



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

MANUAL DE CONTROLE DE QUALIDADE DE CONSTRUÇÕES PRÉ-FABRICADAS

André Fernandes da Conceição Cunha

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil

Júri

Presidente: Prof. Augusto Martins Gomes

Orientador: Prof. Fernando António Baptista Branco

Vogal: Prof. João Paulo Janeiro Gomes Ferreira

Dezembro de 2011

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Fernando António Baptista Branco pela instintiva receptividade em aceitar este tema, pelo acreditar e simplificar na finalização desta dissertação, e pelos comentários bem-dispostos sobre as minhas ideias.

Relativamente às ajudas, não poderei em primeiro lugar deixar de agradecer à minha família que sempre acreditou em mim. Aos meus amigos, agradecer o seu apoio porque sem isso, a realização desta dissertação seria bem mais difícil.

Um apreço especial àqueles que de uma forma única me ajudaram na conclusão deste trabalho:

Ao Eng.º José Viegas, colaborador da empresa *Pavilis - Pré-Fabricação, S.A.*, pela total disponibilidade em acompanhar e auxiliar a realização deste estudo.

À empresa *ConcretoPlano Construções, S.A.*, sob o nome dos Engenheiros José Abambres, Miguel Rodrigues e Fabiano Aleixo, pela compreensão e incentivo incondicional para a conclusão desta investigação.

Ao bom amigo José Roberto, pela natural disponibilidade e prazer em rever toda a dissertação.

Relativamente a colegas e amigos terei de destacar algumas pessoas, nomeadamente:

À Ana Catarina Lopes, Francisco Nunes, Liliana Páscoa, Manuel Correia e Nuno Gonçalves, pela amizade, ajuda, partilha, companheirismo, e muitos outros valores que foram transmitindo ao longo deste percurso académico.

Ao Pedro Santiago, pela constante ajuda, acompanhamento e confiança na realização deste estudo.

Ao André Neno, pelo constante apoio e crença no meu trabalho.

À Margarida Roda, pelas suas ajudas em termos de tradução de texto.

RESUMO

O recurso ao sector da pré-fabricação é uma alternativa cada vez mais utilizada relativamente à construção tradicional, reflectindo-se numa maior quantidade/variedade de obras em que esta solução construtiva é aplicada.

Com a natural evolução do sector da construção civil, mas também com a crise actual, com o aumento do custo da matéria-prima, e sendo cada vez maiores as exigências por parte dos clientes relativamente à qualidade dos elementos construtivos, torna-se obrigatório para as empresas de pré-fabricação apresentar uma consciência de qualidade, promovendo sistemas de controlo que permitam o aumento da sua produtividade, mas obtendo ao mesmo tempo produtos com qualidade. Só assim é que estas empresas conseguirão ser competitivas no mercado, sobrevivendo à enorme pressão concorrencial que cada vez mais se irá sentir.

Esta dissertação pretende estabelecer um manual de controlo de qualidade a implementar nas centrais de pré-fabricação, pretendendo colmatar a carência de informação relativamente a este tema, no que diz respeito a esta indústria.

Para avaliar aquilo a que esta dissertação se propõe, estudou-se ao pormenor o ciclo da pré-fabricação de uma viga relativa à construção de um viaduto e que se adoptou como caso de estudo. Foi desenvolvido um sistema de controlo de qualidade aplicado ao caso de estudo, que estabelece a análise de nove fichas de controlo de qualidade, distribuídas pelas diferentes fases do ciclo de pré-fabricação.

Pretende-se com a implementação destas fichas garantir uma produção, transporte e montagem de elementos pré-fabricados com a máxima coerência de qualidade possível, reduzindo a existência de possíveis não conformidades.

Palavras-chave: Sistema de controlo de qualidade; pré-fabricação; betão

ABSTRACT

The use of precast concrete sector has been an increasingly appreciated alternative in relation to the traditional construction, focusing mainly on an enormous quantity/variety of works, in which this construction have been implemented.

With the natural evolution of the construction industry and also with the current situation of crisis, the rising cost of raw-material and obviously the higher demands of customers regarding the quality of the constructive elements, it is urgent for precast companies to be aware of quality, providing control systems in order to obtain a growth in productivity and quality products. Thus enabling them to be more competitive in the market, overcoming the enormous competitive pressure they will increasingly feel.

This dissertation aims at producing a quality control manual to implement in the precast plants, which intend to bridge the lack of information concerning this industry.

To evaluate this dissertation proposal, the prefabrication cycle of a T-beam on the construction of a viaduct was studied in detail which was adopted as a case study. A quality control system applied to the case study was developed, establishing the analysis of nine quality control records distributed by the different phases of the prefabrication cycle.

It is intended that the implementation of these records ensure a production, transport and erection of precast elements with the highest quality possible, reducing the existence of possible noncompliance.

Key words: System of quality control; prefabrication; concrete

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO GERAL	1
1.2. OBJECTIVOS	4
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	5
1.4. CONCEITOS GERAIS	6
2. SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE.....	9
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	9
2.2. CONTROLO DE QUALIDADE EM PRÉ-FABRICAÇÃO.....	11
3. MATERIAIS.....	15
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15
3.2. CONSTITUINTES DO BETÃO	15
3.2.1. Cimento	16
3.2.2. Agregados	17
3.2.3. Adjuvantes e Adições.....	21
3.2.4. Água	23
3.3. ARMADURA PASSIVA	23
3.4. ARMADURA ACTIVA (PRÉ-ESFORÇO)	24
3.5. MOLDES	26
3.6. MATERIAIS DIVERSOS	28
3.7. CONTROLO DE QUALIDADE EM FÁBRICA	29
3.7.1. Controlo dos materiais.....	29
3.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
4. FABRICO DO BETÃO	33
4.1. PRODUÇÃO DE BETÃO NAS INDÚSTRIAS DE PRÉ-FABRICAÇÃO	33
4.2. DOSAGEM DO BETÃO	35
4.3. MISTURA DO BETÃO.....	37
4.4. ENSAIOS NO BETÃO	39
4.5. CONTROLO DE QUALIDADE EM FÁBRICA	42
4.5.1. Controlo da dosagem do betão	43
4.5.2. Controlo da mistura do betão	43
4.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
5. PROCESSO DE FABRICO DAS PEÇAS.....	45
5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	45
5.2. TRANSPORTE DOS MATERIAIS E BETÃO ÀS LINHAS DE PRODUÇÃO	47
5.3. FABRICO DAS PEÇAS	48
5.3.1. Preparação dos moldes.....	48
5.3.2. Preparação e colocação de armaduras passivas e activas	49
5.3.3. Moldagem e compactação do betão	50
5.3.4. Cura do betão.....	51

5.3.5. Aplicação do pré-esforço.....	53
5.3.6. Desmoldagem dos elementos.....	54
5.4. MANUSEAMENTO E TRANSPORTE EM FÁBRICA.....	55
5.5. PRODUTO FINAL.....	56
5.6. ARMAZENAMENTO DAS PEÇAS.....	58
5.7. CONTROLO DE QUALIDADE EM FÁBRICA.....	59
5.7.1. Controlo da preparação dos moldes.....	60
5.7.2. Controlo da preparação e colocação das armaduras passivas e activas.....	60
5.7.3. Controlo da moldagem e compactação do betão.....	61
5.7.4. Controlo da cura do betão.....	61
5.7.5. Controlo da aplicação do pré-esforço.....	62
5.7.6. Controlo de desmoldagem.....	63
5.7.7. Controlo do manuseamento e transporte em fábrica.....	63
5.7.8. Controlo do produto final.....	64
5.7.9. Controlo do armazenamento das peças.....	66
5.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
6. TRANSPORTE FINAL E MONTAGEM EM OBRA.....	69
6.1. TRANSPORTE FINAL PARA OBRA.....	69
6.2. MONTAGEM EM OBRA.....	71
6.2.1. Processo de montagem.....	71
6.2.2. Ligações estruturais.....	75
6.3. CONTROLO DE QUALIDADE NO LOCAL.....	79
6.3.1. Controlo do transporte final para obra.....	79
6.3.2. Controlo da montagem.....	79
6.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
7. CASO DE ESTUDO.....	81
7.1. CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	81
7.2. CONTROLO DOS MATERIAIS.....	81
7.3. CONTROLO DO FABRICO DE BETÃO.....	85
7.4. CONTROLO DO PROCESSO DE FABRICO.....	87
7.5. CONTROLO DO TRANSPORTE FINAL E MONTAGEM EM OBRA.....	92
7.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94
8. CONCLUSÕES.....	95
9. BIBLIOGRAFIA.....	99
10. ANEXOS.....	10-I
ANEXO I – FICHA DE CONTROLO DE QUALIDADE DE MATERIAIS (FICHA Nº1).....	10-III
ANEXO II – FICHAS DE CONTROLO DE QUALIDADE DO BETÃO (FICHA Nº2 E 3).....	10-VII
ANEXO III – FICHAS DE CONTROLO DO PROCESSO DE FABRICO (FICHA Nº4,5,6 E 7).....	10-XIII
ANEXO IV – FICHA DE CONTROLO DO TRANSPORTE FINAL (FICHA Nº8).....	10-XXIII
ANEXO V – FICHA DE CONTROLO DE MONTAGEM DAS PEÇAS (FICHA Nº9).....	10-XXVII

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Distribuição das empresas segundo o grau de envolvimento na norma ISO 9001 (PIRES, 2009).	2
Figura 3.1 – Silos de cimento referentes a duas centrais de betão (empresa Pavilis Pré-Fabricação S.A.).....	16
Figura 3.2 – Esquema da classificação dos agregados quanto à sua dimensão (COUTINHO J. D., 1999).	18
Figura 3.3 – Armazenamento dos diversos agregados em baias.....	20
Figura 3.4 – Identificação dos agregados.	20
Figura 3.5 – Depósito dos diferentes agregados na manga mecanizada.....	20
Figura 3.6 – Depósito dos agregados no elevador de carga.	20
Figura 3.7 – Armazenamento e identificação das armaduras.....	24
Figura 3.8 – Armazenamento das armaduras evitando o contacto com o solo (Execução de Estruturas de Betão).....	24
Figura 3.9 – Exemplo de aço de pré-esforço em bonine.	25
Figura 3.10 – Exemplo de um molde de chapa metálica.	26
Figura 3.11 – Tipos de espaçadores/distanciadores para armaduras (PRESTA, Lda, 2004).	28
Figura 4.1 – Esquema elucidativo da constituição do betão.....	33
Figura 4.2 – Esquema de central de betão (ILMAR, 2011).....	35
Figura 4.3 – Controlo automático do processo de dosagem e mistura.	36
Figura 4.4 – Variação da tensão de rotura do betão com a relação A/C (COUTINHO & GONÇALVES, 1988).	37
Figura 4.5 – Betoneira para mistura do betão.....	37
Figura 4.6 – Exemplo de segregação (FLORES, ALEIXO, COUTO, PENEDA, BRITO, & CORREIA, 2010).	38
Figura 4.7 – Classes de abaixamento (NP EN 206-1 2007, 2007).	39
Figura 4.8 – Ensaio de abaixamento do cone de Abrams (GOMES & PINTO, 2008/2009).....	40
Figura 4.9 – Betão coeso. (HELENE & TERZIAN, 1993)	40
Figura 4.10 – Betão pouco coeso. (HELENE & TERZIAN, 1993).....	40
Figura 4.11 – Exemplo de recolha em provete cúbico (a) – GOMES & PINTO, 2008/2009).....	41
Figura 4.12 – Processo de cura dos provetes em ambiente controlado.....	42
Figura 5.1 – Esquema geral do ciclo de produção em indústrias de pré-fabricados (Adaptado de MOREIRA, 2009).....	46
Figura 5.2 – Transporte mecanizado do betão desde a central até ao local de betonagem.	47
Figura 5.3 – Secções transversais correntes no fabrico fixo (DEBS, 2000)	48
Figura 5.4 – Aplicação do tratamento com óleo descofrante.	49
Figura 5.5 – Área de corte e dobragem das armaduras.	50
Figura 5.6 – Finalização da preparação da armadura junto ao molde.	50
Figura 5.7 – Processo de moldagem de uma viga.....	51
Figura 5.8 – Ciclo de cura por tratamento térmico (CAMARINI, 1995).....	53

Figura 5.9 – Pré-tensão (VSL, 2010).	54
Figura 5.10 – Pós-tensão (VSL, 2010).	54
Figura 5.11 – Exemplo de uma viga a ser desmoldada (SOVEPER).	55
Figura 5.12 – Exemplo de acessórios de elevação (Sistemas de transporte e de montagem para a indústria de pré-fabricados em betão).	55
Figura 5.13 – Ponte rolante.	56
Figura 5.14 – Pórtico rolante.	56
Figura 5.15 – Particularidades superficiais indesejáveis (NP EN 13369 2010, 2010).	56
Figura 5.16 – Correcto armazenamento das peças acabadas (a) – DEBS, 2000).	59
Figura 5.17 - Pontos de medição para comprimento, largura, altura e espessura (NP EN 13369 2010, 2010).	65
Figura 5.18 – Medição da curvatura e planeza (NP EN 13369 2010, 2010).	65
Figura 5.19 – Medição das diagonais (NP EN 13369 2010, 2010).	65
Figura 6.1 – Exemplo de veículos utilizados no transporte rodoviário de elementos pré-fabricados (a) – DEBS, 2000, b) – LASO, 2011).	69
Figura 6.2 – Camião a transportar uma viga pré-fabricada (Solenha, 2005).	70
Figura 6.3 – Exemplo de grua automóvel (LIEBHERR).	72
Figura 6.4 – Determinação do raio de operação (PINHO, 2005).	73
Figura 6.5 – Exemplos da elevação de vigas pré-fabricadas (a) e b) – VIEGAS & SARAIVA, 2010, c) – Solenha, 2005).	74
Figura 6.6 – Exemplo da influência do excesso de vento no manuseamento das peças (Approved Code of Practice for The Safe Handling, Transportation and Erection of Precast Concrete, 2002).	74
Figura 6.7 – Detalhe de ligação a evitar (FIB - Fédération Internationale du Béton, 2008).	76
Figura 6.8 – Detalhe de ligação a evitar (ALBARRAN, 2008).	76
Figura 6.9 – Ligações típicas pilar-viga (VIEGAS & SARAIVA, 2010).	77
Figura 6.10 – Exemplo de ligação pilar-viga num viaduto (VIEGAS & SARAIVA, 2010).	78
Figura 6.11 – Exemplo de ligação entre vigas coaxiais (VIEGAS & SARAIVA, 2010).	78
Figura 7.1 – Fluxograma do ciclo de pré-fabricação da fábrica em estudo.	82
Figura 7.2 – Aparelho de verificação do peso dos veículos transportadores de materiais.	83
Figura 7.3 – Local de armazenamento dos agregados com base em betão.	83
Figura 7.4 – Ausência de verificação do local de descarga/armazenamento dos agregados.	83
Figura 7.5 – Exemplo de armazenamento de agregados fora da baía destinada.	84
Figura 7.6 – Correcto armazenamento das armaduras passivas.	84
Figura 7.7 – Automatização do processo de fabrico de betão.	85
Figura 7.8 – Processo de desmoldagem de uma viga.	87
Figura 7.9 – Controlo do alinhamento dos cordões de pré-esforço.	90
Figura 7.10 – Controlo dos valores de alongamento sofrido pelos cordões.	90
Figura 7.11 – Controlo do deslizamento das cunhas.	90
Figura 7.12 – Transporte interno da viga pré-fabricada.	90

Figura 7.13 – Local destinado à inspecção final das peças – acabamentos e geometria.....	91
Figura 7.14 – Peça antes da aplicação do tratamento estético (bolhas de pele).	91
Figura 7.15 – Peça depois da aplicação do tratamento estético.	91
Figura 7.16 – Tratamento de pequenas fracturas na peça.	91
Figura 7.17 – Armazenamento das peças sem protecção das esquinas.	92

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Cimentos, classes de resistência (NP EN 197-1:2001, 2001).	17
Quadro 3.2 – Resumo dos adjuvantes mais utilizados em pré-fabricação (Manual do concreto dosado em central, 2007).	22
Quadro 3.3 – Características dos moldes de chapa metálica (MOREIRA, Julho 2009).	27
Quadro 3.4 – Principais características dos moldes utilizados em pré-fabricação (FERREIRA, 2001).	28
Quadro 4.1 – Listagem de alguns dos ensaios e respectiva norma, a realizar no betão – estado fresco.	41
Quadro 4.2 – Listagem de alguns dos ensaios e respectiva norma, a realizar no betão – estado endurecido.	42
Quadro 5.1 - Protecção contra a desidratação (Adaptado de NP EN 13369 2010, Abril 2010).	52
Quadro 5.2 – Exemplo de condições para aceleração da cura (Adaptado NP EN 13369 2010, 2010).	52
Quadro 5.3 – Tolerâncias permitidas para as secções transversais de elementos estruturais (NP EN 13369 2010, 2010).	64

1. Introdução

A introdução tem como finalidade informar o leitor quanto ao enquadramento, objectivos e organização da dissertação, explicitando também alguns conceitos gerais que irão ser desenvolvidos ao longo desta investigação.

1.1. Enquadramento geral

Este subtítulo, pretende enquadrar e contextualizar presentemente a indústria de pré-fabricação em Portugal.

Em primeiro lugar, importa definir o conceito de pré-fabricação. T. Koncz citado em (DEBS, 2000), define a pré-fabricação como sendo um método industrial de construção em que os elementos fabricados, em grandes séries, são montados em obra, mediante equipamentos e dispositivos de elevação. Por outro lado, a norma NP EN 13369:2010 define um elemento pré-fabricado como sendo um produto de betão, betonado e curado noutro local que não o da sua utilização final.

Fazendo um breve enquadramento histórico, é após a Segunda Guerra Mundial que se verifica o significativo desenvolvimento mundial de sistemas estruturais pré-fabricados. Este facto deveu-se à elevada destruição habitacional registada, o que levou à necessidade de construção de edificações num curto espaço de tempo e em elevadas quantidades, impulsionando a maior utilização da pré-fabricação como solução construtiva (TRIGO, 2000).

