



Anais do 54º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2012
Outubro / 2012



@ 2012 - IBRACON - ISSN 2175-8182

O controle tecnológico na indústria de concreto pré-fabricado

The technological control in precast concrete industry

Camilo Mizumoto (1); Marcelo Cuadrado Marin (2); Kirke Andrew Wrubel Moreira (3)

(1) *Coordenador de Controle Tecnológico da Leonardi Construção Industrializada Ltda*
e-mail: mizueng@yahoo.com.br

(2) *Gerente de Engenharia da Leonardi Construção Industrializada Ltda*
e-mail: marcelo@leonardi.com.br

(3) *Gerente de Engenharia – Concrete Engenharia e Consultoria*
e-mail: kirke@concrete.eng.br

Leonardi Construção Industrializada Ltda
Rodovia Dom Pedro I, Km 82,3, Bairro Usina, Atibaia-SP

Resumo

A crescente construção de obras em concreto pré-fabricado tem consolidado seu papel na industrialização da construção nacional. Em virtude deste crescimento, a indústria de pré-fabricados tem dado atenção na melhora dos padrões de qualidade, desempenho e tecnologia do processo produtivo para certificação da qualidade do produto final.

A produção de elementos estruturais em concreto pré-fabricado destaca-se pelo emprego de concreto auto-adensável (CAA) e de alto desempenho (CAD), processos de protensão e a preocupação com a qualidade final das peças de concreto, sendo imprescindível o controle tecnológico destes processos para garantia dos parâmetros estabelecidos em projeto.

Neste contexto, o presente trabalho aborda os principais parâmetros estabelecidos no controle tecnológico do processo produtivo na indústria de pré-fabricados.

Palavra-Chave: Concreto pré-fabricado, Concreto, Protensão, Processo de produção

Abstract

The growing construction precast concrete has consolidated in the industrialization of national construction. Because of that growth, the precast industry has given attention to the improvement of standards of quality, performance and technology of the production process for certifying the quality of final product.

The production of structural precast concrete stands out for its use of self-compacting concrete (SCC) and high performance concrete (HPC), and prestress processes concerned with the quality of the final pieces of concrete, is essential to control technological processes to ensure these parameters established in the project.

In this context, this paper discusses the main parameters in the technological control of the production process in the precast industry.

Keyword: Precast concrete, concrete, Prestressing, Production Process

1 Introdução

O controle de qualidade de qualquer estrutura em concreto requer um rigoroso controle de conformidade em todas as etapas de execução da estrutura. As etapas se dividem basicamente em recebimento de materiais, processamento dos materiais, controle de produção e controle de aceitação. Dentre as inúmeras vantagens encontradas no controle tecnológico, podemos citar a garantia da estabilidade e competitividade de todas as etapas envolvidas na execução.

Além das iniciativas próprias de cada empresa de concreto pré-fabricado, destaca-se o compromisso do segmento com a qualidade dos produtos oferecidos. Isto pode ser constatado pela criação do selo de excelência ABCIC (Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto).

As indústrias de concreto pré-fabricado proporcionam um ambiente propício para o controle tecnológico, seja pelo ambiente de produção industrial ou pela qualificação e treinamento da mão-de-obra empregada.

Neste contexto, o presente trabalho aborda os principais parâmetros de controle tecnológico envolvidos na cadeia de produção das estruturas em concreto pré-fabricado.

2 Principais parâmetros de controle do processo industrial

2.1 Controle de recebimento de agregados

O controle de recebimento dos agregados constituintes do concreto é fundamental para garantia da qualidade do concreto produzido.

Para tanto, no recebimento dos agregados na fábrica deve ser realizado uma análise preliminar por meio de uma inspeção visual pelo laboratorista responsável. Nesta inspeção deve ser realizada a análise de uniformidade dos agregados em termos de grande variação de geometria e verificação de excessos de impurezas no material. Quando verificada uma não conformidade do material deve-se rejeitar o recebimento.

Outro fator importante é a realização de ensaios sistemáticos a cada 15 dias para verificação das características físicas dos agregados. No caso de alteração do fornecedor ou origem do agregado, estes ensaios devem ser realizados para aprovação da mudança. Os principais ensaios estabelecidos para análise dos agregados seguem apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Ensaios de controle para o agregado miúdo

Ensaio	Método de ensaio		Limite normativo
Composição granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)		-
Massa específica	NBR NM52 (ABNT, 2009)		-
Massa unitária	NBR NM 45 (ABNT, 2006)		-
Impureza orgânica	NBR NM49 (ABNT,2001)		A solução obtida: mais clara do que a solução padrão
Torrões de argila e materiais friáveis	NBR 7218 (ABNT, 2010)		≤ 3,0%
Material fino que passa pela peneira 75µm (material pulverulento)	NBR NM46 (ABNT, 2003)	Concreto submetido a desgaste superficial	≤ 3,0%
		Concretos protegidos do desgaste superficial	≤ 5,0%

