revisão e o texto contemplará o método da maturidade para determinação da resistência à compressão de desforma das paredes.

I – CONCRETE

Maduridade



Maturidade = Área

$$M = \sum (T_a - T_0) \times \Delta t$$

NURSE SAUL

M = Maduridade do concreto, Fator tempo-temperatura na idade t

T_a = Temperatura média durante intervalo dt, em (°C)

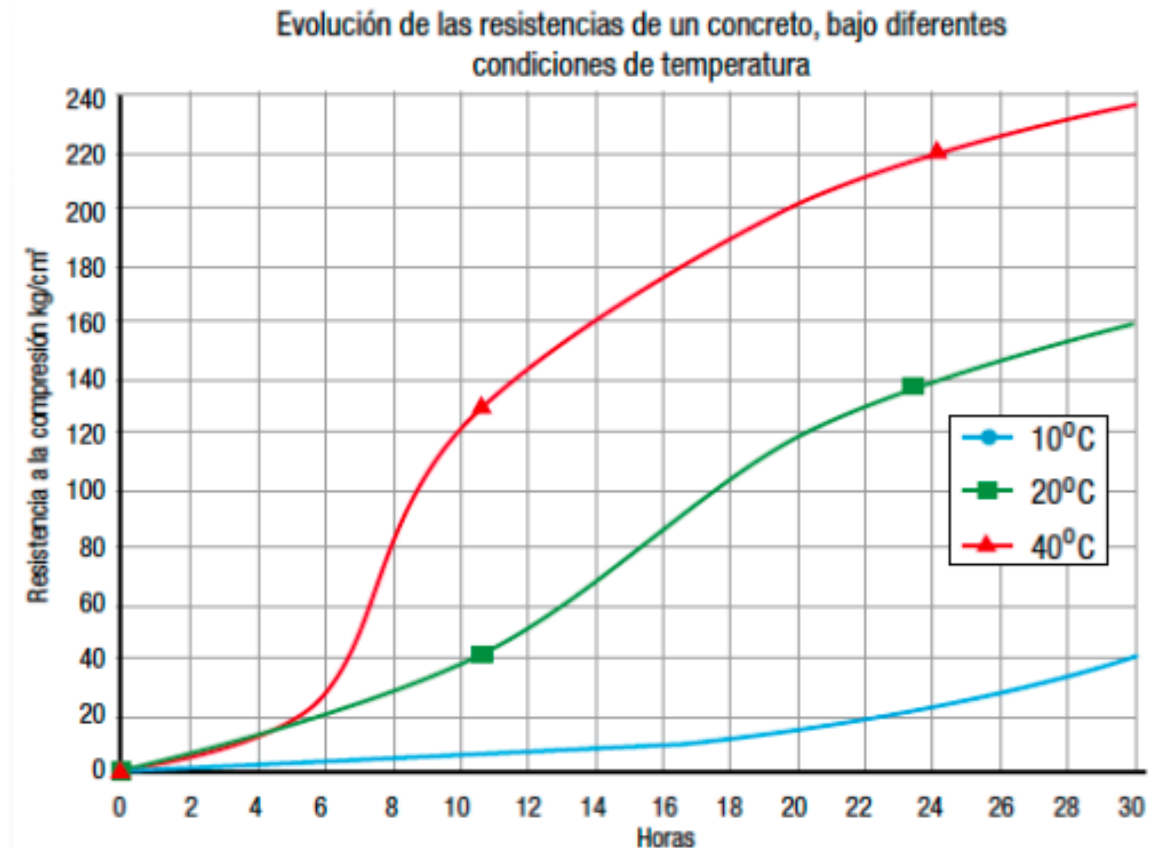
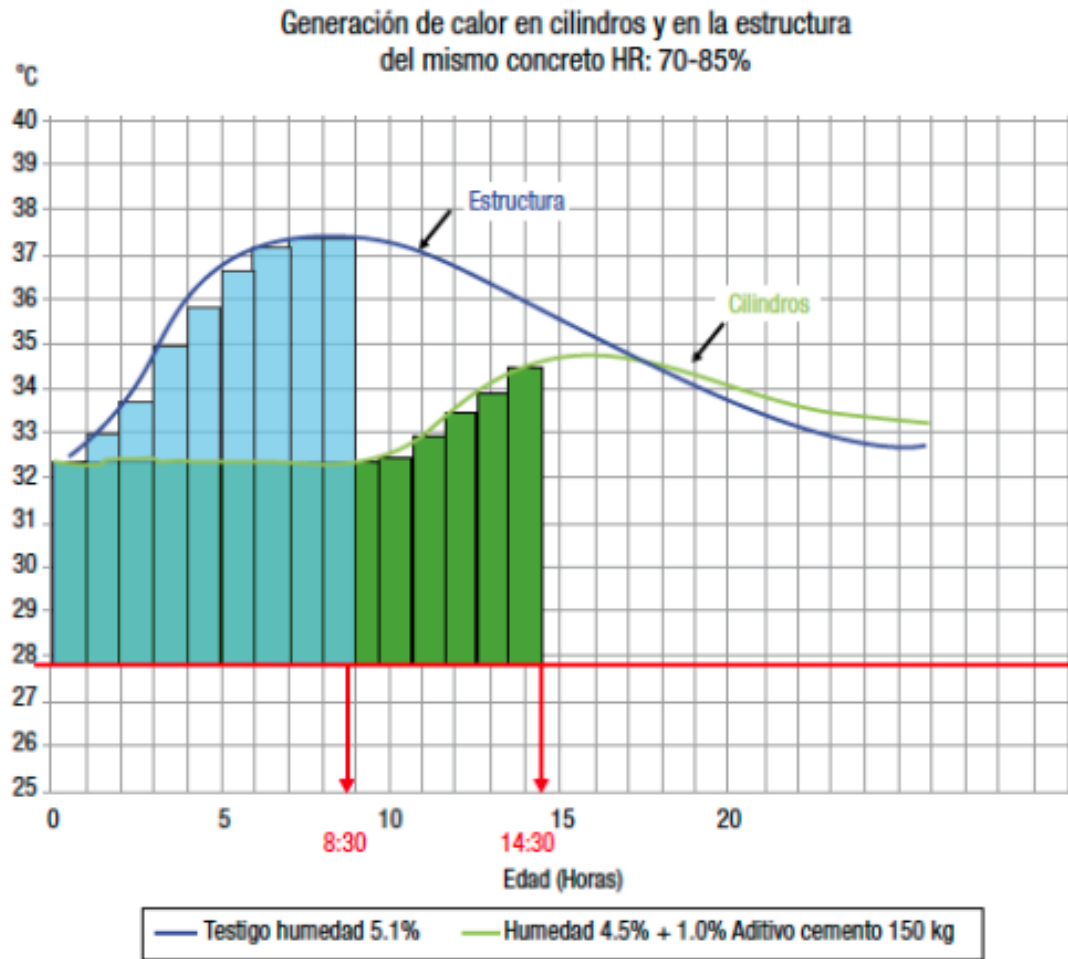
T₀ = Temperatura Datum, em (°C)

dt = Intervalo de tempo, em horas (h)

I – CONCRETE

Comportamento térmico

Comportamento térmico no corpo de prova é diferente da estrutura de concreto.
Potencial perda de eficiencia do processo.