Segundo (FERREIRA, 2001), foi nos finais dos anos 40 que surgiram as primeiras experiências de pré-fabricação em Portugal envolvendo asnas e vigas trianguladas. Hoje em dia, e de forma cada vez mais natural, são observadas em Portugal e por todo o mundo cada vez mais obras de engenharia com recurso a peças pré-fabricadas. Esta solução tem sido largamente utilizada em obras públicas, especialmente, na concepção de pontes, estádios, pavilhões industriais, muros de suporte, etc. Existe ainda o facto de se verificar uma mudança de mentalidade nesta indústria, relativamente aos cuidados estéticos dos elementos, procurando a conciliação dos três ideais, que segundo David Billington, caracterizam a arte estrutural: Eficiência, Economia e Elegância (MARTINS, 2000), (FERREIRA, 2001). Reforçando esta ideia, (REIS, 2000) refere que cada vez mais, a qualidade estética das obras de arte tem sido um parâmetro de apreciação relevante.

O sector da pré-fabricação tem sofrido um desenvolvimento significativo ao longo do tempo, representando já cerca de 20% da indústria da construção civil nos EUA e na Europa (AXIS, 1996). Hoje em dia, este sector tem sido largamente utilizado em elementos estruturais, nomeadamente em edifícios e pontes. A cada vez maior utilização destes elementos relaciona-se com a maior facilidade de produção (execução em ambiente fabril), a maior garantia de controlo de qualidade, o menor tempo de execução e a economia do produto final. Referidos estes aspectos, entende-se que o controlo de qualidade é um factor essencial, relacionando-se com a qualidade do produto final. Logicamente, não é fácil obter uma completa uniformidade na aparência e características físicas dos

elementos numa produção contínua. A qualidade dos produtos depende de diversos parâmetros, sendo a sua análise e controlo fundamentais para a obtenção dos resultados desejados (AXIS, 1996).

Desenvolvendo este pensamento, percebe-se que com a evolução do sector da construção civil e de forma a poderem ser competitivos no mercado, os produtores de elementos pré-fabricados são obrigados a procurar formas de obter produtos com a máxima qualidade em períodos de tempo reduzidos. Torna-se por tudo isto cada vez mais inevitável apresentar uma organização com políticas de controlo de qualidade desenvolvidas, sendo que o primeiro passo será a definição de um programa de controlo de qualidade, o qual irá impulsionar a formação de um sistema de gestão da qualidade certificado com base na ISO 9001.

É indispensável referir que, em Portugal, as grandes empresas de pré-fabricação exibem já sistemas de gestão da qualidade certificados, bem como marcação CE dos seus produtos. Entendendo-se assim a existência de procedimentos que conduzem à melhoria dos seus produtos e serviços em condições de produção com elevados níveis de qualidade. De referir que as temáticas de sistemas de gestão da qualidade e certificação serão desenvolvidas de forma mais pormenorizada no Capítulo 2.

Torna-se então forçoso evidenciar a caracterização do sector da pré-fabricação no que diz respeito à certificação dos sistemas de qualidade, tendo como base um estudo da ANIPB 2008.

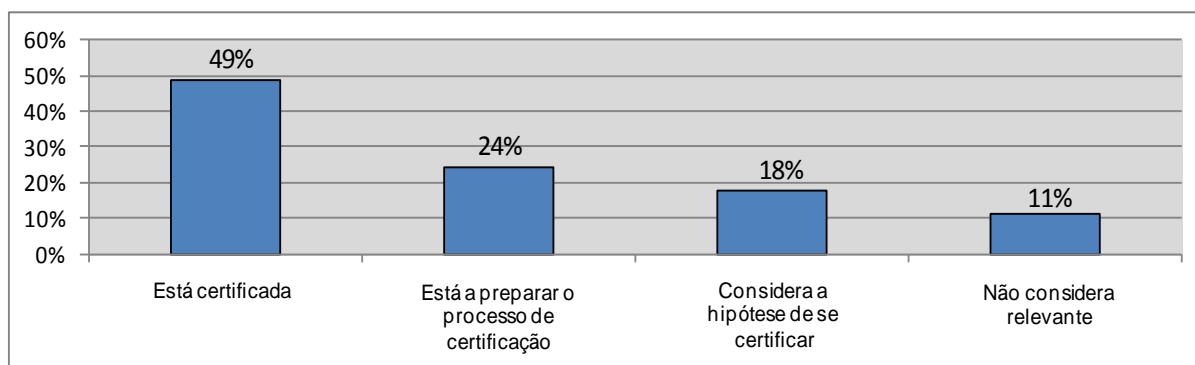


Figura 1.1 – Distribuição das empresas segundo o grau de envolvimento na norma ISO 9001 (PIRES, 2009).

Da análise do gráfico da Figura 1.1, verifica-se a certificação de “apenas” 50% das empresas, e partindo do princípio que esta percentagem é referente às grandes empresas, percebe-se que são as PME as que mais benefícios poderão ter com esta investigação.

Um estudo realizado por (LEVINE & TOFFEL, 2010) aponta que as empresas certificadas apresentam maiores taxas de aumento de vendas e de criação de emprego. Estes autores concluíram ainda que os benefícios da adopção da ISO 9001 eram muito mais pronunciados nas PME, referindo que os ganhos de competência e eficácia da gestão são mais evidentes nas pequenas organizações do que nas de maior dimensão. Entende-se que um eventual salto de qualidade é superior nas pequenas empresas, onde muitas operações entram facilmente em rotinas, na grande maioria das vezes negativas.

Justifica-se então o enquadramento desta dissertação, pretendendo estabelecer uma organização de operações de controlo, desenvolvendo um sistema de controlo de qualidade, estimulando/facilitando deste modo o desenvolvimento de um sistema de gestão da qualidade e a consequente produção de produtos com qualidade. As empresas que não apresentam políticas de qualidade ainda estão a perceber os benefícios da sua execução, sendo estes conceitos de qualidade vistos ainda como algo muito teórico e de difícil implementação. Esta dissertação enquadra-se na necessidade de desmistificar este conceito, promovendo um sistema de controlo de qualidade adaptado à realidade nacional, colmatando a falta de informação referente a esta temática, relativamente ao sector dos pré-fabricados, conceito já largamente desenvolvido por exemplo nos EUA, pelo *Prestressed Concrete Institute (PCI)* e pela *National Precast Concrete Association (NPCA)*.

Salienta-se o facto de a pré-fabricação englobar não só o processo de fabrico propriamente dito (produção em fábrica), mas também os processos de transporte e montagem das peças (exterior da fábrica). No que diz respeito às vantagens desta solução construtiva, sobressai de forma natural a maior rapidez de construção, mas também as seguintes (FERREIRA, 2001):

- A possibilidade de efectuar um controlo de qualidade em todo o ciclo de fabrico dos elementos;
- Precisão dimensional das peças (elevada utilização de moldes metálicos, praticamente indeformáveis e sujeitos a um rigoroso controlo);
- Acabamento e aspecto das superfícies;
- Maior durabilidade com a redução de anomalias e dos custos de manutenção;
- Não condicionado pelas condições atmosféricas;
- Maior facilidade de planeamento e controlo de prazos;
- Solução económica quando aplicada a obras com determinadas características (p.e.: elevada dimensão e repetitividade).

Ao invés disto, as desvantagens apontadas são:

- Necessidade de acompanhamento de todas as fases de pré-fabricação, visto que a falta de rigor pode provocar acumulação de erros sistemáticos que podem conduzir à rejeição das peças;
- Solução onerosa, em particular quando aplicada a obras de pequenas dimensões.

Existe ainda a desvantagem relacionada com a realização das ligações entre as peças, cujo comportamento é por vezes difícil de prever, tornando-se muitas vezes uma questão decisiva para a aplicação da pré-fabricação.

1.2. Objectivos

O objectivo principal desta dissertação passa justamente pela definição do título – traçar um sistema/programa de controlo de qualidade, para que, ao ser introduzido na indústria da pré-fabricação, se verifique uma produção de peças com qualidade constante, funcionando como uma ferramenta da qualidade e sendo indispensável para a definição de um sistema de gestão da qualidade.

A realização deste sistema foi imaginada para que tenha uma fácil implementação e utilização, resumindo-se ao desenvolvimento de novas fichas de controlo de qualidade (indicadas em Anexo). Importa ainda referir, que estas fichas foram elaboradas de maneira a que mesmo os funcionários menos instruídos as possam preencher, encontrando-se divididas por todo o ciclo de pré-fabricação e cabendo ao responsável pelo controlo de qualidade a sua análise e interpretação.

O estudo pretende ampliar as potencialidades da indústria de pré-fabricados, acreditando na importância que este sector terá no futuro próximo da construção. Os objectivos principais deste trabalho de investigação são:

1. Definir um manual de controlo de qualidade, concretizado com o desenvolvimento de fichas de controlo de qualidade que definem recomendações/verificações a respeitar em todo o ciclo de pré-fabricação;
2. Verificação através de um caso de estudo da aplicabilidade do sistema desenvolvido e do cumprimento das recomendações propostas nas fichas;
3. Despertar na indústria de pré-fabricação o interesse do estabelecimento de um programa de controlo de qualidade, desenvolvendo o conceito de que este não pode ser visto como um custo, mas sim como um investimento e um estímulo para a obtenção de um sistema de gestão da qualidade certificado com base na ISO 9001.

Para a percepção do tipo de controlos a implementar, foi necessário explicar e compreender o funcionamento do ciclo de pré-fabricação, o qual pode ser dividido em três fases:

- I. Fase de pré-fabrico – fase de recepção, armazenamento e preparação dos materiais, bem como do fabrico de betão;
- II. Fase de fabrico – fase que começa após a preparação dos materiais e fabrico de betão e tem o seu término na definição do produto final;
- III. Fase de pós-fabrico – como o próprio nome anuncia, esta fase inicia-se após a definição do produto final, com o transporte dos elementos, e finaliza com a montagem da peça em obra.

Com a aplicação nesta indústria do resultado desta investigação (fichas de CQ), pretende-se que se torne mais simples a compreensão por parte de todos os intervenientes (desde a administração até

aos funcionários de produção) das exigências necessárias à obtenção de peças pré-fabricadas com qualidade constante.

No decurso deste trabalho realizaram-se diversas visitas à central da empresa *Pavilis - Pré-Fabricação, S.A.* do grupo *Pavicentro*, e visto que a sua produção estava focada fundamentalmente em vigas para viadutos/pontes, referentes à obra da subconcessão da Auto-Estrada do Baixo Alentejo, projecto de execução do IP8 entre Sines e Beja. Esta dissertação será mais direccionada para o controlo deste tipo de elementos, sendo ainda elaborado um caso de estudo tendo como base essa peça e a obra referida.

Finalmente, através da análise deste sistema de controlo de qualidade, e em comparação com o caso de estudo será possível compreender a aplicabilidade e até que ponto o mesmo poderá ser adaptado às novas/existentes unidades fabris.

Importa sublinhar que a manutenção, controlo e inspecção dos equipamentos, é uma tarefa de extrema importância e de elevada responsabilidade nesta indústria. Na maior parte das empresas, por razões meramente económicas, a manutenção não é feita de forma preventiva, ou seja, os equipamentos são reparados apenas quando não funcionam. Sugere-se uma mudança de atitude em torno desta situação, aconselhando-se a suspensão da produção na fábrica por um pequeno período de tempo, com o propósito de executar uma inspecção e manutenção dos equipamentos que afectem directamente a conformidade do produto. Este controlo dos equipamentos não deverá ser visto como um custo, mas sim como um investimento, promovendo entre outros benefícios, a qualidade, a estabilidade, e o cumprimento de prazos na produção das peças. Apesar disto, nesta investigação este tipo de controlo não é desenvolvido, pressupondo-se que os equipamentos encontram-se inseridos num plano de monitorização e manutenção, apresentando-se por isso calibrados.

1.3. Organização da dissertação

Esta dissertação está dividida em 8 capítulos, com o conteúdo de cada capítulo descrito de seguida. Importa referir que do capítulo 3 ao 7, depois de compreendidos os aspectos que devem efectivamente ser alvo de operações de controlo, é definido um subcapítulo descrevendo um plano com as condições a verificar (concretizado em fichas de controlo de qualidade), não sendo por isso repetida essa situação na próxima descrição.

No presente capítulo, introduz-se o tema de forma geral, descrevendo o seu contexto na temática da Engenharia. Apresentam-se ainda os pontos que irão ser tratados ao longo do trabalho, os conceitos que interessa conhecer durante a leitura do mesmo e os objectivos que se propõe atingir com a sua elaboração.

No capítulo 2 é explorado os conceitos de sistemas de gestão da qualidade e de certificação, sendo particularizado para a indústria de pré-fabricação, apresentando-se uma análise do sistema de controlo de qualidade que se pretende desenvolver.

O capítulo 3 identifica os diversos materiais necessários para a produção dos elementos pré-fabricados. São descritas as diferentes características que estes têm forçosamente que apresentar, bem como os cuidados a ter, para que estas não se alterem.

No capítulo 4 é apresentado o processo de fabrico do betão. Nestas indústrias, o procedimento habitual é a produção do próprio betão em centrais localizadas no interior da fábrica. São assim descritos todos os passos que constituem este processo, desde o encaminhamento da matéria-prima, até à saída do betão da central. São logicamente analisadas as possíveis falhas desta operação, procurando estabelecer uma monitorização eficaz desta etapa, pois o betão é um elemento essencial na definição dos produtos em estudo.

O capítulo 5 descreve o método de fabrico genérico para a definição das peças. Nesta fase são analisadas todas as pequenas operações (desde o transporte dos materiais e betão às linhas de produção, até ao armazenamento do produto final). São também enumeradas as anomalias mais frequentes verificadas nesta solução construtiva, indicando-se as potenciais causas para o seu aparecimento.

O capítulo 6 refere-se ao transporte final e montagem das peças em obra. São enumeradas as condicionantes verificadas para o desenvolvimento destes dois processos sem qualquer tipo de problemas.

No capítulo 7 apresenta-se a componente mais prática deste estudo, relatando as observações determinadas na fábrica visitada para a realização do caso de estudo. Neste caso de estudo, analisou-se todo o ciclo da pré-fabricação, acompanhando a produção, transporte e montagem de uma viga pré-fabricada, parte constituinte da construção de um viaduto. Foram aplicadas/analizadas as fichas concebidas neste estudo, procurando-se observar o tipo de medidas que não são efectivamente cumpridas, podendo levar à presença de não conformidades e consequentemente a um ciclo de pré-fabricação deficiente.

Por fim, o capítulo 8 apresenta as conclusões mais relevantes, tentando incorporar o máximo de informação possível para compreender até que ponto os objectivos desta dissertação foram cumpridos, analisando todos os pressupostos estudados ao longo do trabalho. A diferenciação entre o controlo existente e o proposto facilita a análise dessas conclusões.

1.4. Conceitos gerais

Apresenta-se seguidamente alguns conceitos gerais relacionados à temática do trabalho.

Sistema de gestão

Sistema para o estabelecimento da política e dos objectivos, e para a concretização desses objectivos (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

Sistema de gestão da qualidade

Sistema de gestão para dirigir e controlar uma organização no que respeita à qualidade (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

Controlo de qualidade

Parte da gestão da qualidade orientada para a satisfação dos requisitos da qualidade (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

Planeamento da qualidade

Parte da gestão da qualidade orientada para o estabelecimento dos objectivos da qualidade e para a especificação dos processos operacionais e dos recursos relacionados, necessários para atingir esses objectivos (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

Política de qualidade

Conjunto de intenções e de orientações de uma organização, relacionadas com a qualidade, como formalmente expressas pela gestão de topo (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

Certificação

Procedimento pelo qual uma terceira pessoa dá garantia de que o produto, processo ou serviço está em conformidade com os requisitos especificados (FIGUEIRA, 2010).

Inspecção

Implementação de um procedimento formal, em regra escrito, cujos resultados ficam registados de forma a permitir à entidade gestora avaliar a operacionalidade das infra-estruturas e tomar medidas correctivas apropriadas. Avaliação da conformidade por observação e julgamento acompanhados, de forma apropriada, por medições, ensaios ou comparações (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

Ensaio

Determinação de uma ou mais características de acordo com um procedimento (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

Especificação

Documento que estabelece requisitos. Especificação pode estar relacionada com actividades ou com produtos (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

Procedimento

Modo especificado de realizar uma actividade ou um processo (é documentado) (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

Conformidade

Satisfação de um requisito (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

Não conformidade

Não satisfação de um requisito (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

Dano

É a alteração indesejável do estado normal, anatómico e/ou fisiológico e/ou funcional, no objecto de estudo resultante da acção de um determinado agente.

Defeito

Não satisfação de um requisito relacionado com uma utilização pretendida ou especificada (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

Eficácia

A eficácia mede até que ponto os objectivos de gestão, definidos específica e realisticamente, foram cumpridos. Medida em que as actividades planeadas foram realizadas e conseguidos os resultados planeados (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

Eficiência

A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo optimizado para a produção do serviço. Relação entre os resultados obtidos e os recursos utilizados (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

2. Sistema de gestão da qualidade

2.1. Considerações iniciais

Rapidamente se percebe que qualquer empresa apresenta um sistema de gestão, mais ou menos desenvolvido. Um sistema de gestão facilita a gestão e melhoria constante das políticas da organização, bem como dos seus procedimentos. Destes sistemas, destacam-se os sistemas de gestão da qualidade assente na ISO 9001. O sistema de gestão da qualidade é uma ferramenta do sistema de gestão da organização, orientado para atingir os resultados em relação aos objectivos da qualidade, aumentando a competitividade da organização através da sua capacidade de produzir de modo consistente, produtos que têm em vista satisfazer as necessidades, expectativas e requisitos dos seus clientes (NP EN ISO 9000:2005, 2005).

Com a crescente globalização dos mercados tem-se verificado um acréscimo do nível de exigência dos clientes. As empresas passam a estar sujeitas a um ambiente de grande pressão concorrencial pelo que, para serem competitivas e conseqüentemente sobreviverem, são obrigadas a evoluírem no sentido de obter produtos com qualidade.