Tabela 2: Ensaios de controle para o agregado graúdo

Ensaio	Método de ensaio		Limite normativo
Composição granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)		-
Massa específica	NBR NM52 (ABNT, 2009)		-
Massa unitária	NBR NM 45 (ABNT, 2006)		-
Material fino que passa pela peneira 75µm (material pulverulento)	NBR NM46 (ABNT, 2003)		≤ 1,0%
Torrões de argila e materiais friáveis	NBR 7218 (ABNT, 2010)	Concreto aparente	≤ 1,0%
		Concreto sujeito a desgaste superficial	≤ 2,0%
		Outros concretos	≤ 3,0%

A análise granulométrica dos materiais deve atender os limites normativos da NBR NM 248, contudo, pode-se estabelecer uma faixa de tolerância granulométrica para cada material a fim de instituir um controle interno.

A alteração da granulometria dos agregados pode ocasionar mudança no comportamento do concreto produzidos tais como variação de consistência, aumento da demanda de água, etc. Para o concreto auto-adensável (CAA) pode ser verificada a ocorrência de segregação, perda de trabalhabilidade em função do aumento de finos e alteração da água de amassamento, sendo necessária a realização de ajustes do traço do CAA.

Outra análise importante refere-se a verificação da potencialidade reativa dos agregados, especificada pela NBR 15577 (ABNT, 2009). Este ensaio é fundamental para garantia da durabilidade do concreto. Os resultados de estudos laboratoriais podem indicar a necessidade do emprego de adições minerais para inibição da reação álcali-agregado.

Na figura 1, apresenta-se um estudo com diferentes adições minerais para mitigar o comportamento reativo do agregado graúdo quando composto com o cimento CP V-ARI.

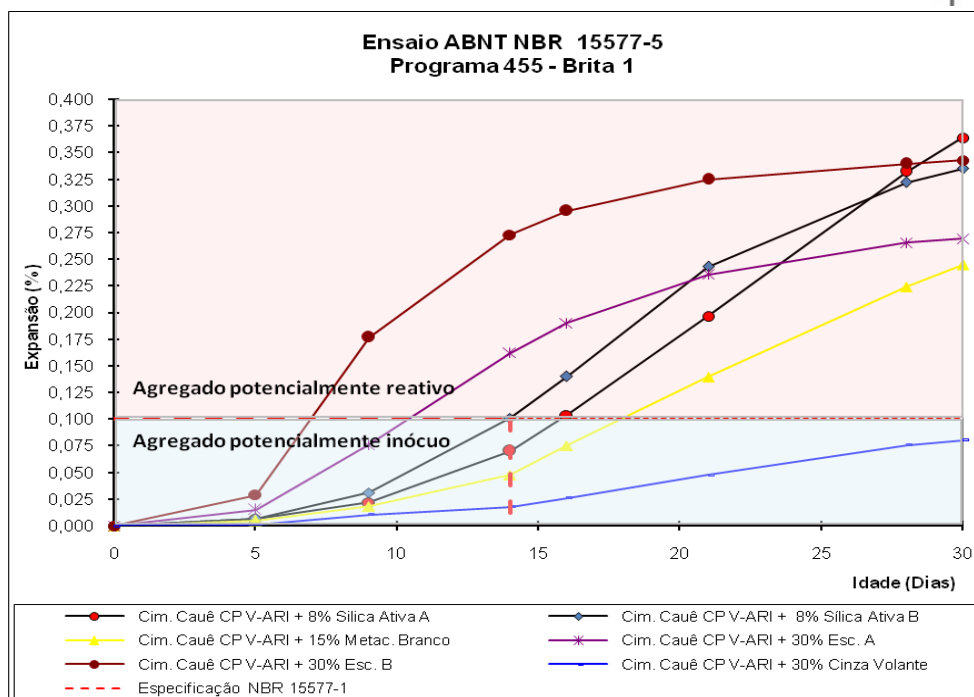


Figura 1 – Estudo de teores das adições para mitigação da RAA no agregado graúdo quando composto com cimento portland CP V-ARI (ALVES, et.al., 2010)

Neste caso, verificou-se que para este agregado o emprego de 30% de cinza volante mostrou um desempenho satisfatório para inibir a reatividade do material.

2.2 Controle de recebimento do cimento Portland

O cimento portland apresenta características físico-químicas que garantem a qualidade do concreto no estado fresco e endurecido.