I – CONCRETE

Potenciais resultados esperados

Redução do prazo de desforma da peças concretadas mantendo a mesmo dosagem.

Otimização com redução no consumo de cimento com manutenção do prazo de desforma.

Redução do tempo necessário para protensão das peças.

Redução e otimização do custo do sistema nos períodos de baixas temperaturas.

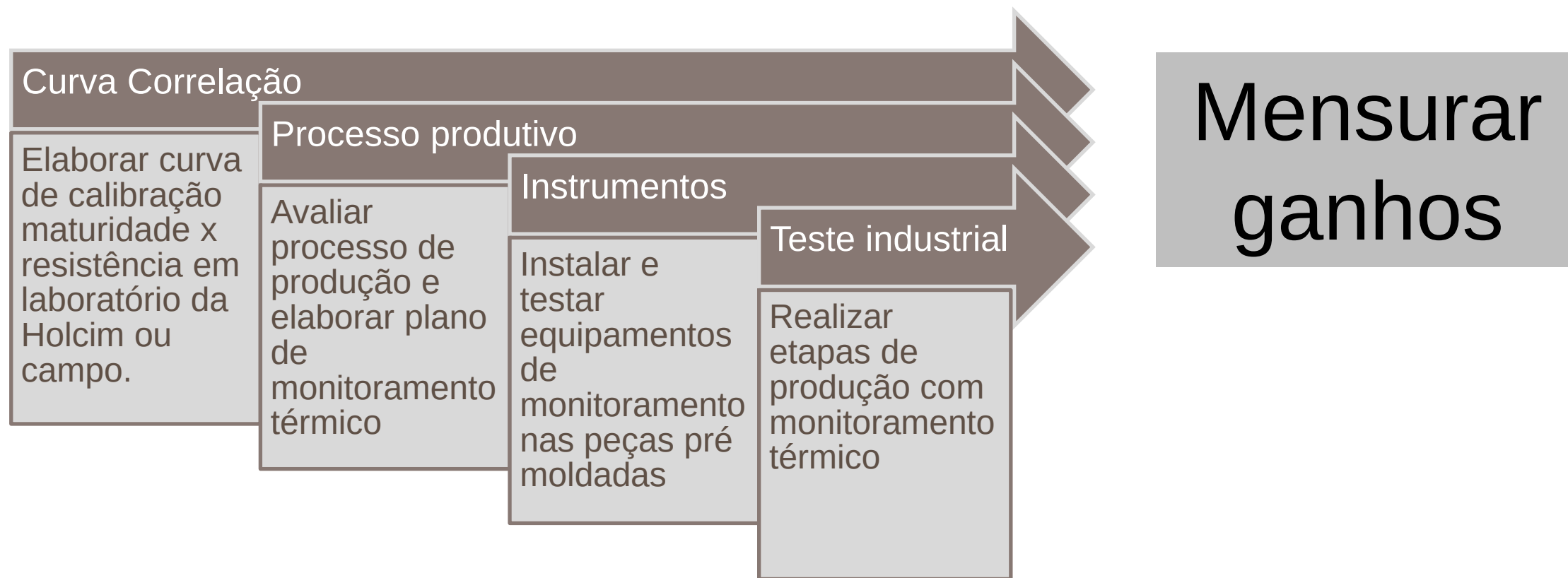
Otimização da utilização da cura térmica nas fábricas (possível desativação).

Redução da variabilidade dos ensaios de controle com aumento da eficácia.

I – CONCRETE

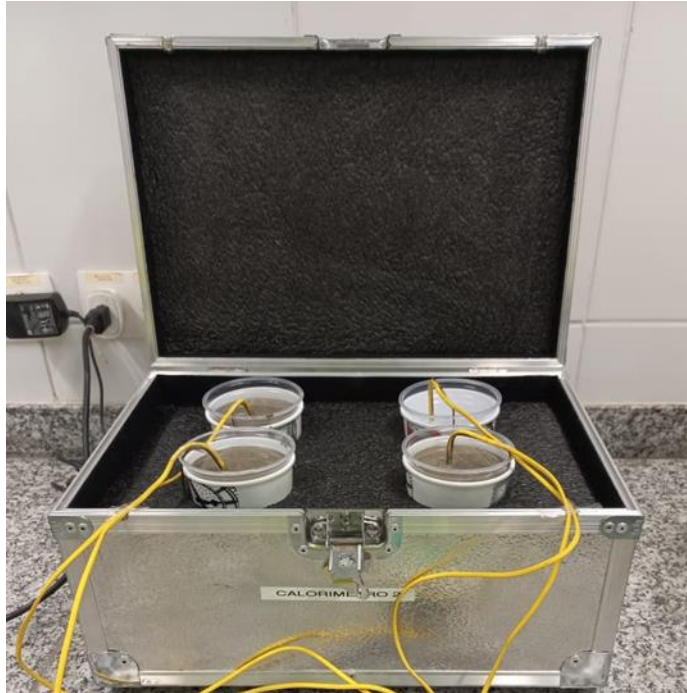
Modelagem do sistema

Objetivo: mensurar oportunidades de melhorias em **produtividade** e/ou **redução de custo de material ou de processo** e/ou **diagnósticos** no processo de produção de peças pré-moldadas de concreto.