O conceito de certificação de uma empresa vai ao encontro dessas necessidades, potenciando uma série de benefícios:

- Melhoria da organização interna;
- Imagem e posição competitiva;
- Aumento da motivação;
- Aumento da produtividade e redução de custos;
- Acesso a determinados mercados e concursos;
- Aumento da eficácia dos processos;
- Aumento da satisfação e confiança dos clientes.

No fundo, a certificação é uma diferenciação positiva que se traduz numa maior competitividade (Ingenium nº124, 2011).

A ideia central está relacionada com a actual indispensabilidade que as empresas têm em apostar na melhoria contínua da qualidade dos seus produtos. A avaliação permanente do sistema de gestão da qualidade é uma garantia dessa evolução. Para isso, existe a certificação no âmbito da qualidade, com base na ISO 9001 e a marcação CE dos produtos. É necessário existir uma verificação, de forma sistemática, de que a empresa tem realmente um sistema de gestão da qualidade que atende todos os requisitos normativos. A empresa tem que estabelecer uma forma metódica de trabalho para

alcançar a satisfação dos seus clientes, fornecendo-lhes produtos que correspondem às suas expectativas. E para que isso se realize, a organização tem obviamente que apresentar certas condições indispensáveis, entre as quais:

- Documentação para poder gerir os processos;
- Equipamentos calibrados;
- Pessoal qualificado;
- Registos adequados.

Existe a necessidade de avaliar a eficácia do sistema em termos de resultados, percebendo-se se os objectivos estão a ser atingidos, conseguindo a produção de elementos em conformidade com o exigido pelos clientes.

Deste modo, tem existido uma maior preocupação para o estabelecimento de sistemas de gestão da qualidade, levando a uma crescente pesquisa e curiosidade relativamente à temática de programas/manuais de controlo de qualidade, assentando na ideia da verificação da qualidade *a priori* ao invés da verificação *a posteriori*. A ideia base é assente no desenvolvimento de políticas de prevenção de ocorrência de não conformidades, diminuindo-se ao máximo a existência de elementos de “não qualidade”, o que também contribui para a redução de custos, devido à diminuição de desperdícios, rejeições e reclamações. É neste âmbito que se apresenta e demonstra a utilidade da existência de um sistema de controlo de qualidade, funcionando como uma ferramenta da qualidade.

Por fim, relativamente à questão da certificação, torna-se importante explicitar as diferenças entre os seguintes conceitos: certificação de sistemas, certificação de produto e marcação CE (LNEC).

- Certificação de sistemas – esta certificação define-se como sendo o reconhecimento formal da qualidade de uma estrutura. De modo particular, a obtenção da certificação da qualidade, demonstra que a organização gere um sistema de gestão em conformidade com as boas práticas de gestão e com os princípios da gestão da qualidade (NP EN ISO 9001 2008, Novembro 2008);
- Certificação de produto – na presença de produtos com características em conformidade com as normas correspondentes, estes poderão ser certificados. No entanto, para a certificação dos produtos, as empresas têm que dispor de um sistema de controlo do seu processo produtivo, incluindo medidas de controlo de qualidade, prevenção e correcção de anomalias. Chama-se à atenção para o facto de a certificação do produto não equivaler à certificação do sistema de gestão da empresa e vice-versa.
- Marcação CE – a determinação da marcação CE nos produtos é a evidência dada pelo fabricante de que esses produtos estão conformes com as disposições das directivas

comunitárias que lhe são aplicáveis, permitindo-lhes a livre circulação no Espaço Económico Europeu (EEE).

Em suma, a certificação não é obrigatória nem garante o sucesso de uma empresa, no entanto, confere a melhoria da sua imagem, aumentando a confiança no seu sistema e ao mesmo tempo a satisfação e confiança dos clientes.

2.2. Controlo de qualidade em pré-fabricação

Os juízos referidos em cima, reflectem-se logicamente na indústria da pré-fabricação, fomentando o estabelecimento de tarefas mais propensas a satisfazer as exigências cada vez maiores dos clientes, evidenciando-se:

- A adaptação das tecnologias de produção às especificações de projecto;
- A garantia de ritmo e prazo dos fornecimentos;
- A organização do sistema de transporte;
- A execução da montagem.

Todos estes requisitos serão cumpridos com maior destreza, na existência de um sistema de gestão de qualidade, que por sua vez, depende da presença de um programa de controlo de qualidade, determinando um conjunto de medidas de controlo das técnicas e actividades de carácter operacional.

As características essenciais dos produtos pré-fabricados em betão (mecânicas, geométricas, estéticas, etc.) terão forçosamente de ser controladas em fábrica, estando correlacionadas com o correcto desenvolvimento dos processos referentes às três fases definidas (pré-fabrico, fabrico e pós-fabrico). Facilmente se percebe que o “peso” do controlo dependerá da importância da característica em análise, e por outro lado, a existência ou não de alterações no controlo dos processos, irá depender do número de não conformidades verificadas e do volume de rejeições apurado. Pode-se dizer, que de um modo geral, qualquer característica de uma peça pode ser controlada, sendo este o conceito explorado e distinguido neste estudo.

Realça-se, mais uma vez, a importância de existir um controlo nas condições de transporte e montagem em obra, sendo fundamental assegurar que também nestes processos tudo deverá ser planeado e controlado, reduzindo ao máximo situações de imprevisto (TRIGO, 2000).

Importará sublinhar que, na prática, o controlo de qualidade efectuado, ainda é em muitos casos assente em métodos facilitados, que confiam excessivamente na experiência dos trabalhadores. Esta situação verificará seguramente a existência de uma percentagem significativa de produtos rejeitados.

Definem-se de seguida as actividades essenciais consideradas, divididas pelas três fases, com vista a promover séries de controlos mais eficazes.

I. Fase de pré-fabrico

1. Materiais (recepção, armazenamento, preparação)
2. Fabrico do betão

II. Fase de fabrico

1. Manipulação dos materiais e betão
2. Fabrico das peças
 - a. Betonagem
 - b. Compactação
 - c. Cura
 - d. Pré-esforço
 - e. Desmoldagem
3. Manuseamento e transporte interno das peças
4. Acabamentos
5. Armazenamento das peças
6. Produto final

III. Fase de pós-fabrico

1. Transporte final
2. Montagem

Em simultâneo com a necessidade da presença de controlos, estes devem estar caracterizados (exibindo valores específicos) e apresentar uma determinada posição no ciclo de pré-fabricação. É fundamental assegurar a relação entre os controlos e as suas consequências (o resultado de um deficiente controlo pode explicar o motivo de eventuais anomalias na peça produzida), com o intuito de facilitar a identificação da causa real para as não conformidades observadas, promovendo a concepção de medidas/recomendações mais eficientes.

De forma sucinta, considera-se que a utilização de um sistema de controlo, nas operações do dia-a-dia da fábrica, permite aos trabalhadores entender os requisitos essenciais à produção de um elemento com qualidade. O manual proposto neste trabalho de investigação oferece um panorama de decisões gerais, necessárias para desenvolver uma estrutura de onde resultem peças de qualidade e logicamente com o mínimo de não conformidades (AXIS, 1996), (TRIGO, 2000), (ALVES, 1994).

Por último, chama-se à atenção de que a inspecção das etapas de produção deve ser registada por escrito em documento próprio, onde estejam indicados a identificação da peça, a data de fabrico, o tipo de aço e de betão usados e a aprovação dos inspectores/operadores responsáveis por cada etapa. Nestes documentos deverão estar registadas também as não conformidades mais significativas, bem como as acções correctivas sugeridas/realizadas.

Um sistema de controlo de qualidade em pré-fabricação deve assentar nas especificações e métodos de ensaio da norma que recentemente entrou em vigor – NP EN 13369:2010.

3. Materiais

3.1. Considerações iniciais

Este capítulo pretende expor os materiais necessários para a definição das peças pré-fabricadas de betão, incidindo no controlo da sua recepção, armazenamento e preparação. Assim sendo, os materiais considerados foram:

1. Constituintes do betão
 - a. Cimento
 - b. Agregados
 - c. Adjuvantes e adições
 - d. Água
2. Armadura passiva e activa
3. Moldes
4. Materiais diversos

Neste tipo de indústrias, é prática corrente adquirir todos estes materiais a entidades externas à fábrica, tornando-se essencial que se verifique um controlo aquando da sua recepção em fábrica. Sabendo-se que, só se consegue produzir peças de qualidade na presença de materiais com qualidade, esta fase de controlo apresenta-se como crucial para o desenvolvimento desejado das peças.

Será então aprofundado em subcapítulos, uma caracterização de cada material, enunciando os requisitos e propriedades aos quais têm que satisfazer, bem como os cuidados a ter no momento em que já se encontram nas instalações, nomeadamente a nível de armazenamento e preparação, evitando qualquer tipo de modificação/contaminação das suas características iniciais.

3.2. Constituintes do betão

Através da consulta da norma NP EN 206-1:2007, define-se betão como sendo um material formado pela mistura de cimento, agregados grossos, finos e água, podendo ser acrescentados adjuvantes e adições. Para (BRITO & FLORES, Outubro 2005), o betão é um material definido pela mistura correctamente proporcionada de pedras e areias, com um ligante hidráulico, água e em alguns casos adjuvantes e aditivos, onde a coesão e resistência são concedidas à mistura pela propriedade de endurecimento resultante da reacção do ligante com a água.

Hoje em dia, é raro verificar-se a utilização de betão produzido fora das fábricas de pré-fabricação, sendo normal a existência de uma ou mais centrais de betão na grande maioria das empresas deste sector. Na Figura 3.1, identificam-se as duas centrais existentes na fábrica da empresa

Pavilis - Pré-Fabricação, S.A.. De referir que se optou por definir um capítulo onde são descritas com mais pormenor as propriedades do betão – Capítulo 4.

3.2.1. Cimento

O cimento é um material inorgânico, que quando misturado com água, forma uma pasta que faz presa e endurece devido a reacções e processos de hidratação e que depois de endurecer, mantém a sua resistência (NP EN 206-1 2007, 2007). Os cimentos que podem ser utilizados no betão simples, armado ou pré-esforçado são definidos pela norma NP EN 197-1, e dos cinco tipos de cimentos Portland especificados nessa norma, três deles são os mais correntemente utilizados:

- CEM I – Cimento Portland;
- CEM II – Cimento Portland composto (mais utilizado em Portugal);
- CEM III – Cimento de alto-forno.

Baseado em (COUTINHO & GONÇALVES, 1988), pode-se caracterizar o cimento como sendo um ligante hidráulico; ligante provém da propriedade deste em poder aglomerar uma proporção elevada de materiais (areias, britas, etc.), concedendo ao mesmo tempo elevada coesão e resistência; hidráulico vem da sua capacidade em adquirir elevadas resistências mesmo debaixo de água.

Existem duas formas de aquisição de cimento: em saco ou a granel. Usualmente, nas unidades de pré-fabricados, dado o emprego de elevadas quantidades, o cimento é fornecido a granel e é armazenado em silos apropriados (Figura 3.1), evitando assim que seja exposto a qualquer tipo de contaminação, nomeadamente à acção da humidade. (COUTINHO & GONÇALVES, 1994), desenvolve esta preocupação, indicando que deverão ser tomadas precauções para impedir a condensação da humidade dentro do silo, existindo ainda a necessidade de recircular o cimento (extrair e voltar a colocar) sempre que este se encontre armazenado durante “muito” tempo. Saliente-se, que estes silos possuem mecanismos com dispositivos automáticos destinados a uma pesagem precisa do cimento a ser enviado para a betoneira-misturadora. Na utilização de diferentes tipos de cimento, estes devem estar contidos em silos distintos e visivelmente identificados.



Figura 3.1 – Silos de cimento referentes a duas centrais de betão (empresa *Pavilis Pré-Fabricação S.A.*).

De acordo com a *Pavilis - Pré-Fabricação, S.A.*, o ligante mais utilizado na produção de betão em centrais de pré-fabricação é o cimento Portland CEM I 42,5R (Quadro 3.1). Este é um produto de elevada qualidade, sendo particularmente apropriado aos trabalhos onde se exige uma resistência muito elevada nos primeiros dias após a aplicação, condição naturalmente essencial na produção de peças pré-fabricadas.

Quadro 3.1 – Cimentos, classes de resistência (NP EN 197-1:2001, 2001).

Resistência à compressão (MPa)			
Classes	Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência
	2 dias	7 dias	28 dias
32.5	–	≥ 16	≥ 32.5 e ≤ 52.5
32.5 R	≥ 10	–	
42.5	≥ 10	–	≥ 42.5 e ≤ 62.5
42.5 R	≥ 20	–	
52.5	≥ 20	–	≥ 52.5
52.5 R	≥ 30	–	

3.2.2. Agregados

Designa-se por agregado, a um material mineral com tamanho e forma apropriados para a utilização na produção de betão. Estes podem ser de origem natural, artificial ou reciclados de materiais anteriormente usados na construção.

De acordo com (COUTINHO J. D., 1999), os agregados ocupam de um modo geral cerca de 70 a 80% do volume do betão, isto é, mais ou menos $\frac{3}{4}$ do volume total, percebendo-se assim, a extrema importância que as suas características têm na definição e comportamento do betão.

De forma sintetizada, e segundo relatado por esta autora, as propriedades dos agregados com maior influência no comportamento do betão no estado fresco e endurecido são:

- Massa volúmica;
- Granulometria;
- Porosidade;
- Resistência mecânica (sobretudo nos agregados grossos) e características da superfície das partículas.

A granulometria, a seguir à resistência mecânica, é das propriedades dos agregados que mais preponderância tem nas características do betão. Para (COUTINHO & GONÇALVES, 1988), define-se granulometria como sendo a distribuição das percentagens das partículas de determinadas dimensões que constituem os agregados. A análise granulométrica é realizada agitando os

agregados através de uma série de peneiros ordenados de forma decrescente, da malha mais larga para a malha mais fechada, e pesando de seguida o material retido em cada peneiro.

Torna-se fundamental assegurar que a composição do betão seja definida de modo a que agregados e ligante atinjam a máxima compactidade, isto é, quanto maior a compactidade, maior será a resistência do betão, tendo no entanto como desvantagem o aumento da sua consistência, repercutindo numa pior trabalhabilidade (esta propriedade será analisada mais à frente).

Como afirmado no início deste capítulo, os agregados podem de maneira simplificada ser agrupados relativamente à sua origem e dimensão. No que toca à origem, estes podem ser de origem natural (p.e.: areias, godos) ou obtidos por britagem de materiais naturais (p.e.: britas, areias britadas). Existem também agregados obtidos industrialmente, designados por agregados artificiais (p.e.: argila ou xisto expandido) e ainda os agregados reciclados (COUTINHO & GONÇALVES, 1988). Quanto à dimensão, são classificados como agregados grossos aqueles que ficam retidos no peneiro com malha de 5 mm, sendo os restantes denominados de areias (Figura 3.2).

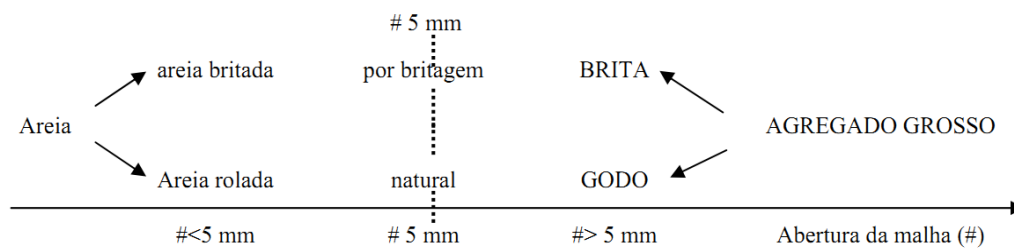


Figura 3.2 – Esquema da classificação dos agregados quanto à sua dimensão (COUTINHO J. D., 1999).

Um factor que importa frisar, passa pela dimensão máxima do agregado grosso, devendo ser tão elevado quanto prático. No entanto não deve exceder cerca de 20% da menor dimensão da peça a betonar e cerca de 75% do recobrimento livre entre a armadura e a superfície do produto (NPCA, 2011).

Relativamente à sua qualidade, os agregados devem estar isentos de impurezas, sobretudo terra, argila, vegetação, bem como apresentar uma superfície limpa. A eventual presença de impurezas pode interferir com os restantes constituintes, química ou fisicamente, nomeadamente (NPCA, 2011):

- Partículas que dão origem a reacções químicas expansivas com o ligante (cimento);
- Impurezas de origem orgânica;
- Impurezas de origem mineral.
- Partículas com dimensões iguais ou inferiores às do cimento, que interferem na estrutura do material hidratado, enfraquecendo-o;

- Partículas com resistência reduzida.

Observado em fábrica, na produção de betão são normalmente utilizados:

- Três tipos de brita: brita 1 (8-12mm), brita 1 (bago de arroz 4-8mm) e brita 2 (12-20mm);
- Duas areias: areia lavada (finura 2,85) e areia fina (finura 1,94).

Refira-se que só são aceites areias e britas previamente lavadas e isentas de impurezas. A aptidão dos agregados nas unidades de pré-fabricados segue de acordo com a NP EN 13369:2010 a secção 5.2 da NP EN 206-1:2007.

Humidade contida nos agregados

De acordo com (NPCA, 2011), a medição e controlo do teor de humidade presente nos agregados é uma operação fundamental na produção de um betão com boa trabalhabilidade e qualidade. Este manual indica que os agregados finos (areia) podem acumular quantidades consideráveis de água na sua superfície, podendo normalmente conter até 10% de humidade em peso, enquanto os agregados grossos podem apresentar até 3% nas suas superfícies.

O resultado prático da não consideração desta condição nas proporções de mistura poderá reflectir-se num impacto sobre a trabalhabilidade e relação A/C do betão. Deve-se, então, ajustar as proporções de dosagem de modo a compensar esse teor de humidade. Por outro lado, agregados excessivamente secos podem aumentar a necessidade de água, dada a sua absorção durante a mistura. Idealmente, o agregado deverá ser mantido num estado saturado superfície seca (*SSD – saturated surface dry*), apresentando-se saturado com água no interior, mas seco à superfície.