O fornecimento do cimento às fabricas de pré-fabricado pode ser entregue na forma de sacos ou a granel. No caso do fornecimento em sacos é fundamental a forma de armazenamento, a fim de evitar exposição à umidade e a ocorrência da hidratação do cimento embalado. Para o fornecimento a granel faz-se necessário verificações de segurança, referentes à carga de pressurização no momento da descarga (inferior a 1,5 kgf/cm²) e a conformidade do equipamento de descarga (teste de espessura do caminhão e calibração do manômetro).

Em ambos os casos, deve-se armazenar no laboratório amostras para cada lote de cimento fornecido para verificação de propriedades em casos de ocorrência de problemas no concreto produzido.

Em termos de análise físico-química do cimento, devem ser verificados os laudos do cimento e comparar os resultados em relação aos limites normativos. Nas Tabelas 3 e 4, seguem apresentados os limites normativos estabelecidos para os cimentos convencionalmente empregados na industria de concreto pré-fabricado.

Tabela 3: Limites físicos dos tipos de cimento portland nacionais

Tipo De Cimento	Classe	Finura		Tempo de pega (h)		Expansibilidade (mm)		Resistência à compressão (MPa)				Norma ABNT
		Resíduo Penetra 75µm (%)	Área Específica (BLAINE) (m ² /g)	Início	Fim	A Frio	A Quente	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	
CPIII	32 40	≤ 8,0	--	≥ 1	≤ 12	≤ 5	≤ 5	--	≥ 10 ≥ 12	≥ 20 ≥ 23	≥ 32 ≥ 40	NBR 5735
CPIV	32	≤ 8,0	--	≥ 1	≤ 12	≤ 5	≤ 5	--	≥ 10	≥ 20	≥ 32	NBR 5736
CPV-ARI		≤ 6,0	≥ 300	≥ 1	≤ 10	≤ 5	≤ 5	≥ 14	≥ 24	≥ 34	≥ 50	NBR 5733

Tabela 4: Especificação das características químicas dos tipos de cimento portland nacionais

Cimento Portland	Tipo de adição	Sigla Tipo-Classe	Ensaio Químicos – Limites normativos					Norma ABNT
			RI*	PF	MgO	SO ₃	CO ₂	
Alto-Forno	Escória (35-70%)	CP III - 32 CP III - 40	-	≤ 4,5	≤ 1,5	≤ 4,0	≤ 3,0	NBR 5735
Pozolânico	Pozolana (15-50%)	CP IV - 32	-	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 3,0	NBR 5736
Alta Resistência Inicial	Material Carbonático (até 5%)	CP V - ARI	≤ 1,0	≤ 4,5	≤ 6,5	C ₃ A do clínquer (8%) (>8%)	≤ 3,0	NBR 5733
Resistente a Sulfatos	Estes cimentos são designados pela sigla original acrescida de "RS". Ex: CP V-ARI-RS, CP III-32 RS		Estabelecidos de acordo com o tipo de cimento				NBR 5737	

*RI – resíduo insolúvel

2.3 Aço para concreto armado e concreto protendido

2.3.1 Controle de recebimento

O aço empregado na indústria de concreto pré-fabricado é destinado à produção de peças de concreto armado ou protendido.

Em termos de recebimento, deve-se realizar a inspeção visual do aço para verificação de irregularidades, tais como desalinhamento de rolos de aço ou presença de oxidação, bem como a conferência dos dados da etiqueta, no qual o número da corrida deve ser confrontado com o laudo do fornecedor no momento da entrega.



Figura 2: Não conformidade observada no recebimento de rolos de cordoalhas. (A) Rolo de cordoalha tombada no momento do recebimento e (B) Detalhe do desalinhamento do rolo de cordoalha.

Em termos de estocagem, deve-se armazenar o aço em local protegido do tempo e afastado do solo de maneira a evitar o contato com a umidade e garantir a não ocorrência de oxidações excessivas, carepas, materiais aderidos, deformações ou dobramentos (antes da montagem).

Em termos das análises da qualidade do aço, devem verificados os laudos fornecidos e comparar os resultados em relação aos limites normativos. Nas Tabelas 5 e 6, são indicados os limites normativos estabelecidos para aços para concreto armado e protendido.