I – CONCRETE

CURVA DE CALIBRAÇÃO EM LABORATORIO



Instrumentalização em caixa térmica



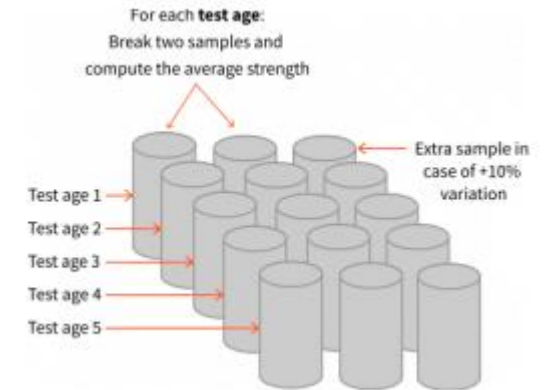
Calda / Grout



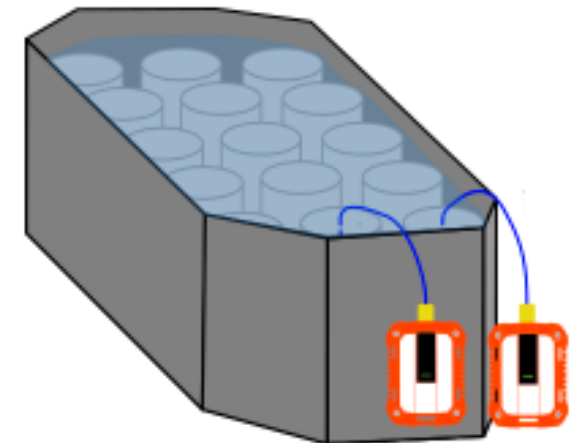
Instrumentalização em corpos de provas



Concreto



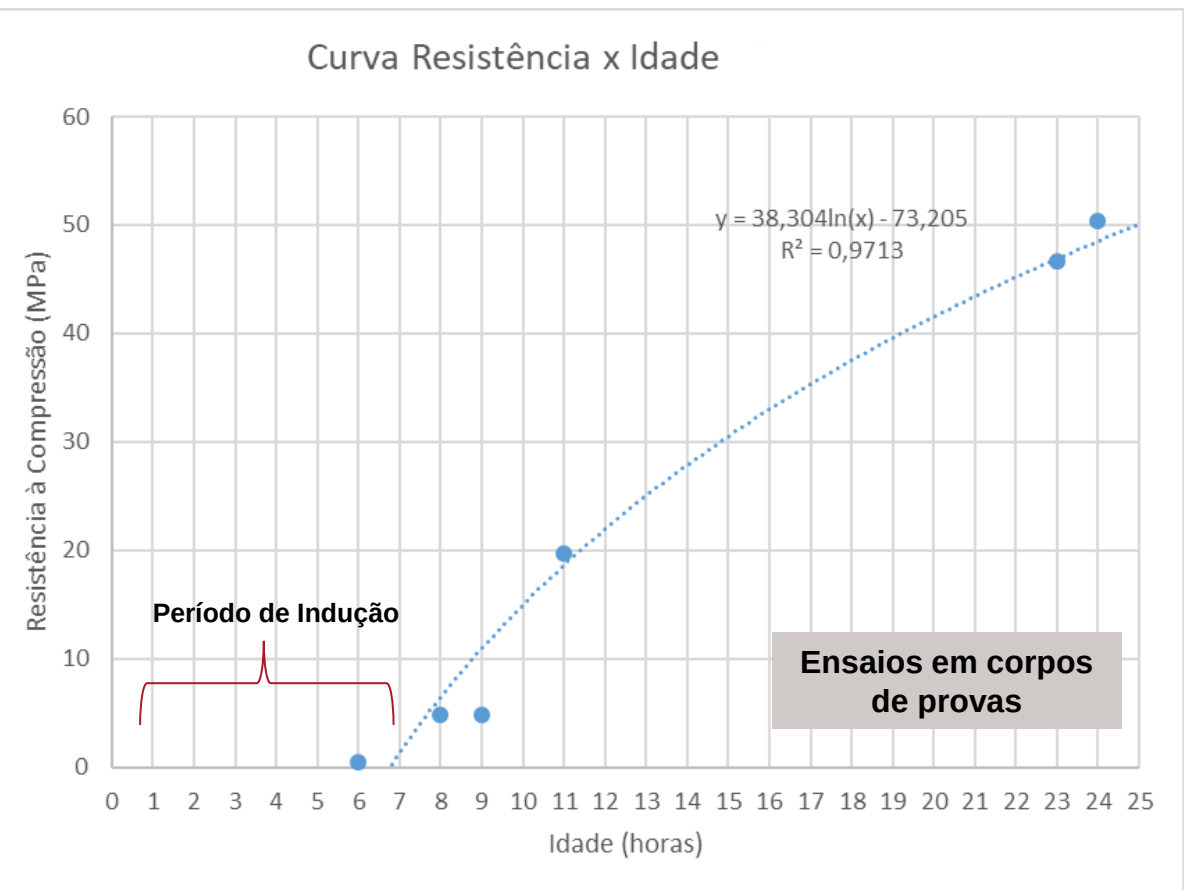
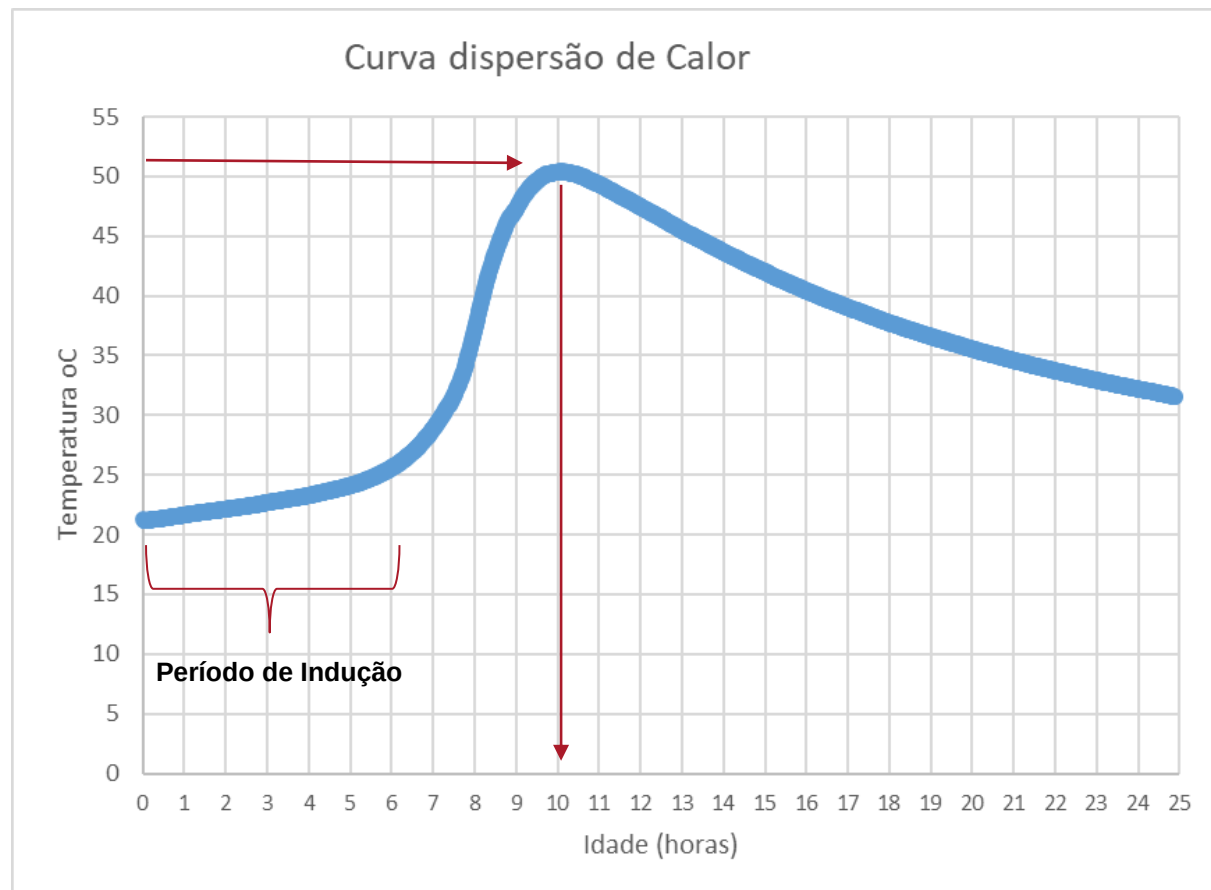
5 idades, 2 corpos de provas por idade



I – CONCRETE

CURVA DE CALIBRAÇÃO EM LABORATORIO

Objetivo: Nesta etapa, coleta dos materiais do concreto e reprodução em laboratório para confecção das curvas de **resistência x tempo** e **temperatura x tempo**.