Assim, uma monitorização cuidadosa do teor de humidade dos agregados irá reduzir a necessidade de rectificação da dosagem na produção de betão.

Simplificando, considera-se útil que as fábricas apresentem um programa que regule a quantidade de humidade da superfície dos agregados, promovendo sempre que necessário o ajustamento da dosagem definida.

Armazenamento e transporte dos agregados

No armazenamento dos agregados é importante evitar a sua contaminação, o que é conseguido armazenando-os em locais limpos, sólidos e bem drenados.

Estes podem ser ensilados, ou depositados ao ar livre em compartimentos próprios – baias ou pilhas. Nesses locais são acumulados e identificados (classe e nome) separadamente, estando divididos por paredes com altura suficiente de forma a evitar sobreposições e contaminação cruzada (Figuras 3.3 e 3.4). Terá também que existir o cuidado de não permitir a passagem de quaisquer cargas sobre os

agregados, correndo o risco de fractura das suas partículas e consequente alteração da granulometria.

(COUTINHO & GONÇALVES, 1994), afirmaram que, dado ser comum nesta indústria instalações fixas para produção de betão, os locais de depósito devem apresentar uma camada de 7 a 10cm de betão, com a finalidade de evitar o desaproveitamento de cerca de 15cm de altura de agregado (contacto directo com o solo), podendo este estar misturado com terra e/ou provavelmente contaminado com outras substâncias. Ressalve-se que esta camada de betão deve ser definida com uma inclinação tal, que possibilite um fácil processo de drenagem de eventuais águas.



Figura 3.3 – Armazenamento dos diversos agregados em baias.



Figura 3.4 – Identificação dos agregados.

O transporte dos agregados deve ser executado de modo a impedir a sua contaminação e minimizar uma eventual deterioração. Este transporte é normalmente feito com recurso a meios mecanizados, carregando os agregados do local de armazenamento para os respectivos depósitos de dosagem.

Dosagem dos agregados

Na grande maioria das centrais, o doseamento dos agregados é totalmente automatizado. São utilizados doseadores volumétricos, isto é, doseadores constituídos por sensores volumétricos que estabelecem uma relação entre a quantidade definida em m^3 e o peso em kg que lhe corresponde.



Figura 3.5 – Depósito dos diferentes agregados na manga mecanizada.

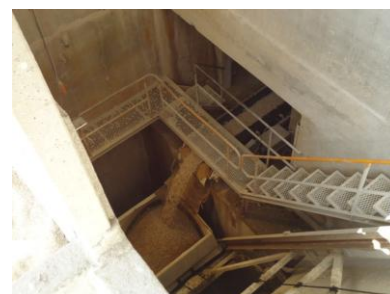


Figura 3.6 – Depósito dos agregados no elevador de carga.

Os diferentes agregados são doseados para uma manga mecanizada (Figura 3.5) que os transporta para um depósito elevador (Figura 3.6). A elevação deste depósito é realizada automaticamente até à central de betão, especificamente para a betoneira-misturadora.

3.2.3. Adjuvantes e Adições

Segundo as normas (NP EN 206-1 2007, 2007) e (NP EN 934-2 2009, 2009), adjuvantes são materiais adicionados em pequenas quantidades, durante o processo de mistura do betão, para modificar algumas das suas propriedades no estado fresco ou endurecido. É importante referir que a palavra adjuvante significa ajuda, percebendo-se assim, que o seu uso no betão (cumprindo com as recomendações do fabricante e considerando a sua utilização na formulação da sua composição) é feito com o intuito de aperfeiçoar diversas características de acordo com o que se pretende para cada produto. Do ponto de vista prático, interessa conhecer os efeitos que se procuram obter com a utilização de adjuvantes. Enumeram-se de seguida os mais rotineiros (COUTINHO & GONÇALVES, 1988):

- Melhorar a trabalhabilidade;
- Retardar/Acelerar a presa;
- Diminuir a permeabilidade;
- Inibir a corrosão de armaduras.

Referidos estes efeitos, destacam-se os adjuvantes usualmente utilizados em pré-fabricação:

Plastificantes/Superplastificantes – A aplicação dos adjuvantes plastificantes e superplastificantes têm três objectivos: reduzir a quantidade de água no betão, aumentar a consistência, melhorar a trabalhabilidade do betão e otimizar a quantidade de cimento. Os plastificantes admitem, em geral, uma redução de água da ordem de 5 a 15%, enquanto os superplastificantes possibilitam reduções de água muito superiores, da ordem de 25 a 35% (COSTA & APPELTON, 2002);

Introdutores de ar – Incorporação de micro-bolhas de ar de tamanho controlado, que se mantêm estáveis no estado endurecido, proporcionando uma melhor trabalhabilidade do betão, bem como óptimas prestações relativamente à durabilidade e resistência aos ciclos gelo/degelo;

Acelerador/retardador de Presa – São produtos utilizados para acelerar e retardar a presa do betão, respectivamente.

De acordo com (MOREIRA, 2009), para pré-fabricados, são normalmente utilizados superplastificantes normais e superplastificantes de terceira geração (composição à base de policarboxilatos), que têm como objectivo reduzir a quantidade de água de amassadura, permitindo obter uma plastificação muito forte e uma boa manutenção da consistência (trabalhabilidade), aliadas a um desenvolvimento rápido das resistências mecânicas. Algumas empresas de pré-fabricação utilizam juntamente com os superplastificantes aceleradores de presa, permitindo acelerar o endurecimento do betão, desenvolvendo rapidamente resistências iniciais sem que as resistências finais sejam negativamente afectadas.

Resume-se no Quadro 3.2 os tipos e características dos adjuvantes mais utilizados na indústria de pré-fabricados. De notar que neste quadro são indicados valores diferentes aos citados anteriormente para a redução de água de amassadura relativamente ao uso de plastificantes e superplastificantes, isto está unicamente relacionado com o facto de serem autores distintos.

Quadro 3.2 – Resumo dos adjuvantes mais utilizados em pré-fabricação (Manual do concreto dosado em central, 2007).

Designação	Efeitos	Vantagens	Desvantagens
Plastificantes	Aumenta o índice de consistência Possibilita redução de no mínimo 6% da água de amassadura	Maior trabalhabilidade para determinada resistência Maior resistência para determinada trabalhabilidade Menor consumo de cimento para determinada trabalhabilidade e resistência	Retardamento do início de presa para dosagens elevadas Risco de segregação Endurecimento prematuro em determinadas condições
Superplastificantes	Elevado aumento do índice de consistência Possibilita uma redução de no mínimo 12% da água de amassadura	Eficiente como redutor de água e na execução de betões fluidos	Riscos de segregação da mistura Duração do efeito fluidificante Pode elevar a perda de consistência
Retardadores de Presa	Aumenta o tempo de início de presa	Mantêm trabalhabilidade a temperaturas elevadas Retarda a elevação do calor de hidratação Prolonga os tempos de aplicação	Pode promover exsudação Pode aumentar a retração plástica do betão
Aceleradores de Presa	Maior velocidade de presa Resistência inicial mais elevada	Ganho de resistência com baixas temperaturas Redução do tempo de desmoldagem	Possível fissuração devido ao calor de hidratação Risco de corrosão das armaduras (cloretos)
Incorporadores de Ar	Incorpora pequenas bolhas de ar no betão	Aumenta a durabilidade ao congelamento do betão sem elevar o consumo de cimento e o conseqüente aumento de cimento Reduz o teor de água e a permeabilidade do betão Bom desempenho em betões de baixo consumo de cimento	Necessita de controlo cuidadoso da percentagem de ar incorporado e do tempo de mistura O aumento da trabalhabilidade pode ser inaceitável

Os adjuvantes utilizados na obtenção do betão devem respeitar os requisitos da Norma NP EN 9342:2009.

No que respeita a adições, estas são materiais inorgânicos e finos (finura \leq cimento), acrescentadas ao betão com o propósito de melhorar certas características ou alcançar propriedades especiais. De acordo com a norma (NP EN 206-1 2007, 2007), existem dois tipos de adições inorgânicas:

- Tipo I – Adições quase inertes, p.e.: filer calcário;
- Tipo II – Adições pozolânicas ou hidráulicas latentes, p.e.: cinzas volantes, pozolanas, sílica de fumo, escória de alto-forno.

Referenciado em (MOREIRA, 2009), as adições à base de pozolanas são as mais utilizadas nesta indústria por diminuírem possíveis reacções do agregado com o ligante, além de aumentar a impermeabilidade do betão no estado endurecido.

A aplicação das adições segue a secção 5.2 da NP EN 206-1:2007, de acordo com a NP EN 13369:2010.

3.2.4. Água

Referente a esta temática, e relatado em (COUTINHO & GONÇALVES, 1988), define-se que todas as águas potáveis e as que se apresentem isentas de cheiro e sabor, podem ser utilizadas na amassadura do betão. Esta regra de índole geral permite que não haja precauções ao se utilizar água da distribuição pública. No entanto, cuidados têm que ser tomados quando estas variáveis não se verificam.

Segundo (COUTINHO & GONÇALVES, 1994) a água tem um papel fundamental nas características do betão. Se esta é em quantidade diminuta, obtém-se um betão muito seco, o que torna difícil o desenvolvimento de uma compacidade aceitável dado o elevado atrito entre as partículas (impossibilita a sua arrumação perfeita). Para (MOREIRA, 2009), uma quantidade insuficiente de água compromete a trabalhabilidade do betão, resultando daí a utilização de adjuvantes plastificantes/superplastificantes.

É importante frisar que não se deve utilizar água contendo quantidades prejudiciais de óleos, ácidos, sais, material orgânico ou outras substâncias que possam afectar de forma adversa as propriedades do betão fresco ou endurecido, nomeadamente o falso início de presa ou o seu retardo. Entende-se ainda a não utilização de águas salgadas (água do mar), devido há mais que provável corrosão das armaduras provocada pelo sal (COUTINHO & GONÇALVES, 1994).

Analisando o factor água, compreende-se que a sua qualidade e a sua correcta dosagem, apresentam-se como fundamentais para uma boa produção de betão.

A água utilizada deve atender aos requisitos da NP EN 1008:2003.

3.3. Armadura Passiva

Regra geral, as armaduras usadas no betão armado e pré-esforçado são fabricadas a partir do aço, embora actualmente haja uma utilização cada vez maior de armaduras em fibra de vidro e de carbono.

O teor em carbono existente no aço é o principal factor que determina as suas propriedades mecânicas. No caso das armaduras passivas, este teor anda na ordem dos 0,15 a 0,20% e nas activas à volta de 0,50 a 0,80%. Actualmente a armadura ordinária (passiva) utilizada nestas indústrias é o A500 NR SD (ductilidade especial).

Ressalve-se, que todos os aços (neste caso armadura passiva) recebidos em fábrica têm de ser sujeitos a ensaios obrigatórios, conforme a norma NP ENV 13670-1. O número mínimo de amostras a colher em cada lote são de um amostra por cada cinquenta toneladas constituída por dois provetes para tracção e um provete para geometria (QSP).

O facto de a armadura ser um material com elevada importância no futuro comportamento estrutural das peças, faz com que o seu manuseamento e armazenamento sejam processos que têm que se apresentar constantemente livres de situações prejudiciais, nomeadamente da existência de qualquer contaminação (p.e.: corrosão) e perda de identificação (Figura 3.7). Assim, é perceptível a necessidade de evitar que esteja armazenada em contacto com o solo (Figura 3.8). Torna-se igualmente importante a existência de um local adequado à sua preparação (corte e dobragem).



Figura 3.7 – Armazenamento e identificação das armaduras.



Figura 3.8 – Armazenamento das armaduras evitando o contacto com o solo (Execução de Estruturas de Betão).

3.4. Armadura Activa (pré-esforço)

Como referido, os aços utilizados no fabrico das armaduras de pré-esforço apresentam um elevado teor em carbono (0,50 a 0,80%), condição necessária para se obter elevadas resistências. Esta armadura pode ser aplicada sob várias formas, existindo em fios, varões, cordões ou cabos:

- Fios ($\phi \leq 10\text{mm}$);
- Varões ($\phi \geq 12\text{mm}$);
- Cordões (associação de fios enrolados em hélice);
- Cabos (associação de fios ou cordões paralelos).

Neste tipo de indústria, o aço utilizado nas armaduras de pré-esforço é sob a forma de cordão, sendo fornecido em bobines (Figura 3.9). Estas devem ter obrigatoriamente um diâmetro tal, que quando

desenroladas os cabos não apresentem qualquer deformação, não podendo ser inferior a 200 vezes o diâmetro do fio mais espesso do cordão (QSP).

Segundo informações obtidas em fábrica, os cordões são preparados em troços rectos com comprimentos variáveis entre 6 e 30 metros, sendo que a sua superfície pode ser lisa ou nervurada. Importa referir a possibilidade de pré-esforçar vários fios numa única operação, sendo esta uma clara vantagem desta configuração de armadura. Relativamente à sua constituição, geralmente são definidos por 2 a 19 fios, embora os mais usuais sejam os cordões de 7 fios. O aço mais correntemente utilizado é do tipo A1860, e os diâmetros são de 16,0; 15,2 e 9,3mm.

Os cuidados a ter com as armaduras de pré-esforço são praticamente os mesmos que com as armaduras passivas. Porém, existe uma maior preocupação em relação à corrosão deste tipo de aço, onde os factores preocupantes são:

- O diâmetro reduzido dos fios;
- Dado ser sujeito a elevadas tensões, o aço fica mais susceptível à própria corrosão.

Tendo em conta esta maior sensibilidade à corrosão, os aços de pré-esforço devem ser protegidos contra esta contaminação durante o seu transporte e armazenamento. Devendo ser armazenados e instalados em locais cobertos e secos, não sendo demais sublinhar a obrigatoriedade em evitar que entrem em contacto com o solo. Acrescenta-se que, sempre que o período de armazenamento seja superior a um mês, deverá ser efectuada uma inspecção visual antes da sua aplicação, conferindo o seu estado.

A Figura 3.9 mostra o exemplo de armaduras de pré-esforço (bobine) no interior da fábrica visitada, antes do seu emprego nas peças.



Figura 3.9 – Exemplo de aço de pré-esforço em bobine.

Analogamente às armaduras ordinárias, as de pré-esforço são sujeitas a ensaios obrigatórios conforme a norma NP ENV 13670-1 e EN 10138, sendo retirada uma amostra por cada vinte e cinco toneladas constituída por dois provetes para tracção.

3.5. Moldes

Dadas as repercussões a nível económico e estrutural, os moldes apresentam-se como elementos de extrema importância no processo de fabrico. Esta importância é facilmente constatada devido ao elevado grau de precisão imposto nas dimensões dos elementos em questão, tornando necessário que satisfaça um determinado conjunto de requisitos. Assim, os moldes deverão apresentar-se em bom estado, considerando-se indispensáveis frequentes inspeções e uma manutenção regular, assegurando a inexistência de qualquer anomalia que poderá determinar o aparecimento de não conformidades na peça fabricada.

Deste modo, os moldes deverão respeitar certas características, tais como:

- Consistência de volume, garantindo a geometria das peças;
- Fácil manuseamento/transporte e boa estanqueidade;
- Pouca aderência ao betão;
- Facilidade de limpeza;
- Proporcionar fácil betonagem e compactação do betão;
- Capacidade de modificação geométrica.

O processo de fabrico e os métodos utilizados são influenciados pelo tipo de moldes empregues na linha de produção. Existem no mercado quatro tipos de moldes, descrevendo-se de seguida as características de cada um (FERREIRA, 2001).

Moldes de Chapa Metálica

Este tipo de molde é adequado, por exemplo, para a produção de vigas em I de diversas larguras e alturas. Nesta solução, a vibração do betão é normalmente garantida por mecanismos anexos aos moldes (vibradores externos). Estes moldes (Figura 3.10) oferecem ainda a possibilidade de múltiplas utilizações, sendo bastante resistentes e estanques, para além de possibilitarem a desmoldagem com um reduzido número de peças. Subsiste ainda o facto de que, devido à superfície lisa das paredes, a aderência entre um molde de chapa metálica e o betão é relativamente baixa, não existindo preocupações especiais para o processo de desmoldagem.



Figura 3.10 – Exemplo de um molde de chapa metálica.

Da análise do Quadro 3.3, evidenciam-se as características oferecidas por estes moldes. Chama-se à atenção que, dado o preço elevado, o seu uso deverá facilitar a produção de grandes séries de peças e/ou a capacidade de modificação geométrica.

Quadro 3.3 – Características dos moldes de chapa metálica (MOREIRA, Julho 2009).

Molde	Vantagens	Desvantagens
Chapa Metálica	<p>Precisão geométrica</p> <p>Não geram resíduos</p> <p>Maior número de reutilizações</p> <p>Redução da mão-de-obra</p> <p>Estanqueidade</p>	<p>Exigem mais cuidados no seu manuseamento</p> <p>Projecto mais detalhado</p> <p>Pouca flexibilidade</p>

Moldes de Madeira

Os moldes de madeira são apropriados para o fabrico de pequenas séries de elementos. Em qualquer dos casos, quando construídos correctamente, o seu custo é muito semelhante aos moldes metálicos. A sua utilização está usualmente associada a fábricas onde existe carpintaria. Importa referir que, na presença de pontos angulosos, estes devem ser reforçados com elementos metálicos.

A aderência elevada entre madeira/betão é a grande desvantagem destes moldes, sendo frequente a interposição de lâminas de plástico com o objectivo de atenuar esta ligação. Comparativamente aos moldes metálicos, os moldes de madeira não são tão indeformáveis e apresentam um maior desgaste.

Moldes de Betão

Os moldes de betão são empregues especialmente no fabrico de elementos de cobertura. Estes, possibilitam uma elevada precisão em termos de dimensões, mas não permitem a introdução de alterações na sua geometria. O seu custo é elevado, e verificam uma rápida degradação. A grande desvantagem deste tipo de molde, prende-se com a necessidade de tratar convenientemente a superfície, dado o alto risco de não ser possível desmoldar os elementos.