Tabela 5: Características mecânicas exigidas para barras e fios de aço para concreto armado – NBR 7480 (ABNT, 1996)

Categoria do aço	Ensaio de tração (valores mínimos)			Ensaio de dobramento a 180°	
	Resistência característica de escoamento L.E* (MPa)	Limite de resistência L.R** (MPa)	Alongamento em 10φ A (%)	Diâmetro do pino (mm)	
				φ < 20	φ ≥ 20
CA-25	≥ 250	1,2.fy	18	2 φ	4 φ
CA-50	≥ 500	1,1.fy	8	4 φ	6 φ
CA-60	≥ 600	1,05.fy	5	5 φ	-

* L.E.: valor do limite superior de escoamento ou fy
 **L.R: limite de resistência (fst) deve ser superior a 660 MPa

Tabela 6: Características mecânicas exigidas para cordoalhas (relaxação baixa) para concreto protendido – NBR 7483 (ABNT, 2003)

Cordoalha	Diâmetro nominal (mm)	Área nominal da seção de aço (mm ²)	Massa nominal "peso por metro" (kg/1.000m)	Carga mínima de ruptura (kN)	Carga mínima a 1% de alongamento (kN)	Alongamento sob carga (em 600mm) (%)
CP 190 RB 3x3,0	6,5	21,5 – 22,8	171,0	40,8	36,7	3,5
CP 190 RB 3x3,5	7,6	30,0 – 31,8	238,0	57,0	51,3	3,5
CP 190 RB 3x4,0	8,8	37,6 – 39,8	304,0	71,4	64,3	3,5
CP 190 RB 3x4,5	9,6	46,2 – 48,9	366,0	87,7	78,9	3,5
CP 190 RB 3x5,0	1,1	65,7 – 69,6	520,0	124,8	112,3	3,5
CP 190 RB 9,5	9,5	54,9 – 57,3	441,0	104,3	93,9	3,5
CP 190 RB 12,5	12,7	98,6 – 102,9	792,0	187,3	168,6	3,5
CP 190 RB 15,2	15,2	139,9 – 146,3	1.126,0	265,8	239,2	3,5

2.3.2 Importância da rastreabilidade do aço

A rastreabilidade do aço é garantida pelo fornecedor por meio da etiqueta de identificação fixada no rolo de aço, onde o número da corrida permite a compatibilidade com os dados do laudo entregue no momento do recebimento na fábrica.



Figura 3: Etiquetas de identificação em rolos de aço fornecidos - detalhe do número da corrida para rastreabilidade do produto.

Este parâmetro de controle também possui fundamental importância para obtenção das características mecânicas das cordoalhas empregadas no processo de protensão. As características físico-mecânicas relacionadas a área da cordoalha e o módulo de ANAIS DO 54º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2012 – 54CBC

elasticidade são fundamentais para a determinação do valor teórico de alongamento a ser verificado no final da operação de protensão.

2.4 Controle de recebimento de aditivos para concreto

Os aditivos químicos são a parte integrante do concreto que tem como finalidade acrescentar desempenho no concreto nos estados fresco e endurecida.

O recebimento deste material exige que o fornecedor apresente um laudo do produto, sendo necessária uma análise comparativa com os dados técnicos do mesmo.

Adicionalmente, no momento do recebimento do aditivo, deve ser coletada uma amostra e realizado a verificação de desempenho do produto no concreto. O ensaio consiste na verificação de comportamento do aditivo em um traço padrão estabelecido em laboratório, conforme prescrição normativa da NBR 12317 (ABNT, 1992).

2.5 Análise da água de amassamento do concreto

A água a ser empregada no processo é parte fundamental da mistura, sendo a qualidade da mesma fundamental para garantia de qualidade e durabilidade do mesmo.

A presença de impurezas na água pode influenciar não só negativamente na resistência à compressão do concreto, mas também o tempo de pega ou causar manchamento da superfície e eflorescências, ou ainda, resultar na corrosão da armadura ou ataque químico interno da microestrutura do concreto (BATTAGIN e BATTAGIN, 2010).

Desta maneira, deve ser realizada uma coleta de uma amostra para envio a um laboratório externo para que sejam realizadas as análises físico-químicas, conforme estabelecido na NBR 15900 (ABNT, 2010).

Caso a água não atenda aos limites normativos, deve-se proceder seu tratamento para garantia de utilização no concreto.

Este ensaio deve ser realizado anualmente e em casos de alteração da fonte de abastecimento de água para emprego no concreto.

2.6 Controle do concreto produzido

2.6.1 Controle tecnológico do concreto

O controle tecnológico da produção do concreto empregado em peças de concreto pré-fabricado deve ser realizado por meio de ensaios no estado fresco e endurecido para verificação das propriedades estabelecidas no estudo de dosagem e especificadas em projeto.

Dentre os ensaios do concreto no estado fresco é convencionalmente realizada em campo a verificação da consistência pelo abatimento de tronco de cone (slump-test) no concreto convencional vibrado (CCV) e espalhamento (slump-flow) para o concreto auto-adensável (CAA).