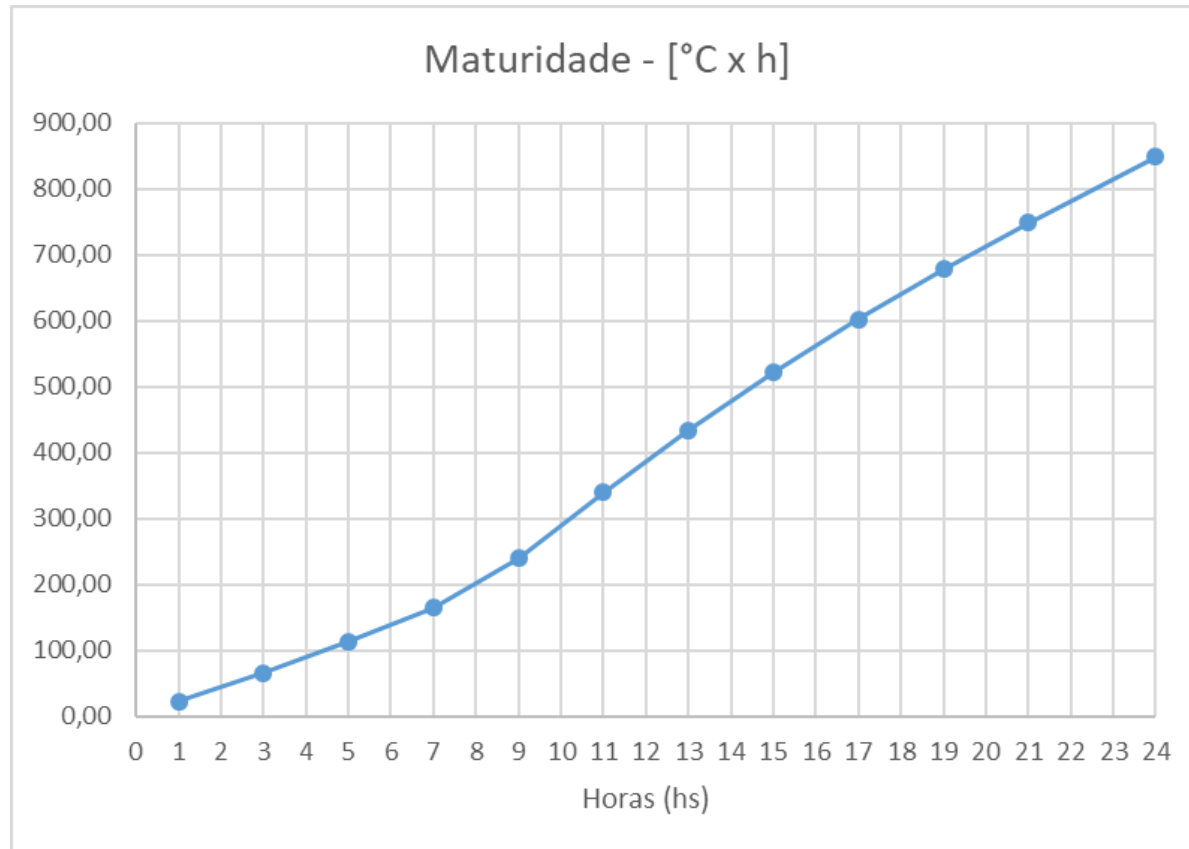


Temperatura controlada 23+/-2oC

I – CONCRETE

CURVA DE CALIBRAÇÃO EM LABORATORIO

Curva de Maturidade



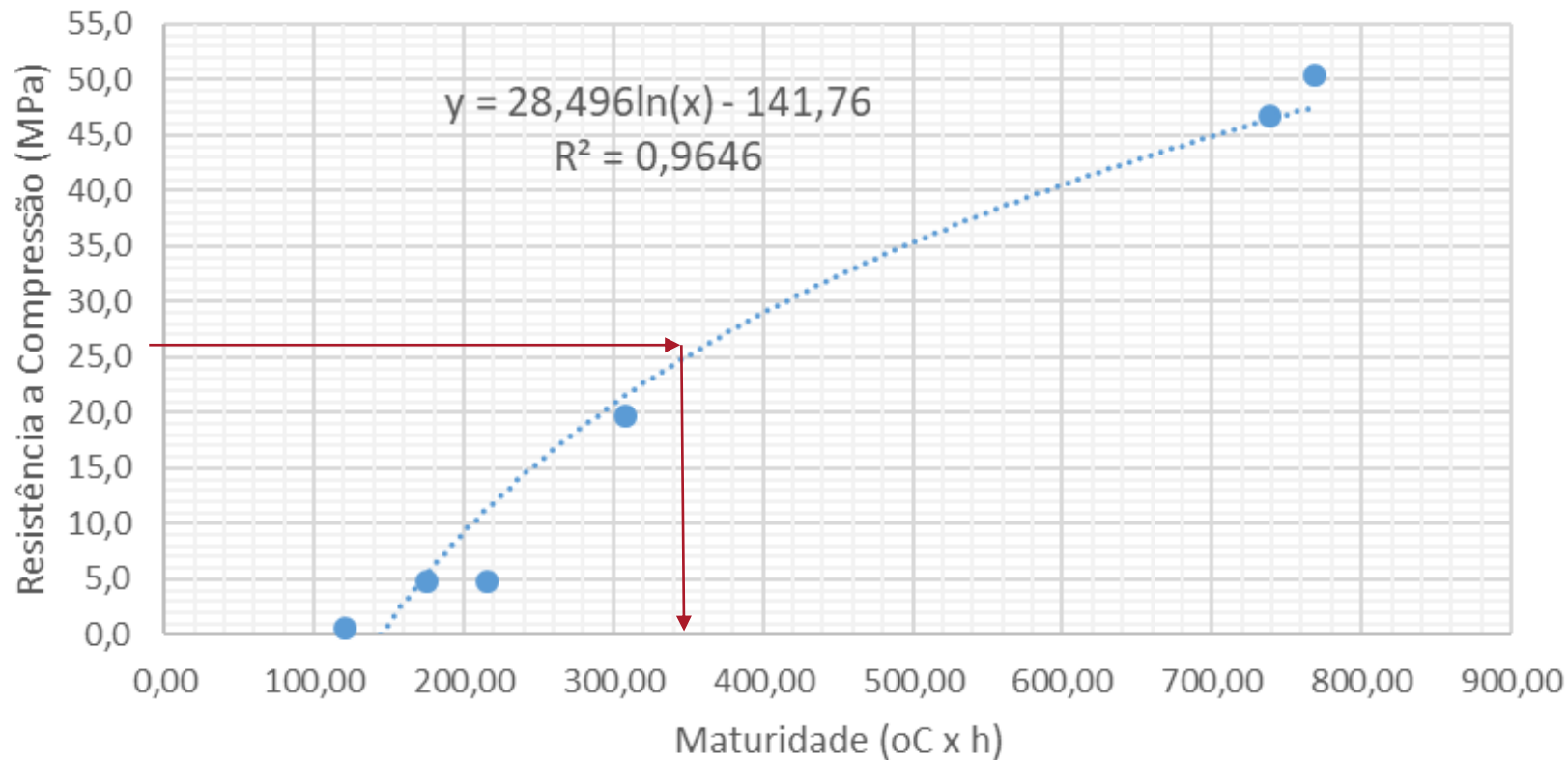
$$M = \sum (T_a - T_0) \times \Delta t$$

I – CONCRETE

CURVA DE CALIBRAÇÃO EM LABORATORIO

A **Curva de Calibração** é construída pela maturidade do concreto e pela resistência a compressão em função do tempo

Curva de Calibração



Análises:

- Para validação de uma curva com boa correlação, o R-quadrado deve ser **> 0,90**.
- Por exemplo, considerando um limite de **25,0 MPa** para liberação dos dormentes, esta resistência irá ocorrer quando a Maturidade chegar em aproximadamente **350oC x h**.