Moldes de Plástico

Mais recentemente tem-se verificado a aplicação de moldes de plástico reforçados com fibra de vidro (GFRP). As principais vantagens deste tipo de molde são a liberdade de formas, a sua leveza e a sua estabilidade volumétrica. Têm como desvantagem o facto de terem um preço elevado e não permitirem modificações na sua geometria. A sua superfície lisa, providencia um fácil processo de desmoldagem.

Por fim, após a descrição destes quatro grupos de moldes (chapas metálicas, madeira, betão e plástico) efectua-se de forma sumária uma analogia entre eles (Quadro 3.4).

Quadro 3.4 – Principais características dos moldes utilizados em pré-fabricação (FERREIRA, 2001).

Moldes	Chapa Metálica	Madeira	Betão	Plástico
Nº de utilizações	500 - 1200	20 - 100	100 - 200	100 - 400
Consistência volumétrica	Boa	Menor	Boa	Boa
Aderência (capacidade de desmoldagem)	Boa	Menor	Menor	Boa
Capacidade de modificação	Boa	Boa	Má	Menor
Manuseamento	Bom	Bom	Menor	Bom
Facilidade de transporte	Bom	Bom	Mau	Bom

Analisando o quadro em cima, rápido se percebe que os moldes de chapa metálica apresentam de entre todos os outros os melhores requisitos, sendo logicamente por isso os mais usados nestas indústrias.

3.6. Materiais diversos

Por materiais diversos, consideraram-se todos os elementos que são colocados na peça pré-fabricada antes da betonagem e depois de colocada a armadura. Os materiais em questão devem respeitar três conceitos elementares:

- Resistir às acções previstas;
- Ter a necessária ductilidade;
- Manter essas propriedades durante a vida útil da peça.

Quaisquer que sejam os acessórios a colocar, no que diz respeito a dimensões e quantidades, deve ser sempre garantido que os mesmos são posicionados de acordo com o desenho de fabrico.

Destes materiais, destacam-se os espaçadores/distanciadores para as armaduras (Figura 3.11), que semelhante a todos os outros materiais utilizados na produção de peças pré-fabricadas, deverão ser adequados para os propósitos definidos, influenciando positivamente na qualidade final da peça.



Figura 3.11 – Tipos de espaçadores/distanciadores para armaduras (PRESTA, Lda, 2004).

3.7. Controlo de qualidade em fábrica

Como se pode observar nos pontos anteriores, os materiais utilizados no fabrico dos elementos têm uma influência directa na qualidade final do produto. Assim, torna-se indispensável que todos os materiais sejam testados pelo fornecedor, garantindo que estão em conformidade com os requisitos especificados. Em fábrica, na recepção, armazenamento e preparação dos materiais, o inspector de controlo de qualidade tem obrigatoriamente que efectuar diversas verificações, expostas nas rubricas seguintes.

3.7.1. Controlo dos materiais

Sublinhando o mencionado em cima, todos os materiais deverão ser testados pelo fornecedor e acompanhados por um certificado de conformidade, sendo corrente o controlo antes da descarga, da guia de remessa ou etiqueta de embalagem, verificando a concordância com a encomenda. Circunscreve-se seguidamente o controlo particularizado a realizar para os diversos materiais.

1. Cimento

- a. Toma-se como prova do cumprimento dos requisitos especificados, um certificado de ensaio de fábrica para cada remessa de cimento.
- b. Inspeção visual em cada entrega, conferindo o aspecto do cimento (tonalidade) e garantindo que se apresenta seco, sem vestígios de humidade e isento de grânulos.
- c. Garantir que o cimento não estará ao alcance da acção da água ou humidade.
- d. Recolha semanal de amostras, para eventual realização de ensaios normalizados, sempre que existam suspeitas relativamente às suas características ou quando apareçam anomalias (fabrico ou resultado de ensaios) no betão que possam ter o cimento como origem.

2. Agregados

- a. Verificar se os agregados estão conforme o estabelecido na encomenda, e se a origem destes está correcta.
- b. Inspeção visual (por cada fornecimento) antes da descarga, relativamente à granulometria, forma dos agregados e presença de impurezas (cor, cheiro, etc.). Realização de ensaios normalizados para determinação de impurezas ou outras contaminações e análise granulométrica, em caso de dúvidas decorrentes da inspeção visual.
- c. Acautelar um armazenamento isolado dos agregados, com um espaçamento suficiente entre as diferentes pilhas/baias (evitar contaminação cruzada), e ainda garantir que são colocados em local limpo, sólido e bem drenado e sem contacto com o solo.

- d. Garantir a protecção dos agregados contra a contaminação de resíduos – arames, pontas de ferro, folhas de árvores, etc.
- e. Controlo do teor de humidade nos agregados, de modo a que este seja mantido o mais uniforme possível.

3. Adjuvantes e adições

- a. Verificação da conformidade com os requisitos definidos.
- b. Inspeção visual verificando a conformidade com a aparência normal.

4. Água não procedente de sistema de distribuição público

- a. Verificação frequente da composição química, conferindo a presença de substâncias nocivas que possam afectar de forma adversa, por exemplo a aderência entre os elementos.

5. Armadura passiva e activa

- a. Fiscalização visual da qualidade, aparência e quantidade de aço, analisando se está em conformidade com os requisitos.
- b. Retirar amostras para futuros ensaios.
- c. Garantir um armazenamento correcto e em local protegido (p.e.: evitar o armazenamento em locais húmidos ou locais desprotegidos da chuva, e evitar o contacto directo com o solo).

6. Moldes

- a. Verificação da conformidade com os requisitos definidos.
- b. Observação do estado do material constituinte do molde (admitiu-se metálico), conferindo que está isento de zincagem, pintura, alcatrão, óleo ou ferrugem solta.

7. Materiais diversos

- a. Verificação visual da conformidade com os requisitos definidos.

3.8. Considerações finais

Após as apreciações patentes neste capítulo, entende-se a contribuição que os materiais conferem à qualidade final da peça. Esta temática marca o início do sistema de produção, pretendendo evidenciar e examinar as operações de controlo na recepção, armazenamento e preparação dos materiais utilizados. A necessidade deste controlo liga-se à indispensabilidade da presença de materiais com qualidade, e em conformidade com os requisitos especificados. É nesta fase que, de uma escolha errada dos materiais, resultará naturalmente uma produção deficiente de peças,

justificando-se assim a pertinência em avaliar e controlar exaustivamente todas as suas características.

O capítulo seguinte será dedicado apenas ao fabrico de betão. Entendeu-se por bem reservar um capítulo para este tema, uma vez que este é o componente com maior peso nas estruturas pré-fabricadas, tornando-se imperativo que se manifeste isento de não conformidades, o que apenas é conseguido com um eficiente plano de monitorização e controlo.

4. Fabrico do Betão

4.1. Produção de betão nas indústrias de pré-fabricação

Pelo peso da função estrutural desempenhada pelo betão nos elementos pré-fabricados, entendeu-se por bem conceder um capítulo a este tema.

Acentuando o já referido neste estudo, regra geral para a obtenção de betão, estas indústrias optam por um fabrico em centrais próprias, de grande capacidade e sofisticação, existindo já um certo controlo deste processo, dado o recurso a vários dispositivos electrónicos. Estas centrais permitem produções de grandes quantidades de betão, havendo um doseamento controlado e uma maior garantia do correcto processo de mistura. Assim, este sistema permite não só uma optimização da quantidade de betão necessária, como também, um maior controlo das suas características.

Como já supracitado, o betão é produzido a partir da mistura de diversos componentes. Esta condição, aliada ao facto de se ter como objectivo principal a concepção de peças com o mínimo de não conformidades, estimula a importância de conhecer os materiais empregues no betão. A **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** pretende ilustrar de forma elementar, os materiais constituintes do betão.

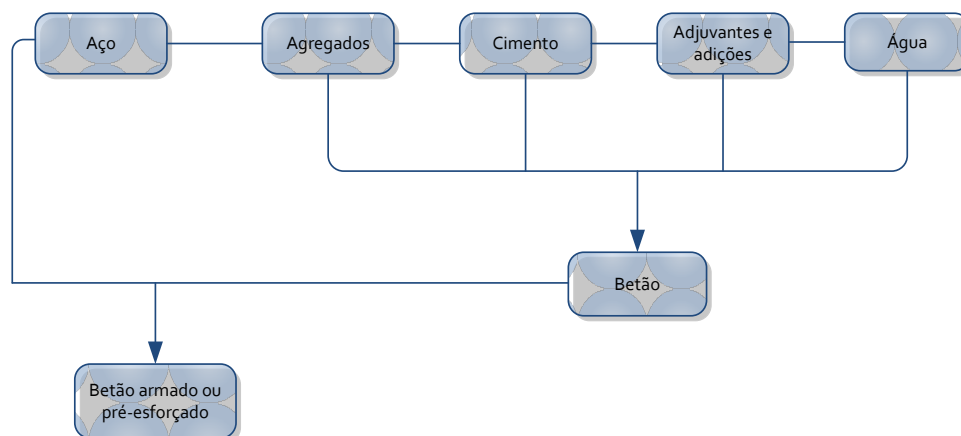


Figura 4.1 – Esquema elucidativo da constituição do betão.

Compreende-se naturalmente, que a deterioração do betão está intimamente relacionada com a escolha dos materiais e com o seu controlo antes da produção, pois materiais inadequados certamente irão desenvolver aspectos negativos no betão, comprometendo a sua qualidade.

Para o fabrico de um betão de qualidade e em simultâneo com uma escolha responsável de materiais, existe a influência especial de dois processos – a dosagem e a mistura do betão. É fundamental assegurar que estas operações sejam realizadas dentro das especificações definidas. Neste aspecto, o seu controlo será muito relevante, pois mesmo na presença dos materiais mais adequados, a realização não controlada destas operações irá originar muito provavelmente um betão de baixa qualidade e sem as propriedades pretendidas.

Habitualmente, as centrais de pré-fabricação têm já definidos programas de composições de betão específicas para cada tipo de utilização, de acordo com as resistências e características pretendidas para o produto final e respeitando o cumprimento da norma NP EN 206-1 2007.

Para que o betão possua as características indispensáveis a um bom comportamento em cada situação, devem ser especificadas as principais propriedades exigidas, de modo a que seja possível satisfazer a qualidade esperada.

Dito isto, na especificação do betão deverá constar:

- Classe de resistência à compressão, p.e.: C30/37;
- Classe de exposição ambiental seguida do código do país, p.e.: XC2 (P);
- Classe de cloretos, p.e.: CL0,40;
- Máxima dimensão do agregado mais grosso, p.e.: D22
- Classe de consistência, p.e.: S3, ou valor pretendido (incluindo, neste caso, o respectivo método de ensaio).

Exemplo: C30/37.XC2(P).CL0,40.D22.S3

A norma NP EN 13369:2010 indica que para produtos pré-fabricados armados ou pré-esforçados a classe de resistência mínima deve ser:

- C20/25 para peças armadas;
- C30/37 para peças pré-esforçadas.

Outro ponto interessante de referir está relacionado com o habitual esquema de produção. Nestas unidades é comum definir-se uma disposição em estrela, existindo a central de betão e desenvolvendo-se todo o *stock* de materiais em torno desta (Figura 4.2). O transporte dos materiais até à central é efectuado por diversos equipamentos, destacando-se as mangas, baldes mecanizados e elevadores de carga. Já o betão produzido é transportado em baldes com o auxílio de elementos mecanizados.

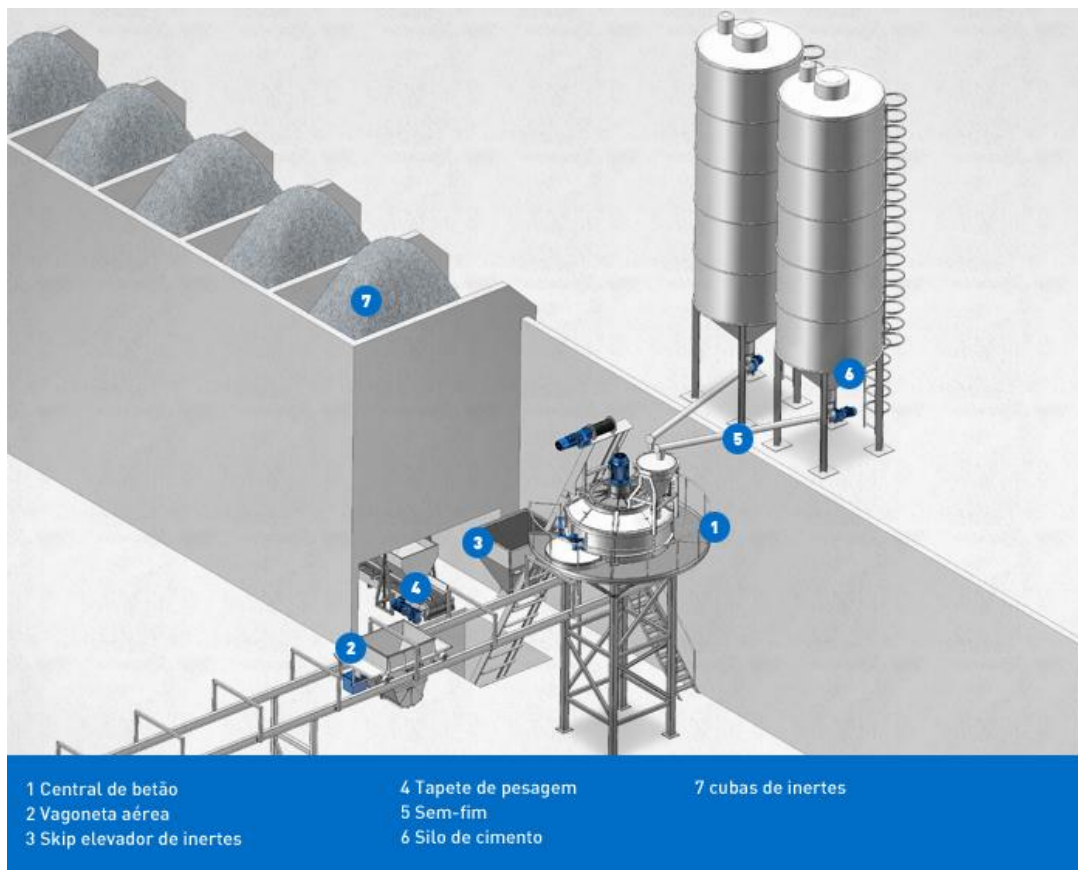


Figura 4.2 – Esquema de central de betão (ILMAR, 2011).

No que diz respeito a documentos normativos, a norma de referência é a NP EN 13369:2010, enunciando os aspectos ligados ao comportamento, produção, colocação e critérios de conformidade do betão. No entanto, importa referir que para esta temática do betão, a norma faz natural referência à NP EN 206-1:2007.

Ao longo deste capítulo será feita uma descrição às propriedades do betão que devem ser inspeccionadas/verificadas, enunciando também as medidas de controlo necessárias a essas verificações.

4.2. Dosagem do betão

As características de um betão, nomeadamente a resistência, trabalhabilidade e homogeneidade, dependem da proporção entre os diversos materiais que o constituem. Estas características são determinadas essencialmente pelo teor de cimento e pelo teor de água no betão – relação A/C. A dosagem destes dois componentes é muito importante para a obtenção da classe do betão desejada, sendo que em fábrica é feita de forma totalmente automática, proporcionando assim um melhor controlo desta actividade (Figura 4.3).



Figura 4.3 – Controlo automático do processo de dosagem e mistura.

Há muitos dispositivos disponíveis para controlar a água adicionada ao misturador, no entanto é comum observar a relação do consumo de energia da misturadora, percebendo-se que consumirá mais energia no início do processo, e apresente um consumo constante na existência de uma mistura homogénea, podendo esta situação ser vista como um controlo secundário. Interessa referir a importância da verificação visual desta condição (mistura homogénea) contando com a experiência do operador.

As misturas onde se verifica uma dosagem de cimento insuficiente apresentam-se pouco trabalháveis, com tendência a segregar, e possuem um acabamento difícil. Já as misturas com excesso de cimento evidenciam-se como muito coesivas, sendo mais difícil o processo de moldagem e compactação (COSTA & APPLINGTON, 2002).

No que diz respeito à dosagem dos agregados, essa temática foi já explicada em 3.2.2, enquanto que a dosagem de adjuvantes e adições é realizada recorrendo igualmente a dispositivos automatizados, partindo-se assim do princípio que respeita os valores definidos.

Em resumo, as fábricas de pré-fabricação devem estar equipadas de maneira a garantir uma correcta dosagem de cada componente do betão.

Relação Água/Cimento

Como referido, a relação água/cimento (A/C) é um dos principais parâmetros controlados no fabrico de betão, pois apresenta uma importante influência nas suas propriedades.

Antes de mais, importa referir que esta relação é determinada pela razão entre a dosagem de cimento e a dosagem efectiva de água (diferença entre a quantidade total de água presente no betão fresco e a quantidade de água absorvida pelos agregados).

Uma variação do valor desta relação provoca um impacto directo no betão. Quando é elevado, a pasta de cimento torna-se mais porosa e permeável, traduzindo-se num betão menos resistente e mais sensível à acção de agentes externos. Um valor muito reduzido irá dar origem a um betão com uma má trabalhabilidade.

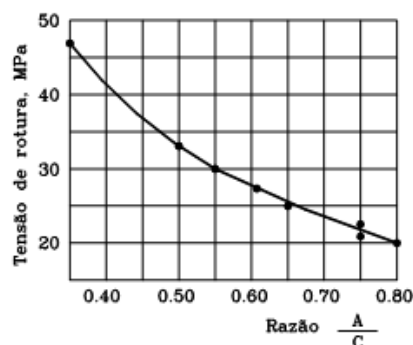


Figura 4.4 – Variação da tensão de rotura do betão com a relação A/C (COUTINHO & GONÇALVES, 1988).