No estado fresco ainda é estabelecido a moldagem de corpos-de-prova cilíndricos de dimensão 10 x 20cm constituído de uma amostra de no mínimo 6 exemplares por lote de concreto produzido. O controle estabelecido para moldagem de CP's é realizada por meio de amostragem parcial, sendo definido a coleta do concreto para as seguintes condições:

- concreto para pistas protendidas: mínimo de 1 amostra por pista de produção ou a cada 30 m³ de um mesmo traço de concreto produzido.
- concreto para demais pistas de produção: mínimo de 1 amostra a cada 50 m³ de um mesmo traço de concreto produzido.

Os corpos-de-prova moldados são fundamentais para a verificação da resistência à compressão do concreto nas condições de desforma ou liberação da protensão (f_{cj}) e aceitação final (f_{ck}), conforme estabelecido em projeto.

A moldagem de corpos-de-prova deve ser realizada conforme a NBR 5738 (ABNT, 2008). Contudo para do concreto da laje alveolar procede-se o preparo de CP's 15 x 30cm moldados sobre uma mesa vibratória e com auxílio de um peso padrão de 6,0 kg.

Os corpos-de-prova destinados à liberação da desforma ou liberação da protensão das peças na produção são constituídos de no mínimo 2 cp's e exigem um período superior a 18 h de cura para atingir o valor da resistência. Estes exemplares devem ser coletados na última concretagem da pista de produção, sendo mantidos na face superior da fôrma em contato com o calor gerado pelo concreto, de maneira a garantir a mesma condição de cura do elemento.

Os valores usualmente estabelecidos para resistência à compressão para desforma ou liberação da protensão seguem apresentados abaixo:

- peças armadas: $f_{cj} \geq 15,0\text{MPa}$
- peças protendidas: $f_{cj} \geq 21,0\text{MPa}$
- lajes alveolares protendidas: $f_{cj} \geq 28,0\text{MPa}$

Os demais corpos-de-prova devem ser condicionados em cura em câmara úmida ou imersos em tanques de água, conforme prescrito na NBR 5738 (ABNT, 2008) e NBR 9479 (ABNT, 2006).

As demais idades estabelecidas para controle de resistência são 7 dias e 28 dias (f_{ck}), lembrando que se considera o maior valor de resistência entre dois exemplares de uma mesma idade.

Outro ensaio que também deve ser realizado é o módulo de elasticidade nas idades de 1 dia, 3 dias, 7 dias e 28 dias para cada traço de concreto produzido na planta de produção. A importância da avaliação do módulo de elasticidade pelo controle tecnológico é garantir que os valores especificados em projeto sejam atendidos. Os valores encontrados de módulo de elasticidade reforçam os modelos de cálculo empregados na avaliação de flechas, contra flechas e avaliações de deformação da estrutura como um todo. A NBR 6118 (ABNT, 2003) não apresenta formulação para estimativa do módulo de elasticidade para concretos com idade inferior a 7 dias.

Outro fator importante é a rastreabilidade do traço empregado na produção das peças. Para tanto, usualmente é estabelecido a correlação do lote aplicado na pista de produção com as peças presentes na fôrma.

Em casos de ocorrência de valores de resistência abaixo do especificado em projeto, verificados pelo laboratório de controle tecnológico da fábrica, torna-se necessária uma análise e anuência concedida pelo projetista para as peças relacionadas ao lote de concreto produzido.

2.6.2 Condições de controle para concreto de alto desempenho (CAD) e auto-adensável (CAA)

Atualmente o emprego do concreto auto-adensável e alto desempenho vem tornando-se frequente na indústria de pré-fabricados, em virtude dos requisitos de projeto em termos de resistência.

A aplicação do CAA no processo requer um exigente controle de umidade do agregado miúdo para correção do traço. O controle de umidade pode ser realizado por meio da retirada de amostras nas baias de agregado e realização do ensaio no frasco de Chapman, além do emprego de sensores de umidade nas baias e no fundo do misturador.

Após o preparo do CAA no misturador realiza-se o ensaio de espalhamento (slump-flow) para verificação da trabalhabilidade e ocorrência de segregação ou exsudação da mistura que exige uma correção imediata do concreto.