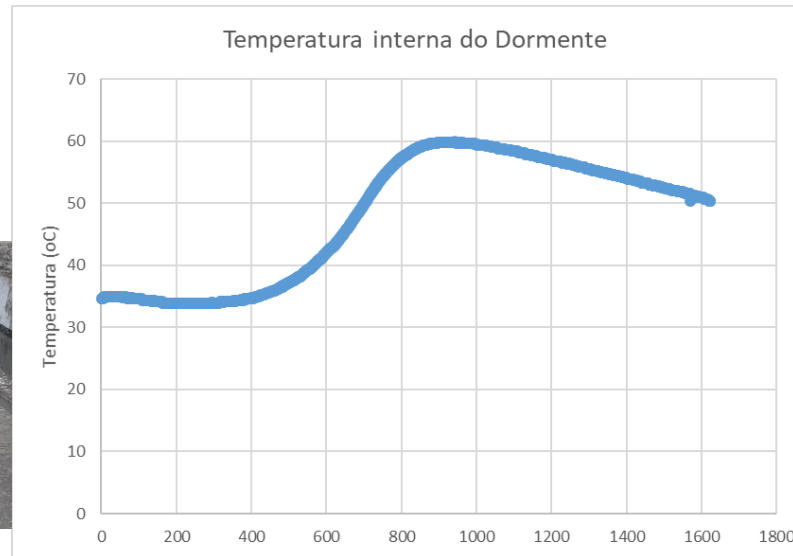
I – CONCRETE

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

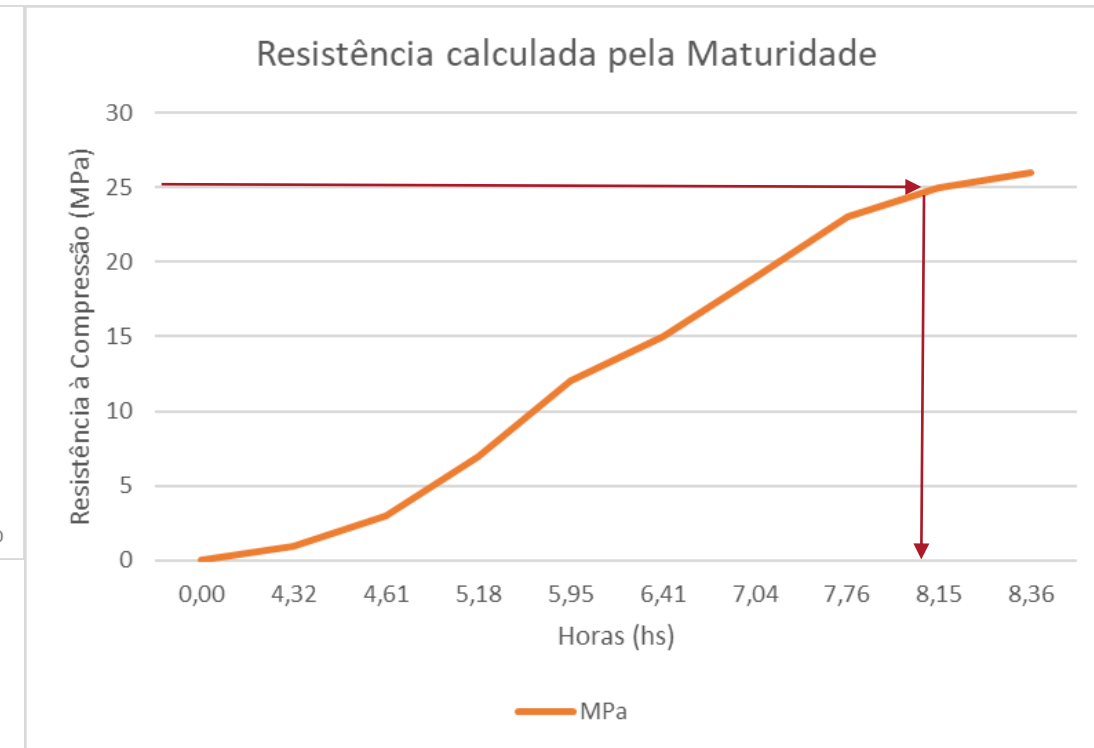
Aplicação da **CURVA DE CORRELAÇÃO** em escala industrial, fábrica de dormentes pré-moldados



Instalação dos Termopares



Evolução do calor dentro da peça em condições normais de ambiente

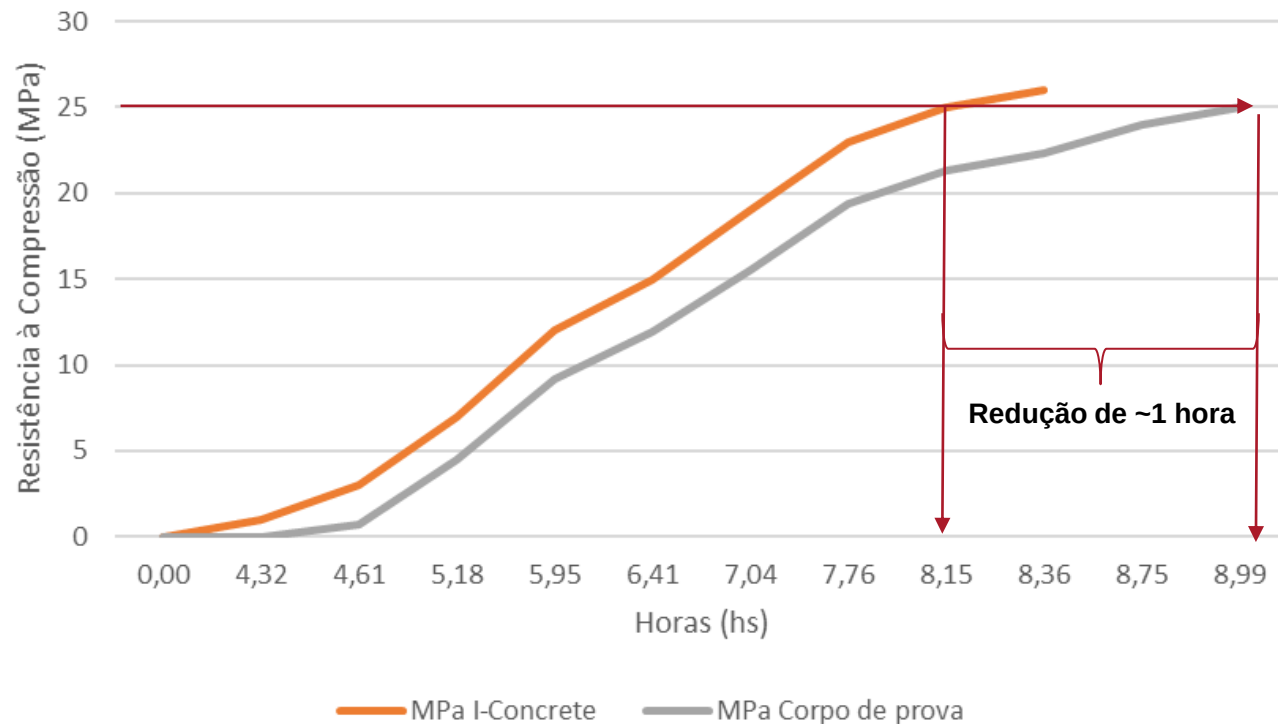


Aplicando a curva de correlação com a evolução da temperatura interna da peça concretada, obtivemos **25,0 MPa com 8 horas e 9 minutos**, após produção da peça.