Na Figura 4.4 está demonstrada a influência da relação A/C na resistência à compressão do betão (refira-se que esta é uma situação experimental, não tendo em conta a influência de todos os outros parâmetros). Da análise desta, percebe-se que esta relação ao ser duplicada provocará uma redução da resistência na ordem dos 50%. Com isto, para a obtenção de betões com elevada qualidade das características especificadas e com altas resistências torna-se imperativo limitar a relação A/C a valores baixos, obtendo-se a trabalhabilidade apropriada com a utilização de adjuvantes plastificantes/superplastificantes (COSTA & APPLINGTON, 2002).

Importa sublinhar (já expresso em 3.2.2) que terá de existir um ajuste das proporções da dosagem de forma a compensar o teor de humidade presente nos agregados. Note-se que a não consideração desta compensação poderá causar impactos sobre a trabalhabilidade e relação A/C da mistura.

4.3. Mistura do betão

É objectivo desta operação misturar todos os ingredientes do betão numa massa homogénea, sendo essencial que haja uma mistura eficiente de todos os materiais. Geralmente nas centrais de pré-fabricação a amassadura é realizada com recurso a betoneiras-misturadoras. Estas (Figura 4.5) possuem pás rotativas, que promovem a amassadura, produzindo um material muito homogéneo. Outro aspecto relevante destas misturadoras é a possibilidade de observação do material no decorrer do processo, o que facilita (se necessário) uma rectificação imediata da quantidade de água (por exemplo). Convém frisar as consequências positivas que uma inspecção e limpeza periódica deste equipamento terá na qualidade final da mistura.

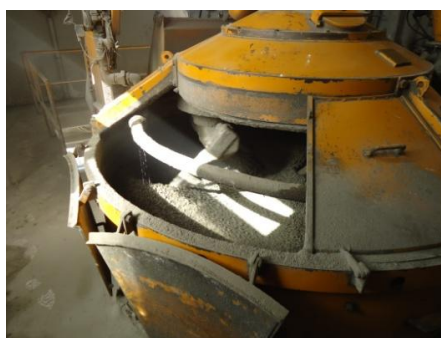


Figura 4.5 – Betoneira para mistura do betão.

Interessa salientar, que após o procedimento de mistura, a uniformidade do betão não deverá ser afectada pelo processo de descarga e transporte do mesmo (NEVILLE & BROOKS, 1997).

Tempo de amassadura

O tempo de amassadura na misturadora deverá ser o necessário e suficiente para garantir a homogeneidade do betão. Mesmo estando definido automaticamente, chama-se à atenção para a utilidade de uma verificação visual do estado da mistura por parte do operador da central.

Segregação e Exsudação

De uma forma geral a segregação é definida como sendo a separação dos componentes do betão fresco, de tal forma que este deixa de apresentar homogeneidade (Figura 4.6). Existem basicamente duas formas de segregação. A primeira, característica de betões mais secos, afirma-se pela separação dos materiais finos (para cima) e dos grossos (para baixo), devido principalmente à deficiente realização dos processos de mistura e dosagem, a operações de betonagem de altura excessiva ou por demasiada vibração. A segunda manifesta-se pela nítida separação da água e da leitada de cimento (para cima), sendo conhecida por exsudação (GOMES & PINTO, 2008/2009).

Pela análise do parágrafo anterior, percebe-se que a exsudação é uma forma particular de segregação, em que a água da mistura tende a elevar-se à superfície do betão recentemente lançado. Como resultado da exsudação, tem-se a manifestação de problemas, nomeadamente o enfraquecimento da aderência entre a pasta e os agregados, aumento da permeabilidade do betão, aparecimento de canais e fendas resultante do movimento da água, entre outros.



Figura 4.6 – Exemplo de segregação (FLORES, ALEIXO, COUTO, PENEDA, BRITO, & CORREIA, 2010).

Refira-se o facto de não existirem ensaios normalizados para medir a segregação. Dessa forma, a observação visual do betão no estado fresco é o método mais eficaz na avaliação da presença deste fenómeno. Quanto à exsudação, existe um ensaio normalizado pela ASTM C232 (*American Society for Testing and Materials*), a ser realizado em laboratório.

Da análise do anteriormente afirmado, entende-se que a segregação e a exsudação podem ser reduzidas através de um maior controlo dos processos de dosagem e mistura, bem como o correcto cumprimento dos métodos de betonagem e vibração.

Trabalhabilidade do betão

A trabalhabilidade adequada em cada situação de betonagem é fundamental para a obtenção de um produto final de qualidade. De acordo com (ACI 116R-90, 2000) a trabalhabilidade é a propriedade do betão que determina a facilidade com que o material pode ser misturado, lançado, compactado e acabado. Segundo (NEVILLE A. M., 1995) não existe um ensaio aceitável que determine directamente a trabalhabilidade do betão. No entanto, inúmeras tentativas têm sido feitas para se conseguir correlacionar a trabalhabilidade com alguma grandeza física de fácil determinação. Dos ensaios que indicam indirectamente a trabalhabilidade do betão, predomina o ensaio de abaixamento do cone de Abrams (*Slump Test*), que calcula a consistência do betão, relacionando-se assim com a sua trabalhabilidade. Este ensaio será descrito no ponto seguinte (4.4 Ensaio no betão).

4.4. Ensaio no betão

A realização de ensaios no betão é o principal instrumento que permite conferir a sua conformidade com os requisitos especificados. Considerando que a mecanização e a automatização das centrais asseguram uma produção uniforme de betão, deverão ser retirados provetes para posteriores ensaios, para cada peça a produzir.

Sendo visto como senso comum no desenvolvimento do betão, este passa por dois estados diferentes desde o seu fabrico até à etapa em que desempenha funções estruturais – estado fresco e estado endurecido, existindo, naturalmente, ensaios para estes dois estados.

Ensaio no betão – estado fresco

O betão no estado fresco é caracterizado por uma série de especificidades e propriedades. Para cada tipo de peça a produzir, o betão terá de apresentar determinadas características. A consistência é uma das propriedades especificadas em projecto que é controlada, e tal como já referido, é medida pelo ensaio de abaixamento do cone de Abrams (Figura 4.8). Apresenta-se como “S” na designação do tipo de betão (Figura 4.7).

Classe	Abaixamento [mm]
S1	10 a 40
S2	50 a 90
S3	100 a 150
S4	160 a 210
S5	≥ 220

Figura 4.7 – Classes de abaixamento (NP EN 206-1 2007, 2007).

Enumeram-se de seguida outros métodos de ensaio existentes para a determinação da consistência (NP EN 206-1:2007):

- Espalhamento – Mesa de espalhamento;
- Grau de compactabilidade;

- Graus Vêbê.

Visto ser o *Slump Test* o ensaio mais usual para a determinação da consistência do betão, faz-se seguidamente uma pequena descrição do mesmo.

Este ensaio mede a consistência e a fluidez do betão, permitindo que se verifique a uniformidade do mesmo. A sua principal função é fornecer uma simples metodologia de verificação do fabrico de um betão homogéneo. O abaixamento do cone é medido pela diferença entre a altura do molde e a altura do ponto mais alto do betão que abateu (Figura 4.8).

A obtenção de um betão com trabalhabilidade adequada, ao contrário do que se pode pensar, não depende unicamente da quantidade de água utilizada. Nem sempre o acréscimo de água na mistura leva a uma maior trabalhabilidade, podendo muitas vezes levar ao aparecimento de deformidades já descritas, tais como exsudação, segregação, ou simplesmente a um aumento do abatimento. A trabalhabilidade depende de uma selecção e doseamento adequado dos materiais e muitas vezes do uso de adjuvantes e adições.



Figura 4.8 – Ensaio de abaixamento do cone de Abrams (GOMES & PINTO, 2008/2009).

Uma propriedade intimamente ligada à trabalhabilidade é a coesão. A falta de coesão da mistura pode conduzir à desagregação do betão no estado fresco, alterando a sua composição física e a sua homogeneidade. O betão ideal é aquele que apresenta coesão e trabalhabilidade adequada. Pode avaliar-se a coesão do betão, batendo no final deste ensaio sobre a superfície lateral do provete (Figuras 4.9 e 4.10). Um betão com boa coesão abate gradualmente conservando a forma, ao contrário de um betão com coesão insuficiente, que fende, desagrega-se e abate de forma irregular.

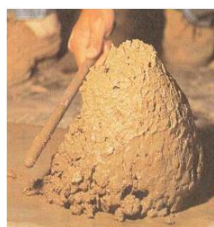


Figura 4.9 – Betão coeso. (HELENE & TERZIAN, 1993)

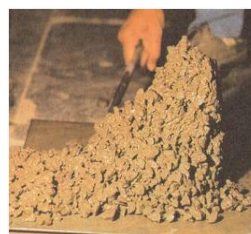


Figura 4.10 – Betão pouco coeso. (HELENE & TERZIAN, 1993)

Por último, entende-se que embora este ensaio apresente limitações, é devido à sua facilidade de realização, que se torna muito útil para o controlo de qualidade do betão no seu estado fresco.

Por outro lado, a medição da temperatura do betão fresco é outro dos ensaios que é efectivamente realizado. Este tem a finalidade de avaliar o cumprimento da temperatura mínima de 5 °C (NP EN 206-1 2007, 2007) ou o limite especificado, procedendo-se à sua realização de forma intervalada ao longo da produção diária de betão.

Verificou-se que para o betão no seu estado fresco, encontram-se referenciados na norma correspondente (NP EN 206-1 2007, 2007), o conjunto de inspecções e ensaios que podem ser efectuados (Quadro 4.1), no entanto, excluindo os ensaios atrás indicados, só em determinadas circunstâncias são realizados, sendo normalmente requisitados a laboratórios externos à fábrica.

Quadro 4.1 – Listagem de alguns dos ensaios e respectiva norma, a realizar no betão – estado fresco.

Ensaio	Norma
Amostragem	NP EN 12350-1
Abaixamento	NP EN 12350-2
Vêbê	NP EN 12350-3
Grau de compactabilidade	NP EN 12350-4
Mesa de espalhamento	NP EN 12350-5
Massa volúmica	NP EN 12350-6
Teor de ar	NP EN 12350-7

Ensaio no betão – estado endurecido

Naturalmente há também a necessidade de controlar as características do betão no seu estado endurecido, nomeadamente a sua capacidade de resistência à compressão (controlo que é realmente feito nestas unidades fabris).

Para a execução deste ensaio são usualmente utilizados provetes cúbicos (podem também ser utilizados provetes cilíndricos, no entanto, estes não são normalmente utilizados em Portugal) (Figura 4.11). O enchimento dos provetes deve ser feito com betão de diferentes amassaduras, obtendo-se assim provetes de diferentes zonas da peça.



a)

Figura 4.11 – Exemplo de recolha em provete cúbico (a) – GOMES & PINTO, 2008/2009).

Relativamente à cura dos provetes, esta pode ser executada de duas maneiras, existindo os que são curados nas mesmas condições dos elementos a que estão associados, e os provetes curados em ambiente controlado (Figura 4.12).



Figura 4.12 – Processo de cura dos provetes em ambiente controlado.

Os provetes curados junto às peças a que estão associados, são referentes aos elementos pré-esforçados, sendo a sua rotura à compressão usualmente efectuada cerca de 16h após o final da moldagem. Este ensaio efectua-se com o objectivo de avaliar o valor da tensão de rotura à compressão para libertar os cabos de pré-esforço, sendo isso possível, apenas quando o valor é de cerca de 30 MPa. Os provetes são ensaiados também aos 7 e 28 dias de idade.

Os provetes respeitantes às peças que não apresentam pré-esforço, são geralmente rebentados apenas aos 7 e 28 dias de idade.

Tal como para o estado fresco, encontram-se indicados no Quadro 4.2 outros dos possíveis ensaios a realizar no betão endurecido.

Quadro 4.2 – Listagem de alguns dos ensaios e respectiva norma, a realizar no betão – estado endurecido.

Ensaio	Norma
Resistência à flexão de provetes	NP EN 12390-5
Resistência à tracção por compressão diametral	NP EN 12390-6
Massa volúmica do betão endurecido	NP EN 12390-7
Profundidade de penetração da água sob pressão	NP EN 12390-8

4.5. Controlo de qualidade em fábrica

Antes de mais, importa frisar que num passado não muito distante, o controlo de qualidade do fabrico de betão era praticamente inexistente, executando-se quase exclusivamente um controlo da sua conformidade *a posteriori*. Existiam regras de qualidade para a produção do betão, mas nada estava quantificado, por exemplo, havia uma quase completa omissão no que se refere à periodicidade das inspecções e ensaios a efectuar (AGUIAR, 1996).

Com a concepção deste capítulo, entende-se que este processo deve então ser acompanhado e controlado de forma conveniente. A inspecção do fabrico de betão é parte essencial de um conjunto de controlos de qualidade que devem ser efectuados para que as peças possuam um nível de qualidade e conformidade elevado. A existência de um grande número de variáveis que podem alterar significativamente as suas características, justifica a preocupação do controlo deste processo, exigindo-se garantir o cumprimento das especificações impostas e esperadas pelo cliente.

Percebe-se deste modo as vantagens do controlo de qualidade do fabrico de betão, contudo, muitas vezes este conceito pode ser menosprezado, ignorando-se o facto de que, de um deficiente processo de fabrico irá resultar uma peça onde a probabilidade de presença de não conformidades será logicamente elevada.

Importa frisar que se os vários cuidados a aplicar nos processos subsequentes à fase de fabrico do betão – o transporte, a moldagem e compactação, as condições de cura nos primeiros dias – não forem realizados com importante sentido de responsabilidade, de nada servirá a atenção dedicada ao seu fabrico.

4.5.1. Controlo da dosagem do betão

A correcta dosagem do betão é algo indispensável para estabelecer uma produção de betão com qualidade. Por isso é fundamental assegurar que a fábrica estará equipada de modo a que seja possível obter uma dosagem uniforme dos materiais constituintes do betão, influenciando numa produção de betão com as proporções correctas. Usualmente, a dosagem dos materiais é completamente automatizada, conseguindo-se a definição deste processo com uma qualidade praticamente constante. No entanto, o betão deverá ser proporcionado por trabalhadores qualificados e cada dosagem deverá ser documentada.

Neste aspecto, o inspector de qualidade será responsável por:

- a. Verificação das composições registadas com a composição prevista (quantidades pesadas ou medidas em volume).
- b. Conferir o cumprimento da relação A/C especificada.
- c. Controlo contínuo do teor de humidade dos agregados, promovendo se necessário a rectificação da fórmula de dosagem.

4.5.2. Controlo da mistura do betão

Nas centrais de betão, a mistura para cada combinação de agregados, cimento, água, etc, será feita pela betoneira-misturadora. É essencial garantir uma mistura homogénea, verificando por exemplo a inexistência de fenómenos de segregação. Para tal, é importante realizar a inspecção visual da mistura, sendo feita pelo operador da central, preferencialmente um trabalhador qualificado e já com uma certa experiência.

É da responsabilidade do sector de controlo de qualidade garantir:

- a. Verificação visual por amassadura da consistência da mistura, certificando que esta é adequada e está em conformidade com a aparência normal, excluindo a presença de segregação, exsudação, etc.

- b. Medição da temperatura do betão fresco em caso de dúvida e/ou se for especificado, verificando a temperatura mínima de 5°C ou o limite definido.

4.6. Considerações finais

Visto como um capítulo de importância elevada, a definição de medidas de controlo no processo de fabrico de betão pretende garantir que este seja produzido com todas as especificações e características estabelecidas. O fabrico foi decomposto genericamente em dosagem e mistura do betão, estando estas operações na grande maioria dos casos, orientadas de forma automatizada, promovendo o seu controlo natural.

Com base no que foi apresentado, conclui-se que os principais factores que influem nas propriedades do betão no seu fabrico são:

- Materiais base (cimento, agregados, etc.);
- Exactidão da dosagem (principalmente da relação A/C);
- Procedimento de mistura.

Interessa sublinhar a reflexão de que não é complicado produzir um betão de qualidade, pois o betão de má qualidade também resulta da mistura de cimento, agregados e água. Isto é, os ingredientes de um mau betão são exactamente os mesmos de um bom betão e a diferença entre os dois está na existência ou não de um programa de controlo de qualidade eficaz.

Relativamente ao ensaios que podem ser efectuados no betão no seu estado fresco e endurecido, é usual aplicar apenas o *Slump Test* e a medição da temperatura do betão para o estado fresco, enquanto no estado endurecido apenas é comum a realização do ensaio de resistência à compressão de provetes cúbicos.

Desenvolvido este capítulo, o seguinte fará toda a explicação do processo de fabrico das peças, descrevendo e enumerando os cuidados e controlos que necessariamente terão de existir, para que no final se obtenha uma peça com as características esperadas.

5. Processo de fabrico das peças

5.1. Considerações iniciais

Pretendendo este trabalho ser uma base para a compreensão das operações de controlo de qualidade a realizar em todo o ciclo de pré-fabricação, são ao longo deste capítulo descritas em detalhe as etapas para o fabrico das peças, compreendendo desse modo a lógica de funcionamento deste processo.

Percebe-se que os custos de produção de pré-fabricados devem possibilitar a competição dos elementos no mercado. Este facto obriga a um maior investimento por parte dos fabricantes em linhas de produção mecanizadas, estimulando o aumento da produtividade, a redução do custo de mão-de-obra e o aumento da qualidade das peças produzidas. No entanto, por mais automatizado que o processo de fabrico seja, se não possuir um rigoroso programa de controlo de qualidade, vão sempre ocorrer falhas que se concretizam com o aparecimento de não conformidades no produto final.

Sintetizando, a fase de fabrico definida engloba várias actividades que vão desde o transporte dos materiais e do betão às linhas de produção, até ao armazenamento do produto final. Assim, este processo pode em linhas gerais ser subdividido em três fases:

1. Transporte dos materiais e betão às linhas de produção
2. Fabrico propriamente dito
 - 2.1. Preparação dos moldes;
 - 2.2. Preparação e colocação das armaduras;
 - 2.3. Moldagem e compactação do betão;
 - 2.4. Cura;
 - 2.5. Pré-esforço;
 - 2.6. Desmoldagem dos elementos.
3. Manuseamento, acabamentos, transporte interno e armazenamento das peças

De acordo com (NPCA, 2011), a distribuição física de uma central de pré-fabricação terá que proporcionar uma produção eficiente, segura e com o mínimo de estragos no produto final. Assim, a disposição desta deverá seguir as seguintes considerações gerais:

- Minimização das distâncias de transporte entre as centrais de betão e as linhas de produção;
- Providenciar um espaço de trabalho apropriado;

- Um local de armazenamento adequado para os diferentes materiais;
- Determinar uma zona destinada à inspecção e reparação das peças produzidas.