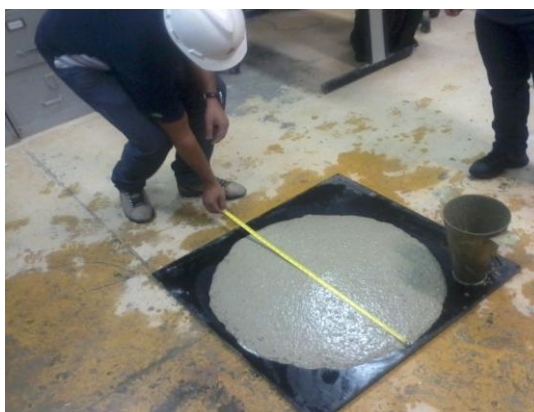


Figura 4: Ensaio de espalhamento (slump-flow)

Outro fator importante é a forma de preparo dos corpos-de-prova para realização do ensaio de ruptura. Em amostras de concreto de alto desempenho deve-se tomar cuidados com relação ao preparo das faces, sendo o uso capeamento com enxofre gera resultados de resistência pouco confiáveis, sendo indicado o emprego de retífica para um adequado nivelamento e garantia dos resultados.

2.6.3 Controle da cura térmica do concreto

A cura térmica a vapor tem sido empregada na indústria de concreto pré-fabricado com o objetivo de acelerar a resistência do concreto em peças protendidas e em situações onde há diminuição da temperatura ambiente em função do clima.

Segundo SANTOS (2010) a cura térmica é um processo que submete o concreto a uma temperatura superior à ambiente, sendo esse “aquecimento” o objetivo principal para acelerar as reações de hidratação do cimento, tendo como resultado o ganho de resistência, para que o concreto possa ser manuseado nas primeiras idades.

O ciclo de cura térmica a vapor comumente empregado no concreto segue apresentado na Figura 5.

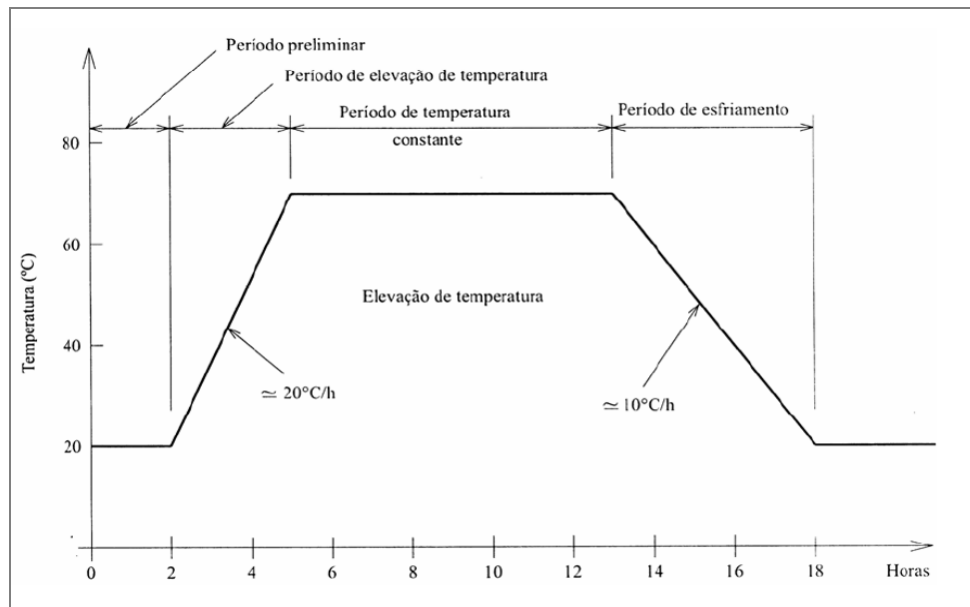


Figura 5: Ciclo clássico da cura térmica a vapor
El Debs (2000)

Neste ciclo, tem-se os seguintes condicionantes:

- **Período preliminar:** conhecido como “tempo de espera”, refere-se ao tempo em que a última peça concretada da fôrma de produção apresenta uma consistência enrijecida na superfície do concreto, compatível com o tempo de início de pega do cimento.
- **Período de elevação de temperatura:** início de lançamento do vapor nas fôrmas da pista de produção, a elevação de temperatura deve possuir uma taxa de elevação inferior a 20°C/h (NBR 9062, 2006) até atingir a temperatura estabelecida.
- **Período de temperatura constante:** conhecido como “patamar de cura” onde a temperatura do concreto deve ser mantida constante e por um período determinado até que o concreto atinja a resistência desejada, usualmente são empregados tempo de patamar de cura de 4 a 6h a temperatura de 60°C a 70°C, sendo necessários estudos para determinação deste patamar.
- **Período de resfriamento:** é finalizado o lançamento do vapor na pista de produção e aguarda-se o resfriamento do concreto, cuja taxa de temperatura deve ser no máximo de 30°C/h (NBR 9062, 2006).