I – CONCRETE

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Comparativo Corpo de Prova x I-Concrete



Comparando a evolução da resistência calculada pelo **I-Concrete** e pelos **corpos de provas** observamos que se a leitura da resistência fosse feita através de corpos de provas, a desforma seria liberada com **9hs após produção das peças pré-moldadas**.



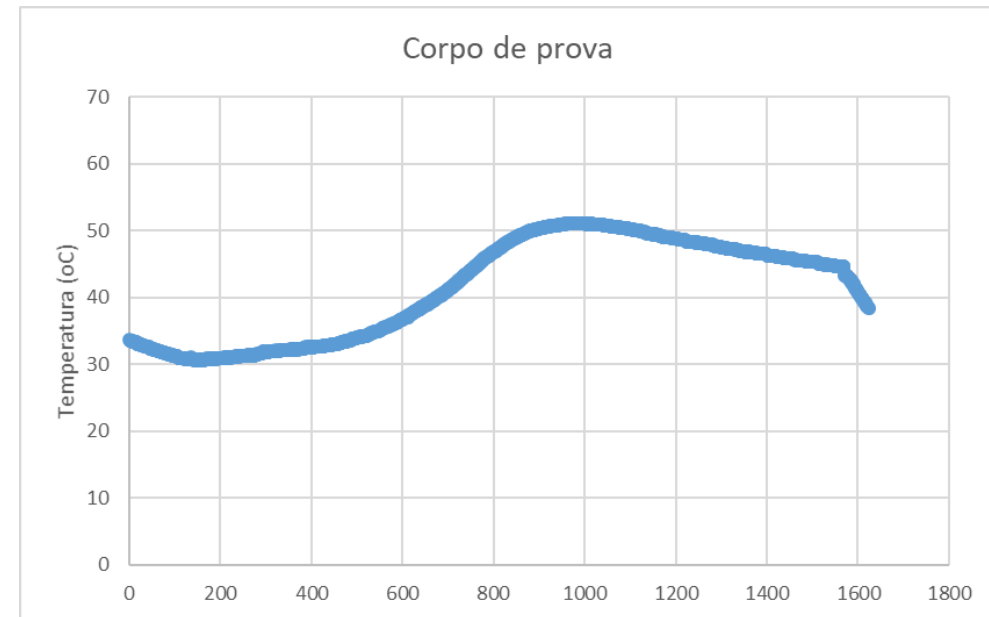
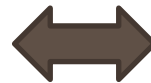
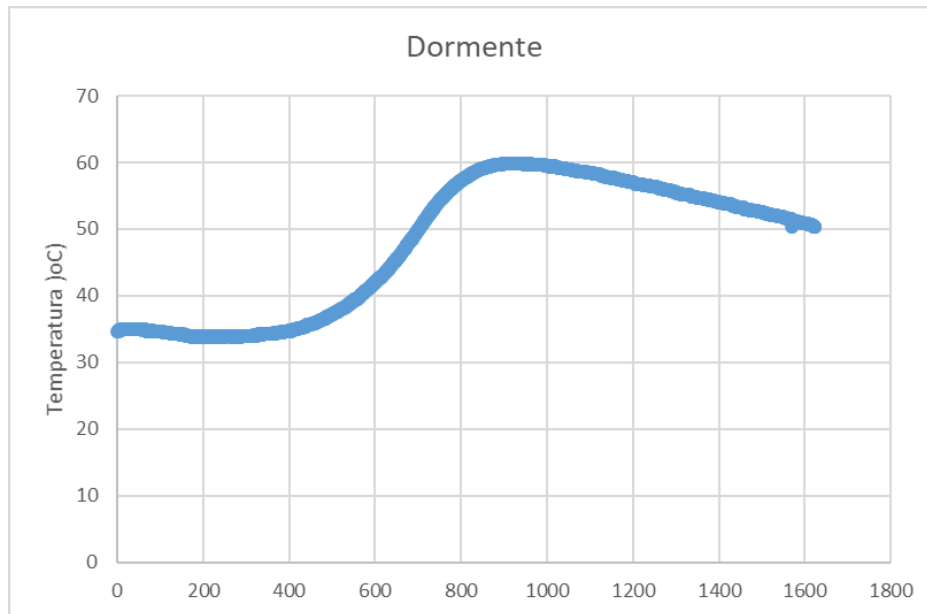
I – CONCRETE

CURVA DE CORRELAÇÃO EM ESCALA INDUSTRIAL

SISTEMA DE CURA = ENLONAMENTO



Corpos de provas e dormentes curados sob as mesmas condições.
Temperatura interna no confinamento variou **de 28 a 42°C**.

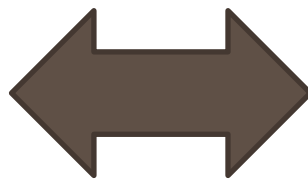
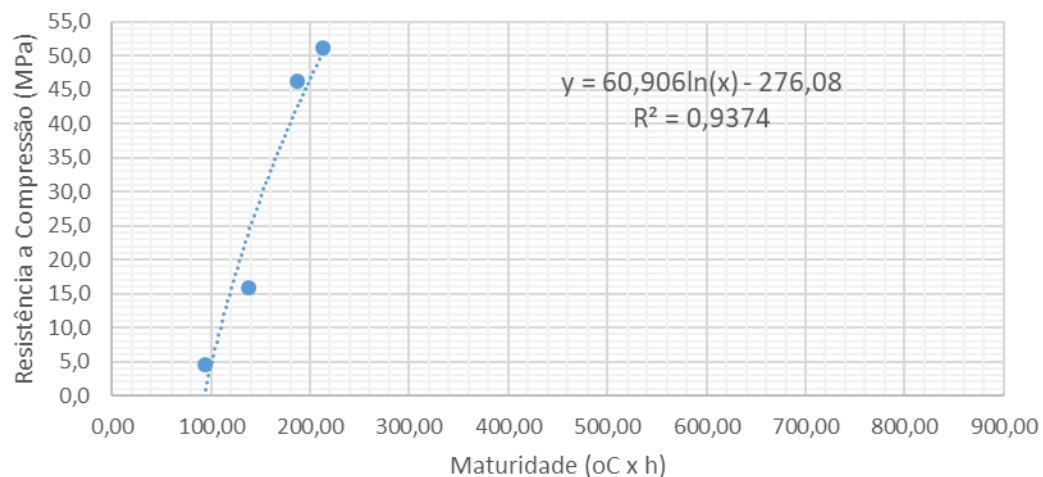