Entende-se a utilidade destas considerações, no entanto, devido às diferentes dimensões das fábricas e há ampla gama de produtos fabricados, não existe uma organização e distribuição *standard* ideais.

Com o objectivo de ter uma percepção mais objectiva deste processo, apresenta-se de seguida (Figura 5.1) um esquema geral da organização do ciclo de produção em centrais de pré-fabricação.

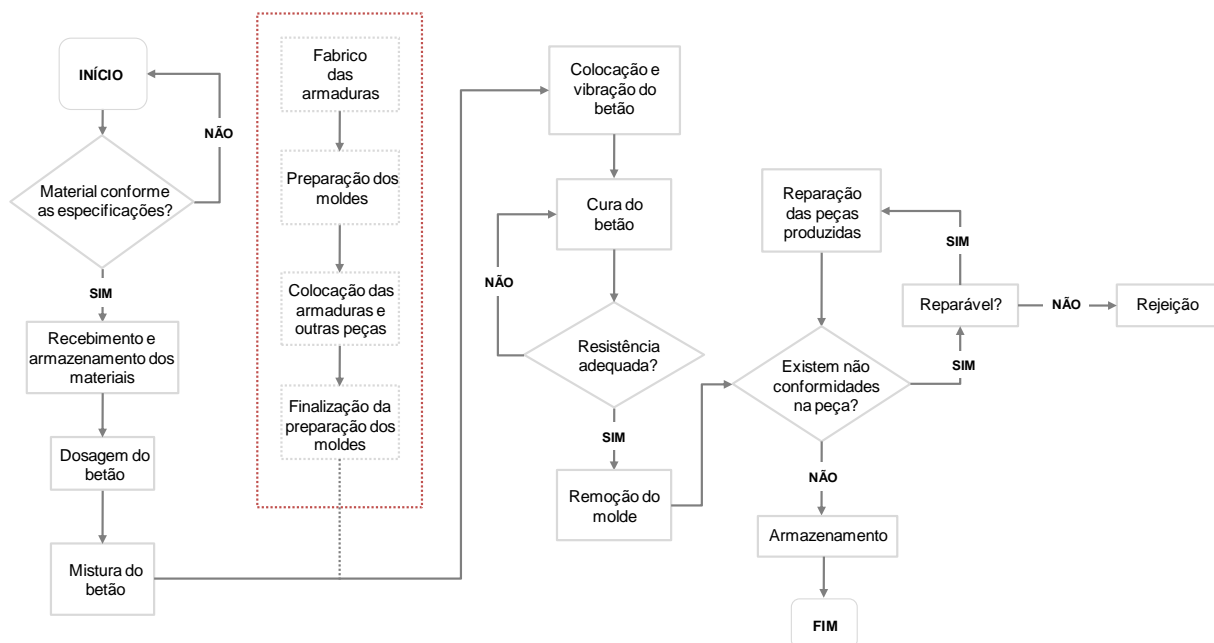


Figura 5.1 – Esquema geral do ciclo de produção em indústrias de pré-fabricados (Adaptado de MOREIRA, 2009).

Facilmente observa-se a complexidade do processo de fabrico, estando sob a influência de diversas variáveis, o que espelha a importância de uma cuidada planificação das instalações e controlos, possibilitando que todo o processo se desenvolva de forma encadeada.

Convém ainda salientar que no início do fabrico dos produtos é fundamental confirmar que determinadas informações são previamente fornecidas à linha de produção. De forma bastante sumária, indicam-se de seguida:

- Os desenhos terão que estar aprovados pelo departamento de projecto da central;
- Organização do local em que os elementos serão produzidos;
- Data/hora provável de moldagem das peças;
- Conformidade das especificações de todos os materiais a utilizar.

Juntamente com a apresentação do processo de fabrico, (LEVITT, 1982), expõe a importância da presença de pelo menos duas pessoas associadas à gestão directa dessa produção – operadores de controlo de qualidade. O cumprimento desta exigência possibilita que problemas que surjam a qualquer momento possam ser francamente minimizados, existindo decisões imediatas e precisas. Complementando essa equipa, devem existir engenheiros de manutenção com conhecimentos mecânicos/eléctricos, de forma a assegurar um bom funcionamento dos equipamentos utilizados no decorrer do processo. Consegue-se com isto a garantia de que a consistência e qualidade da produção são mantidas em todo o período de fabrico.

5.2. Transporte dos materiais e betão às linhas de produção

Actualmente, na maioria das centrais, o transporte de praticamente todos os materiais e do betão é feito recorrendo a equipamentos mecânicos.

Relativamente às armaduras passivas, estas são montadas em local próprio, sendo depois transportadas e colocadas nos moldes com o auxílio de gruas ou pórticos deslizantes. Relembra-se que as armaduras activas são transportadas em bobines, estando prontas a ser aplicadas nas peças.

No que diz respeito ao betão, é normalmente uma solução mecanizada que possibilita que este chegue rapidamente e de modo automático aos moldes. Espera-se que na maioria das unidades fabris, as centrais sejam definidas de forma a transportar o betão de forma contínua até ao local de trabalho, evitando períodos de espera. Na Figura 5.2 consegue-se observar o transporte de betão com o auxílio de um balde deslizante, que recebe o betão directamente da central e o transporta para a linha de produção, colocando-o depois num segundo balde, conduzido até à peça a moldar.



Figura 5.2 – Transporte mecanizado do betão desde a central até ao local de betonagem.

Quanto aos moldes, estes obviamente já se encontram na linha de produção, sendo verificada anteriormente a sua quantidade e disponibilidade.

5.3. Fabrico das peças

Acentuando a ideia expressa anteriormente, nas unidades de pré-fabricados a organização e divisão da fábrica deve possibilitar que a realização das operações possa ser consumada de forma produtiva, segura, e com o mínimo de danos no produto.

No planeamento do fabrico das peças é forçoso ter em conta as seguintes condicionantes gerais:

- I. Tipo de elemento a pré-fabricar – relativamente à sua configuração e geometria (linear ou não linear);
- II. Quantidade de elementos da série;
- III. Tipo de armadura – passiva ou passiva e activa.

A análise destas condicionantes decide o modo de fabrico a utilizar, onde em geral, e segundo o autor (DEBS, 2000), distinguem-se três modos: fabrico fixo ou estacionário, fabrico deslizante e fabrico móvel. Apresenta-se de seguida uma pequena descrição do fabrico fixo, visto ser este o modo empregue na definição dos elementos construtivos em foco nesta investigação.

- Fabrico Fixo ou Estacionário – caracteriza-se por ser em série, constituindo os moldes a própria mesa de fabrico. Assim a desmoldagem depende do tipo de produção seguida, onde usualmente existe o fabrico por elevação – as paredes laterais dos moldes são retiradas e a desmoldagem dos elementos é executada por elevação Figura 5.3.

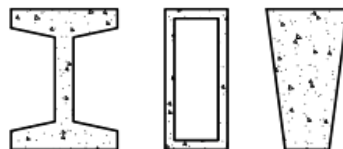


Figura 5.3 – Secções transversais correntes no fabrico fixo (DEBS, 2000).

5.3.1. Preparação dos moldes

Os moldes são um factor crítico no conceito de pré-fabricação. Esta situação relaciona-se com a sua capacidade de racionalização, a qual conduz a uma redução de custos face à solução tradicional, onde as cofragens têm um custo elevado no preço global de uma estrutura (LEVITT, 1982). Por outras palavras, a capacidade produtiva das fábricas apresenta uma elevada dependência da optimização de utilização dos moldes.

Para (IGLESIA, 2006), um molde pode ser considerado como o conjunto de componentes cujas funções principais são:

- Dar forma ao betão;

- Reter o betão até que este apresente a resistência suficiente para ser desmoldado;
- Proporcionar textura à superfície do betão.

A preparação dos moldes é logicamente executada antes da colocação das armaduras. São vários os aspectos a ser alvo de verificação, destacando-se a verificação de cotas (comprimento, largura, altura, negativos, etc). A sua superfície interior é tratada de maneira a que a aderência com o betão seja o mais reduzida possível. O referido tratamento pressupõe uma prévia limpeza superficial e posterior aplicação de um produto descofrante. O produto utilizado é o chamado óleo descofrante, sendo aplicado por meio de um pulverizador, resultando numa camada fina e uniforme. Chama-se à atenção para o facto deste produto não ser colocado em excesso, o que poderá provocar manchas ou perturbações no endurecimento da camada superficial do betão (Figura 5.4). Se tal acontecer, a situação deve ser corrigida antes da colocação das armaduras.

Por outro lado, a preparação dos moldes deve ser tal que garanta uma rigidez suficiente para suportar as vibrações no processo de moldagem e compactação, evitando que se deforme e possibilitando que as peças apresentem exactamente a forma projectada.



Figura 5.4 – Aplicação do tratamento com óleo descofrante.

No Capítulo 3 foram descritos e comparados (Quadro 3.4) os diversos tipos de moldes empregues nas unidades de pré-fabricação. No entanto, hoje em dia na larga maioria das centrais de pré-fabricação dá-se uma normal preferência ao moldes metálicos, visto apresentarem um melhor comportamento na maioria das exigências estabelecidas. Os moldes de madeira são usualmente utilizados na fabricação de peças com geometria complexa, dadas as limitações que os moldes metálicos apresentam nesse aspecto.

5.3.2. Preparação e colocação de armaduras passivas e activas

Os trabalhos de preparação e colocação de armaduras são basicamente os mesmos das estruturas de betão tradicionais. No entanto, nas centrais a produção em série e as maiores facilidades de preparação das armaduras em local apropriado, possibilitam uma elevada racionalização desta operação.

Para elementos pequenos, a preparação de armaduras passivas é normalmente inicializada e finalizada junto à área de corte, dobragem do aço (Figura 5.5), sendo posteriormente colocada nos moldes. Para (DEBS, 2000), neste caso terão de existir precauções no armazenamento e manuseio das armaduras, para que não exista a modificação das suas características, o que comprometeria a sua correcta colocação no molde. No caso de elementos de grande porte, a preparação das armaduras é iniciada junto à sua área de corte e dobragem, sendo depois transportadas por meio de guas ou pórticos deslizantes, para próximo do molde a utilizar (Figura 5.6) onde são finalizadas e colocadas no seu interior.



Figura 5.5 – Área de corte e dobragem das armaduras.



Figura 5.6 – Finalização da preparação da armadura junto ao molde.

Outro aspecto relevante tem a ver com a necessidade de acautelar um recobrimento apropriado do betão, de forma a proteger o aço contra a corrosão e promover uma aderência estrutural adequada entre estes dois materiais. Assim, as armaduras serão colocadas no molde com os respectivos espaçadores/distanciadores, defendendo essa condição.

Destaca-se que devem ser tomadas medidas categóricas para se garantir a inexistência de movimentações significativas das armaduras da posição especificada em projecto, durante todo processo de moldagem e compactação.

Relativamente às armaduras activas, a preparação passa pelo corte dos cordões a incorporar na respectiva peça e posterior colocação, visando os mesmos cuidados tidos para as armaduras passivas. Refira-se que aquando da colocação das armaduras activas, as armaduras passivas já se encontram colocadas no molde.

5.3.3. Moldagem e compactação do betão

É nesta etapa que o elemento pré-fabricado começa a ganhar forma. Torna-se por isso importante que seja realizada de maneira responsável e cuidadosa. A betonagem dos moldes deve ser contínua e deve garantir que o betão atinje todas as partes do molde, evitando revibração e juntas de betonagem. O processo de vibração pode recorrer a vibradores de imersão, de superfície, exteriores ou mesas vibradoras. No entanto, a vibração exterior (aplicada no molde) conjugada com a de superfície (agulhas) é o processo mais utilizado. A correcta realização desta operação irá evitar a formação de diversas anomalias, entre as quais, a formação de ninhos de brita e de bolhas de pele.

Na Figura 5.7 está evidenciado o processo de moldagem e compactação de uma viga. O betão é lançado de um balde, que o distribuí ao longo do molde. Este balde encontra-se provido de uma boca cuja abertura é accionada manualmente pelo trabalhador encarregue dessa função.

Simultaneamente à colocação do betão, existe a vibração do molde, recorrendo a um sistema de vibração exterior, funcionando a ar comprimido (detalhe evidenciado na Figura 5.7).



Figura 5.7 – Processo de moldagem de uma viga.

Previamente e no decurso desta operação, torna-se inevitável a adopção de determinadas medidas de prevenção e planeamento. São medidas que promovem uma maior eficácia e eficiência desta etapa, não sendo demais enunciá-las:

- Elaboração do plano de betonagem, definindo equipamentos e modos de operação;
- Programação dos trabalhos de montagem das armaduras;
- Garantia de estabilização das armaduras;
- Assegurar uma distribuição homogénea do betão.

5.3.4. Cura do betão

A cura do betão determina o conjunto de medidas que tem como finalidade evitar a evaporação prematura da água da peça, necessária para a hidratação do cimento, reacção responsável pela presa e endurecimento do betão. Segundo (HARTAMNN, 2005), para garantir as reacções de hidratação do cimento e retardar a retracção do betão, a cura deve ser iniciada duas a três horas após a colocação deste. Assim, curar o betão significa proporcionar o ambiente e tempo ideal para uma hidratação adequada.

O procedimento de cura pode ser separado em duas etapas: a cura inicial, feita após a colocação do betão, prolongando-se até ao início da presa, e a cura complementar, que se inicia após a presa do betão. Esta pode ser normal (temperatura ambiente), ou acelerada por tratamento térmico.

Segundo a norma (NP EN 13369 2010, 2010), todas as superfícies de betão devem ser protegidas contra a desidratação inicial utilizando um dos métodos enunciados no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 - Protecção contra a desidratação (Adaptado de NP EN 13369 2010, Abril 2010).

Método	Procedimento tipo
A - Sem adição de água	Manter o betão num ambiente com uma humidade relativa superior a 75%;
	Não retirar o molde;
	Cobrir as superfícies de betão com membranas de baixa permeabilidade ao vapor.
B - Adição de água	Manter coberturas húmidas na superfície do betão;
	Manter a superfície do betão visivelmente húmida por pulverização de água;
	Molhar a superfície de betão com água.

Como a maioria das reacções químicas, a hidratação desenvolve-se de forma mais rápida na presença de temperaturas elevadas do que de temperaturas baixas. Portanto, a temperatura torna-se um factor fundamental no processo de cura, acelerando o endurecimento do betão.

Neste estudo, importa desenvolver a questão relacionada com a aceleração artificial da cura do betão por tratamento térmico, visto ser prática corrente nestas unidades (especialmente no inverno), dada a necessidade do rápido manuseamento dos elementos. (LEVITT, 1982) indica também que a velocidade da reacção de hidratação é essencialmente função da temperatura inicial do sistema e do procedimento de cura. A hidratação é acompanhada por reacções exotérmicas, assim o betão tende a aquecer enquanto a hidratação progride. Dito isto, um betão sujeito a temperaturas elevadas ganha resistência rapidamente, podendo ser manuseado dentro de poucas horas, sendo esta a finalidade da solução de cura térmica – conseguir obter uma alta resistência inicial no betão. Dados experimentais mostram que embora exista uma diminuição (não muito significativa) de resistência à compressão em ensaios de cubo aos 28 dias de idade, resultante dos processos de cura acelerada, aos 3-6 meses de idade a resistência é equivalente à de cubos de betão sujeitos ao processo de cura normal (LEVITT, 1982).

No entanto, para evitar eventuais danos nas peças, tais como microfissuras, deve-se seguir um ciclo de cura (Figura 5.8) tendo em atenção os seguintes períodos:

T_1 Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$).

T_2 Temperatura máxima atingida no ciclo ($^{\circ}\text{C}$) - Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Exemplo de condições para aceleração da cura (Adaptado NP EN 13369 2010, 2010).

Ambiente dos produtos	Valor médio das temperaturas máximas do betão [T_2]
Predominantemente seco ou moderadamente húmido	$T_2 \leq 85^{\circ}\text{C}$
Húmido e em ciclos de humidade	$T_2 \leq 65^{\circ}\text{C}$

t_0 Período de espera. Período de espera entre o fim da betonagem e o início da aplicação do tratamento térmico.

- t_1 Período de aumento controlado da temperatura.
- t_2 Período de manutenção da temperatura. Regime isotérmico até que se atinja a resistência desejada.
- t_3 Período de arrefecimento. Diminuição controlada da temperatura das peças até à temperatura ambiente.
- G1 e G2 Gradiente de aquecimento e arrefecimento, com uma elevação/redução controlada da temperatura.

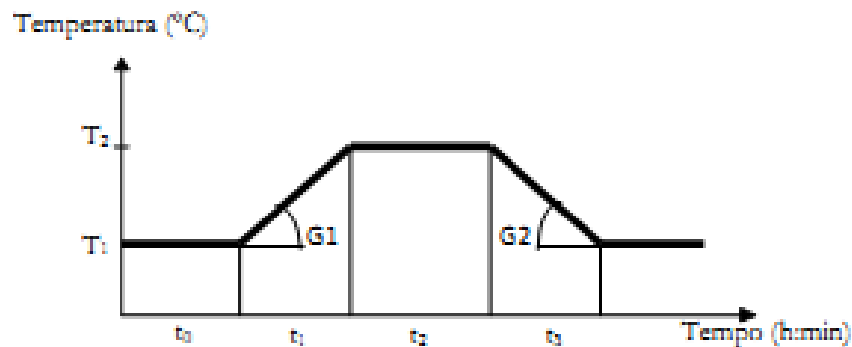


Figura 5.8 – Ciclo de cura por tratamento térmico (CAMARINI, 1995).