É importante lembrar que o ciclo apresentado deve ser respeitado para evitar problemas de perda de resistência do concreto ou patologias à retração e reações internas que podem ocasionar fissuração na superfície do concreto.

O tempo de espera mínimo (2h) deve ser respeitado para evitar problemas de diminuição de resistência e afetar no acabamento superficial do concreto. As taxas de elevação e resfriamento de temperatura também devem ser obedecidas. O patamar de cura não deve ser superior a 70°C, uma vez que temperaturas acima deste valor podem ocasionar formação etringita tardia e a conseqüente fissuração no concreto ao longo do tempo, comprometendo a capacidade estrutural da peça.

No processo industrial, antes do início do lançamento do vapor na fôrma metálica, deve ser lançada uma lona sobre a mesma para garantia do confinamento do vapor nas peças.

O controle de resistência do concreto deve ser realizado por meio de corpos-de-prova condicionados sobre a fôrma para garantia das mesmas condições de cura da peça.

O controle de temperatura necessita ser monitorado diretamente no concreto da primeira e da última peça de uma mesma pista de produção. A leitura de temperatura pode ser realizada de forma manual com emprego de termômetro e registro de dados em planilhas de controle ou por meio de datalogger com sensor de temperatura para maior precisão dos dados coletados.

4 Controle de processo de produção

4.1 Processo de protensão de peças de concreto pré-fabricado

O procedimento de protensão é uma operação importante para garantia das especificações de projeto, que consiste no controle da força de protensão aplicada no cabo. O controle tecnológico da operação envolve basicamente dois parâmetros, o controle da tensão lida no manômetro acoplado ao macaco de protensão e o alongamento teórico do cabo.

A força de protensão especificada em projeto é um parâmetro que necessita ser convertido em tensão de protensão para ser aplicada diretamente na cordoalha pelo macaco de protensão.

Dessa maneira, inicia-se esta conversão pelo cálculo da força real a ser aplicada no macaco de protensão ajustada pela função de calibração obtida a partir dos dados indicados no laudo de calibração, sendo:

$$Y = Ax + B \quad (1)$$

Onde:

Y – força real do macaco de protensão, expressa em kgf

A e B – constantes determinadas na calibração

x – força de protensão de projeto, expressa em kgf

A partir deste valor, calcula-se a tensão de protensão conforme a equação:

$$\text{Tensão de protensão no macaco} = \frac{\text{Força de protensão}}{\text{Área do pistão no macaco}} \quad (2)$$

O alongamento verificado na cordoalha após a aplicação da tensão de protensão, necessita das características físico-mecânicas da cordoalha (item 2.3.2) para sua determinação. O cálculo do alongamento é expresso:

$$Al = \frac{F \cdot L_{pista}}{E \cdot A_c} \quad (3)$$

onde:

Al – alongamento

F – força de protensão estabelecida em projeto

L_{pista} – Comprimento da pista de protensão

E – módulo de elasticidade da cordoalha, obtido do laudo do fabricante

A_c – área da cordoalha, obtido do laudo do fabricante

Em termos de operação da protensão, após o posicionamento dos cabos de cordoalha na pista de protensão deve-se aplicar uma prévia tensão no cabo de protensão para eliminar o efeito de catenária. Após isto ocorre a calibração do curso do macaco de protensão com base no valor de tensão calculado. Realiza-se a marcação de referência do alongamento com marcador industrial na cordoalha e após a aplicação da tensão pelo macaco realiza-se a verificação do alongamento.



Figura 6: Operação de protensão (A) aplicação da protensão na cordoalha (B) Medição do alongamento na cordoalha protendida

4.2 Controle de produção e aceitação do concreto

O controle estatístico da produção do concreto por meio da análise do desvio padrão (SD) é considerado o principal instrumento de avaliação da estabilidade do processo e controle de custos. A avaliação da resistência mecânica do concreto é realizada de maneira parcial (item 2.6.1), sendo a resistência característica estimada ($f_{ck,est}$) o parâmetro empregado para controle de aceitação do concreto. Conforme a NBR 12655 (ABNT, 2006) realiza-se o cálculo dos parâmetros de controle de produção e aceitação do concreto com no mínimo de 20 resultados consecutivos obtidos no intervalo de 30 dias. Os cálculos destes parâmetros seguem apresentados a seguir:

4.2.1 Cálculo do desvio padrão

A partir dos resultados de resistência de exemplares deve-se inicialmente organizar os resultados em ordem crescente, ou seja, deve-se organizá-los da seguinte forma: $f_{c1} \leq f_{c2} \leq f_{c3} \leq \dots \leq f_{cn}$