I – CONCRETE

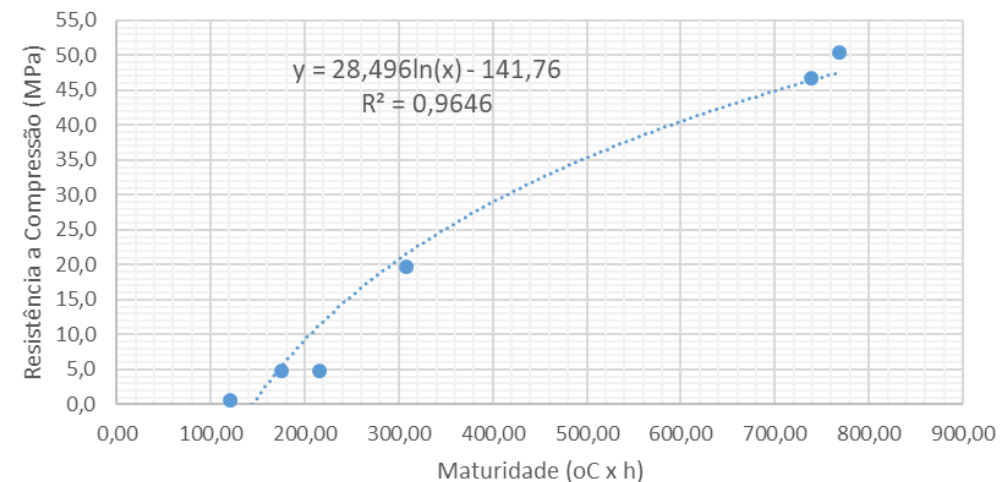
CURVA DE CORRELAÇÃO EM ESCALA INDUSTRIAL

SISTEMA DE CURA = ENLONAMENTO

Curva de Calibração - em campo



Curva de Calibração - Laboratório



Analizando as duas curvas, fica evidente que o período de indução de 5hs medido em laboratório não acontece em campo, devido à maior temperatura ambiente quando o sistema de cura por enlonação é realizado. Esta temperatura incrementada pelo confinamento da peça também muda o crescimento das resistências em função do tempo.

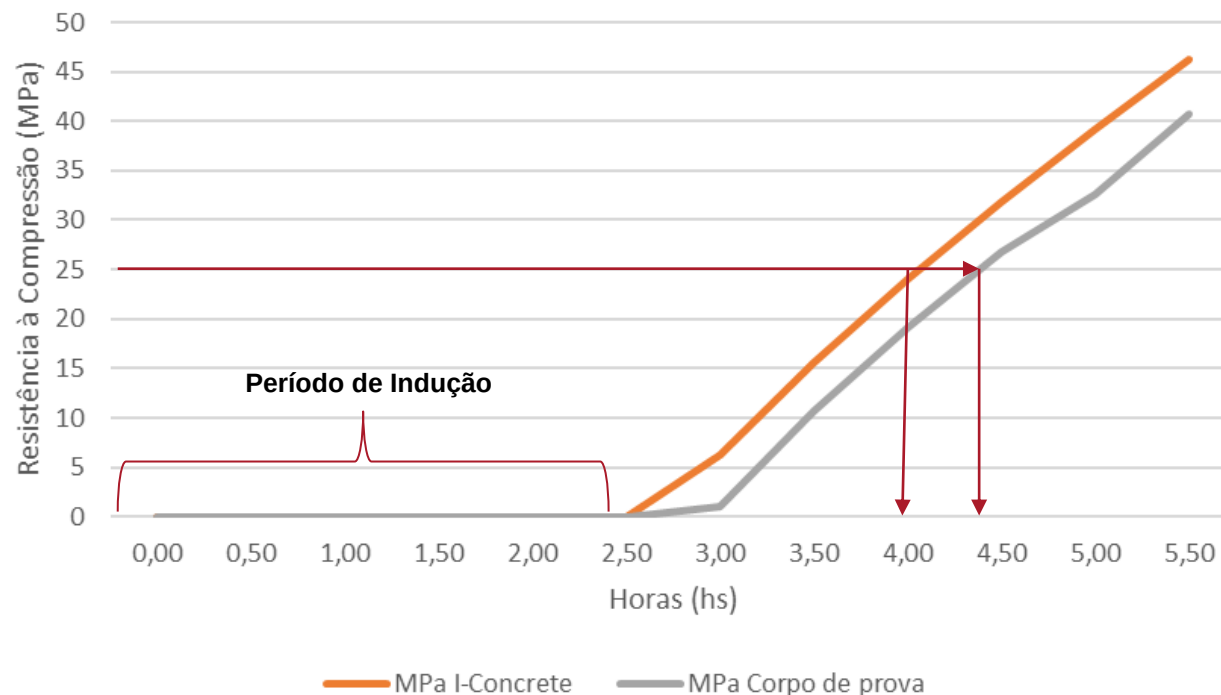
A curva de laboratório deve ser descartada e utilizada a curva realizada em campo, com as condições ambientais durante a concretagem.

I – CONCRETE

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

SISTEMA DE CURA = ENLONAMENTO

Comparativo Corpo de Prova x I-Concrete



Comparando a evolução da resistência calculada pelos **corpos de provas** a desforma seria liberada com **4hs:30Min** após produção dos dormentes.

A evolução da resistência calculada pelo **I-Concrete** a desforma seria liberada com **4hs** após produção dos dormentes.

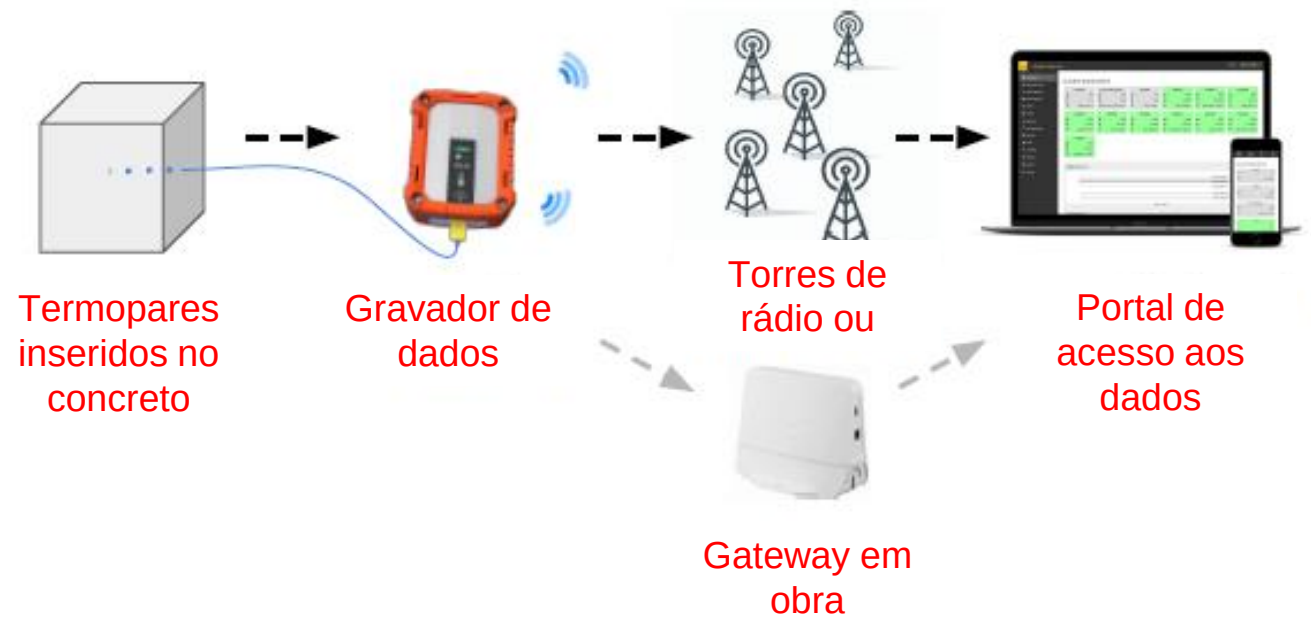
REDUÇÃO DE 30 MINUTOS NA DESFORMA

I – CONCRETE

Tecnologia



Do concreto para “nuvem”