Posteriormente, deve-se realizar o cálculo da resistência média do concreto, por meio da equação 4:

$$f_{cm} = \frac{f_{c1} + f_{c2} + f_{c3} + \dots + f_{cn}}{n} \quad (4)$$

onde:

f_{cm} – resistência média do concreto, expresso em MPa;

$f_{c1}, f_{c2}, f_{c3}, \dots, f_{cn}$ – maior valor de resistência do exemplar de 28 dias de cada lote, organizados em ordem crescente

n – numero de exemplares analisados no período mensal

Com estas informações, procede-se o cálculo do desvio padrão pela equação 5:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [f_{cm} - f_{ci}]^2}{n-1}} \quad (5)$$

onde:

SD – Desvio Padrão, expresso em MPa

i – inicia em contagem de 1 até n

f_{ci} – resistência de cada exemplar iniciada em ordem crescente

Usualmente, entende-se que o processo de produção da indústria de concreto pré-fabricado deve atender um desvio padrão inferior a 3,0 MPa, em função do controle tecnológico realizado para garantia da uniformidade do concreto produzido.

4.2.2 Cálculo da resistência característica estimada ($f_{ck, est}$)

Para o cálculo da resistência característica estimada, deve-se realizar seu cálculo pelas equações 6 e 7:

$$f_{ck, est} = 2 \cdot \left[\frac{f_{c1} + f_{c2} + f_{c3} + \dots + f_{c(m-1)}}{m-1} \right] - f_{cm} \quad (6)$$

onde:

$m = n/2$, despreza-se o valor mais alto de n se for ímpar;

$$f_{ck, est} = \psi_6 \cdot f_{c1} \quad (7)$$

onde:

ψ_6 – constante obtida na Tabela 7

f_{c1} – menor valor de resistência da amostragem mensal

Tabela 7: Valores de ψ_6

Condição de preparo A	Número de exemplares										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	≥16
ψ_6	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02

Nota: Condição de Preparo A, estabelecida na NBR12655, refere-se à condição de preparo do concreto atendendo a classe de resistência do concreto (C10 até C80) e rigorosa em termos de pesagem dos componentes constituintes do concreto e controle de umidade dos agregados.

Dos resultados de resistência característica estimada, obtidos das duas equações, deve-se adotar o maior valor.

Conforme a NBR 12655 (ABNT, 2006) a aceitação dos lotes de concreto avaliados no período deve satisfazer a relação:

$$f_{ck, est} \geq f_{ck} \quad (8)$$

Em caso de rejeição de lotes, devem-se recorrer aos critérios estabelecidos na NBR 6118 (ABNT, 2007).

5 Considerações finais

O presente trabalho possibilitou uma abordagem do controle tecnológico dos principais itens envolvidos na cadeia de produção da indústria de concreto pré-fabricado nacional.

Destacam-se pelas particularidades, os processos que envolvem o controle tecnológico de produção dos concretos auto-adensáveis e o emprego de cura térmica a vapor.

6 Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR** Normas relativas aos materiais constituintes, reatividade potencial dos agregados, moldagem e ruptura dos Concretos, projeto de estruturas de concreto. São Paulo.

ALVES, L. S.; MIZUMOTO, C.; SALLES, F. M. **Análise do desempenho das adições minerais nas características do concreto**. 53^o Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2011. Florianópolis-SC.

BATTAGIN, A.F, BATTAGIN, I.L.F. **A norma brasileira de água de amassamento do concreto – uma contribuição para a sustentabilidade**, Revista Concreto e Construção, Ed.58, São Paulo, IBRACON, 2010

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Carlos: EESC – USP, 2000. 456p.

HELENE, P.R.L.; TERZIAN,P.**Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. PINI Editora. São Paulo, 1993.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 2008. 674 p.

MOREIRA, K. A. W., CERRI, J. A., ARAUJO, M. S. **Avaliação de variações na resistência mecânica à compressão em pré-fabricados de concreto na região de Curitiba – PR**. 2^o Encontro Pesquisa - Projeto - Produção em CPM , 2009. São Carlos-SP

TUTIKIAN, B. F. **Métodos para dosagem de concreto auto-adensável**. Monografia de mestrado. Programa de pós graduação em engenharia civil. UFRGS, Porto Alegre – RS, 2004

REPETTE, W. L **Concreto de Última Geração: Presente Futuro**. No livro de Geraldo Isaia: Concreto: Ensino, pesquisa e realizações, editora IBRACON, 2005, São Paulo, SP

SANTOS, L.F. **A influência do patamar de cura térmica sobre a resistência dos concretos auto-adensáveis elaborados com diferentes tipos de cimento: avaliação pelo método da maturidade**. Dissertação (Mestrado em Materiais e Processos de Fabricação - Eng. Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.