I – CONCRETE

Instalação



Instale o termopar



Conecte o termopar no I-Concrete



Lançamento do concreto

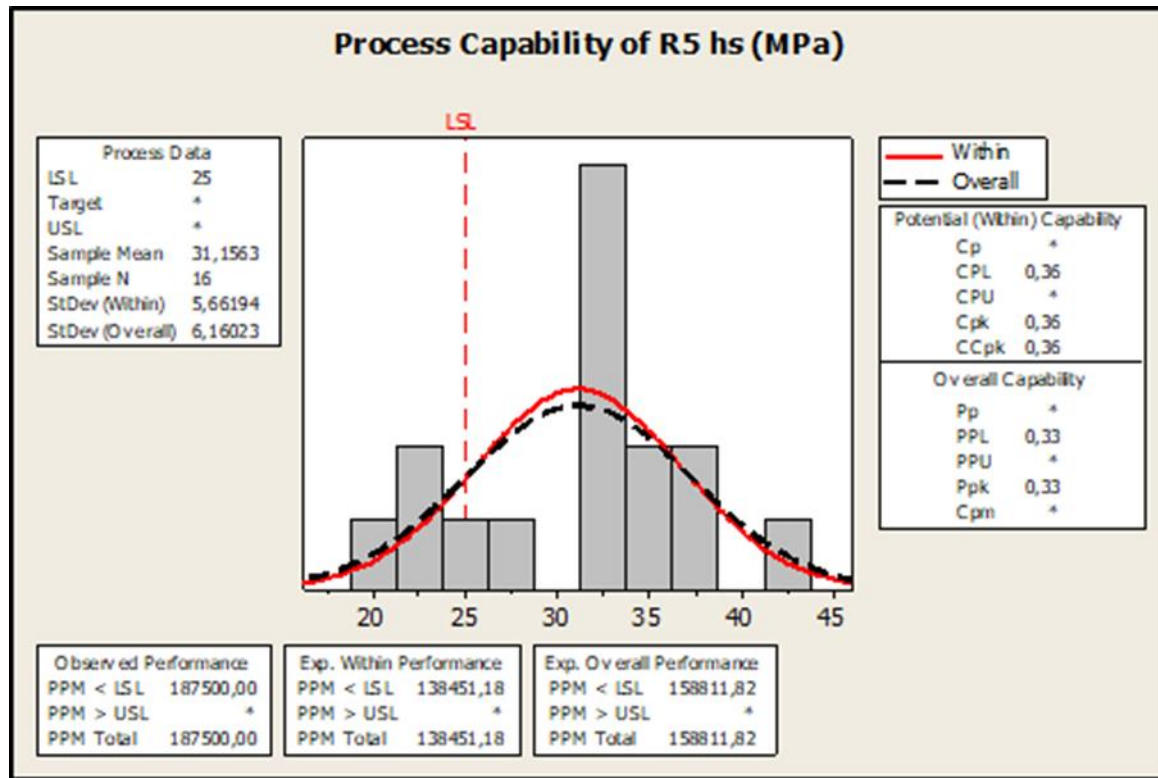


Monitore os dados em tempo real

I – CONCRETE

Ganhos em potenciais

Redução de variabilidade do ensaio de resistência a compressão.



I – CONCRETE

Ganhos em potenciais

Rapidez na informação de desforma.
Tecnologia I-Concrete em tempo real.



Software para monitoramento em tempo real do comportamento da temperatura e da resistência.

Rápida tomada de decisão para liberação das pistas concretadas.

Liberação das pistas de forma remota.

Registros de todo o processo para auditoria e análises.

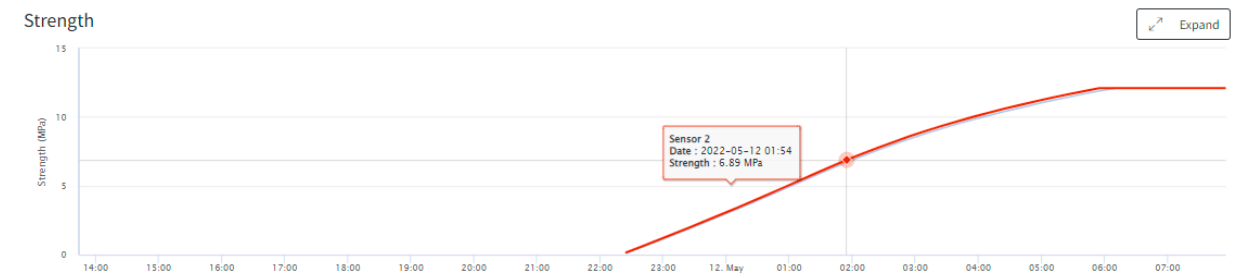
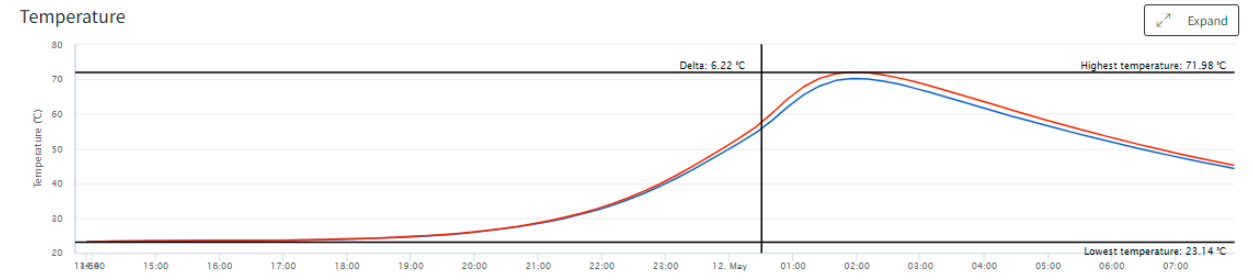
I – CONCRETE

Ganhos em potenciais

Rapidez na informação de desforma.
Tecnologia I-Concrete em tempo real.

Documentação e relatórios fáceis

- ✓ Todos os dados são armazenados na nuvem e acessíveis de qualquer lugar
- ✓ Configure o plano de produção no software
- ✓ Melhore a produção com base em estatísticas e análises
- ✓ Melhore o controle de qualidade e configure alarmes para se manter atualizado
- ✓ Compartilhe, baixe e exporte todos os dados facilmente





LafargeHolcim