No caso de uma produção em fábrica (produção permanente) o tratamento térmico aplicado ao betão passa usualmente pelo aquecimento do molde, recorrendo a tubos anexos a este, por onde circula água a temperaturas elevadas. É também usual o pré-aquecimento do molde, antes da colocação do betão, contudo, tem que existir um controlo da temperatura da água na caldeira, garantindo que a temperatura do betão não excede os 60 °C, podendo a peça, caso tal se verifique, perder capacidade estrutural.

No entanto, hoje em dia, e por aspectos meramente económicos, têm-se verificado um uso cada vez maior de determinados adjuvantes aceleradores de presa em situações de produção não permanente (p.e.: pré-fabricação junto ao local da obra, em estaleiro ambulante criado para o efeito). Estes adjuvantes conferem uma elevada rentabilidade ao processo.

5.3.5. Aplicação do pré-esforço

Para a aplicação do pré-esforço existem duas técnicas distintas. A primeira – pré-tensionamento – consiste em tensionar os cabos de pré-esforço antes da colocação do betão. A transmissão de tensões aço-betão faz-se essencialmente por aderência betão-cabo. É de acordo com (DEBS, 2000) a técnica utilizada na maior parte dos elementos pré-fabricados. (Figura 5.9). A segunda alternativa – pós-tensionamento – consiste na aplicação do pré-esforço na peça já betonada, e quando esta apresenta uma determinada resistência. A transmissão de tensões é feita à custa de

elementos intermédios (ancoragens) ficando a armadura de pré-esforço mergulhada em bainhas onde será posteriormente injectada calda de cimento (Figura 5.10).

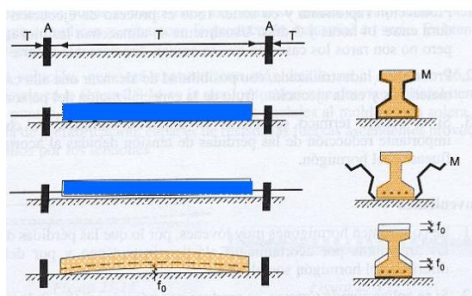


Figura 5.9 – Pré-tensão (VSL, 2010).

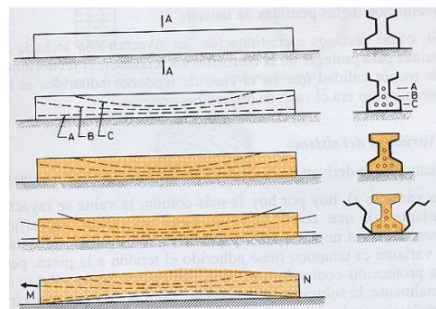


Figura 5.10 – Pós-tensão (VSL, 2010).

Tal como referido, a pré-tensão é a técnica de pré-esforço mais utilizada na produção de pré-fabricados, e a sua execução é feita recorrendo a macacos hidráulicos de acordo com as características das máquinas disponíveis e do aço. A libertação do pré-esforço processa-se depois de se ter verificado uma resistência mínima do betão – normalmente cerca de 30 MPa – o que ocorre geralmente cerca de 16h após o processo de moldagem. São também medidos e registados os alongamentos de cada cordão, dados pela diferença de comprimentos medidos em relação ao mesmo ponto fixo entre a leitura a aproximadamente 50% da tensão (primeiro puxe) e a leitura final a 100% da mesma (puxe final). Sublinha-se que o cordão deve estar limpo e isento de óleo ou outros produtos que possam prejudicar a aderência entre o aço e o betão.

Convém salientar o conceito de aderência, sendo necessário distingui-lo entre as armaduras pós-tensionadas e as armaduras pré-tensionadas, dado que estes dois tipos de armadura diferem significativamente na forma como transferem o pré-esforço para o betão. Nas armaduras pré-tensionadas, a eficiência do pré-esforço depende da aderência entre o betão e a armadura. Nas armaduras pós-tensionadas, a transferência do pré-esforço para o betão faz-se nos dispositivos de ancoragem tendo assim a aderência um papel menos importante.

5.3.6. Desmoldagem dos elementos

Tipicamente nas fábricas de pré-fabricados observa-se um ciclo de produção de peças de 24h, dividido de forma simplista em 12h para fabrico da peça e 12h para que esta endureça ao ponto de ser realizável a operação de desmoldagem (Figura 5.11). Regra geral, esta operação passa pelo alívio da peça por abertura lateral do molde, seguido da sua elevação. Em determinadas circunstâncias, pode ser necessário provocar uma pequena vibração ao molde para que seja possível o “desligar” da peça e conseqüente içamento. Convém frisar que as peças são suspensas por equipamentos de elevação apropriados, unindo-se aos acessórios de elevação localizados nas peças, em pontos definidos em projecto (optou-se por descrever estes acessórios de elevação em 5.4).

De acordo com (NPCA, 2011), não é viável libertar as peças dos moldes até que o betão apresente uma resistência mínima prevista em projecto. Percebe-se facilmente que as peças terão que manifestar um determinado nível de resistência no momento em que são desmoldadas, para assim evitar a ocorrência de deformações excessivas, fissuração, entre outras condições que põem em causa o seu comportamento futuro.

Nas peças pré-esforçadas a desmoldagem ocorre após a libertação do pré-esforço, para a qual o betão deve apresentar uma resistência mínima (± 30 MPa).



Figura 5.11 – Exemplo de uma viga a ser desmoldada (SOVEPER).

Importa ressaltar que para (LEVITT, 1982), é possível desmoldar uma peça entre 3 a 48 horas depois de concluída a betonagem, dependendo do tipo de unidade produzida e de outras condições, nomeadamente do tipo de adjuvantes aceleradores de presa que sejam utilizados.

5.4. Manuseamento e transporte em fábrica

Depois de desmoldadas, as peças são enviadas para o local destinado à realização dos acabamentos e verificação das suas características geométricas.

Para o seu manuseamento e transporte, as peças são erguidas pelos acessórios de elevação nela inseridos, estando a integridade física em princípio assegurada. Os acessórios de elevação são os aparelhos inseridos na peça que promovem a interligação entre estas e o equipamento de elevação (Figura 5.12). Estes acessórios são assim os responsáveis pela união segura entre o equipamento de levantamento e a peça.

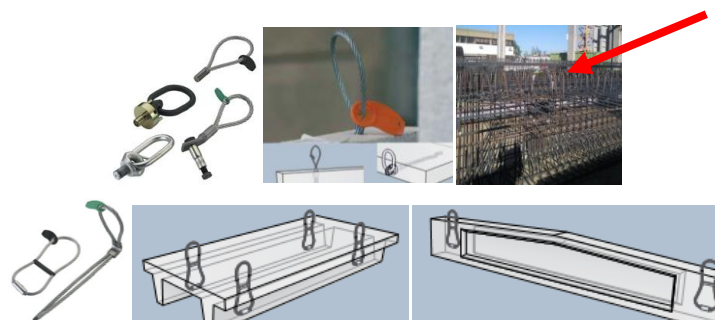


Figura 5.12 – Exemplo de acessórios de elevação (Sistemas de transporte e de montagem para a indústria de pré-fabricados em betão).

Referido por (DEBS, 2000), os equipamentos mais utilizados no manuseamento e transporte em fábrica são pontes e pórticos rolantes (Figuras 5.13 e 5.14).



Figura 5.13 – Ponte rolante.



Figura 5.14 – Pórtico rolante.

5.5. Produto final

Finalizado o fabrico das peças e antes de estarem autorizadas a ser armazenadas, estas são sujeitas a uma inspeção do seu estado geral. Trata-se de uma operação indispensável, analisando o cumprimento dos requisitos definidos pelo cliente. As peças que estejam em conformidade com o projecto e ausentes de danos/anomalias são aprovadas para armazenamento, enquanto as peças que nesta fase apresentem não conformidades são analisadas verificando a possibilidade ou não da sua reparação, podendo mesmo ser rejeitada e conseqüentemente excluída.

Tal como indicado, os elementos são levados para o local específico de realização desta inspeção, onde todas as peças devem ser controladas quanto às suas dimensões (comprimento, altura, espessura, alinhamento longitudinal, etc.) e relativamente ao acabamento da sua superfície. Interessa referir que deve também existir o controlo da espessura de recobrimento das armaduras.

O tratamento na superfície das peças visa a uniformização da sua aparência, eliminando a possível presença de particularidades superficiais indesejáveis (Figura 5.15).

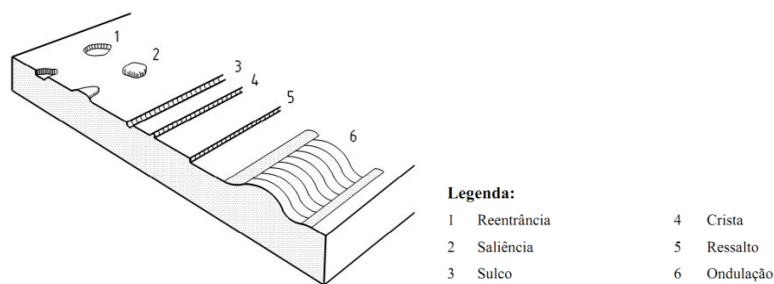


Figura 5.15 – Particularidades superficiais indesejáveis (NP EN 13369 2010, 2010).

As peças pré-esforçadas para aplicação em obras de arte são um exemplo concreto de peças sujeitas a estes tratamentos. É normalmente aplicado um barramento uniforme à base de argamassa fina, tratando situações pontuais de pequenas anomalias, sendo a rectificação vista caso a caso

(fissuras, bolhas de pele, fracturas). As restantes peças são submetidas a tratamento de acabamento, ou não, dependendo do estado da superfície, tipo de peça e aplicação em obra.

Importará analisar as causas para o aparecimento destas anomalias, pois a sua presença resulta de falhas em operações precedentes. Assim, segundo um estudo de (MOREIRA, 2009), resumem-se as causas prováveis para as anomalias mais frequentes nas unidades de pré-fabricados:

Manchas

- Excesso de água no processo de dosagem do betão;
- Elevado teor de argila nas areias, provocando manchas pontuais de cor castanha;
- Tipo de óleo descofrante utilizado.

Bolhas de pele

- Excesso de quantidade de água no betão;
- Deficiente processo de compactação do betão (pouco tempo de vibração);
- Tipo de óleo descofrante utilizado.

Ninhos de brita

- Deficiente processo de moldagem e compactação;
- Falta de estanqueidade dos moldes e consequente vazamento do betão.

Fendilhação

Usualmente presente nas estruturas de betão, incluindo naturalmente nos produtos resultantes da pré-fabricação, esta manifestação patológica não é obrigatoriamente um indicativo de anomalia no betão. A composição do betão, aliada à sua fraca resistência à tracção, torna a existência de fendilhação nas estruturas de betão praticamente inevitável.

As causas mais prováveis são:

- Protecção insuficiente contra a acção da intempérie logo após a betonagem das peças (p.e.: vento);
- Deficiente processo de cura do elemento;
- Quanto maior a quantidade de água colocada no processo de dosagem do betão, maiores são as probabilidades de se ter retracção.

Fracturas

- Colocação deficiente de óleo descofrante, provocando dificuldades na remoção da peça;
- Óleo descofrante incompatível com o tipo de molde;
- Desmoldagem prematura da peça.

As anomalias que não influenciam negativamente o uso ou a vida útil da peça são consideradas irrelevantes ou cosméticas, e podem ser reparadas por qualquer método que não prejudique a peça. Entende-se que a reparação de anomalias ditas irrelevantes não é propriamente fundamental do ponto de vista estrutural, pois na ausência destas reparações o produto continuará a oferecer o comportamento estrutural previsto. Relativamente às anomalias que prejudiquem a integridade estrutural da peça, são apontadas logicamente como relevantes. A menos que estas sejam corrigidas, a peça terá forçosamente que ser rejeitada.

Caberá aos técnicos responsáveis pelo controlo de qualidade, classificar as anomalias como relevantes ou irrelevantes, determinando se a sua reparação é exequível. Para isso têm naturalmente de estar familiarizados com a função que a peça irá desempenhar e com o tipo de ambiente em que ficará inserida. Refira-se que o aparecimento nas peças de defeitos recorrentes com dimensão elevada, requer uma acção decisiva e imediata por parte destes responsáveis.

Aos produtos de dimensão relativamente pequena, a presença de defeitos de grande extensão, origina geralmente a sua rejeição; enquanto os defeitos de elevada amplitude em peças de maiores dimensões têm normalmente um tratamento demorado e dispendioso, provocando em muitos casos perturbações no funcionamento regular da fábrica. De mencionar que as peças que venham a ser reparadas serão forçosamente sujeitas a uma nova inspecção.

Pensa-se não ser demais sublinhar que nesta fase o operador de qualidade interpreta um papel importante, sendo da sua responsabilidade a aprovação ou não para o armazenamento do produto acabado.

5.6. Armazenamento das peças

Para a conclusão do fabrico das peças existe a necessidade de estabelecer o parqueamento das mesmas antes do envio para o cliente. Para o seu armazenamento os elementos são dispostos em local destinado a esse efeito, com o auxílio de equipamento mecânico e meios adequados ao peso da peça e ao tipo de acessório de elevação existente. As peças são parqueadas em terreno necessariamente firme, utilizando sulipas de betão ou madeira em bom estado, de modo a impedir o contacto directo com o solo ou com qualquer outra substância contaminante, minimizando desta forma um eventual aparecimento de anomalias (p.e.: manchas nas peças). A etapa de armazenamento é muitas vezes depreciada, no entanto, terá que ser tida como crucial, visando a garantia da estabilidade do pré-fabricado de forma a impedir o seu empenamento e aparecimento de esforços para os quais a peça não tem capacidade de absorver. Pretende-se deste modo minimizar

essencialmente o risco de fendilhação excessiva da peça. Assim, ao serem empilhadas, devem ser colocadas sulipas entre as peças, de forma espaçada e em local definido em projecto (normalmente na direcção dos pontos de elevação das peças) (Figura 5.16), tornando-se relevante promover a verticalidade longitudinal (eixo das peças) e transversal (eixo dos apoios), dos elementos.

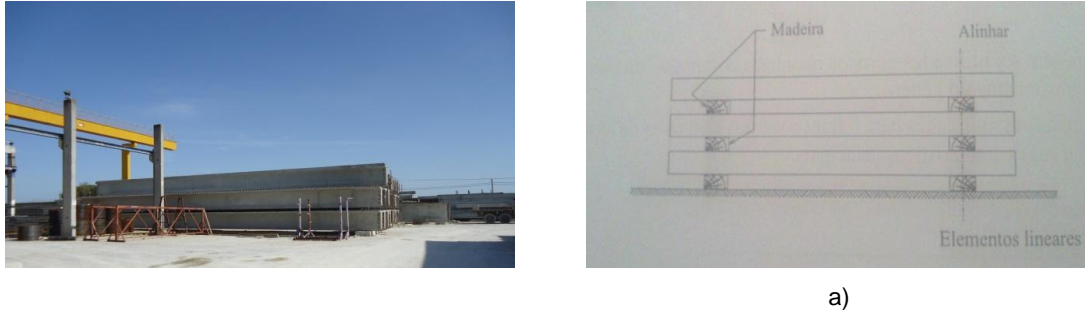


Figura 5.16 – Correcto armazenamento das peças acabadas (a) – DEBS, 2000).

Por outro lado, é importante promover a protecção dos esquinas, visto serem pontos críticos à ocorrência de impactos.

O armazenamento das peças dá-se habitualmente por períodos de tempo curtos, normalmente o suficiente para o ganho de resistência do betão permitir o seu transporte final para o cliente. Note-se que em média, o processo de fabrico da peça desde o seu início até ao envio para obra tem a duração de 7 dias.

Em suma, percebe-se o inconveniente de menosprezar a fase de armazenamento numa fábrica de pré-fabricados, sendo claro que um bom planeamento desta etapa trará benefícios para o fornecimento das peças no estado, ordem e tempo desejados.

5.7. Controlo de qualidade em fábrica

O controlo de qualidade de todas as etapas relativas ao processo de fabrico das peças deve ser executado de maneira a garantir o seu bom funcionamento e cumprimento das especificações expressas em projecto.

Devido ao elevado número de actividades e à elevada participação humana, este é obviamente o processo crucial do ciclo de pré-fabricação, sendo imperativo avaliar a sua organização e controlar as suas actividades, tendo em vista a prevenção de situações indesejáveis. Tem-se como objectivo principal a máxima diminuição e investigação de não conformidades e a implementação de acções correctivas e preventivas aquando da sua presença.

Dito isto, expressa-se seguidamente as medidas de controlo de qualidade sugeridas para as diversas actividades constituintes deste processo.

5.7.1. Controlo da preparação dos moldes

O controlo da preparação dos moldes é visto com uma importância elevada visto estes apresentarem diversos factores que influem na qualidade final das peças. Esta influência, ao contrário do que se pode pensar, não está apenas ligada à qualidade estética da peça, mas também à sua qualidade estrutural. A debelação dos possíveis problemas inerentes a uma ineficaz verificação dos moldes é contrariada por diversas condições que o inspector de qualidade terá que orientar. Assim é fundamental assegurar:

- a. Uma verificação visual do estado global do molde.
- b. O alinhamento, estabilidade e rigidez do molde, antes e durante a operação de betonagem.
- c. A estanqueidade do molde, não existindo qualquer possibilidade de ocorrer vazamentos.
- d. A verificação de cotas – comprimento, largura e altura.
- e. A limpeza do molde, garantindo a inexistência de resíduos que se irão reflectir no produto final.
- f. A correcta aplicação do produto descofrante (óleo descofrante).

5.7.2. Controlo da preparação e colocação das armaduras passivas e activas

O objectivo deste controlo está fundamentalmente relacionado com a garantia do bom estado das armaduras passivas e activas e da sua correcta execução e montagem, estando de acordo com o projecto e cumprindo a implantação definida no mesmo. É então necessário:

- a. Garantir o bom estado das armaduras, não ostentando qualquer material nocivo, tais como óleo, tinta e ferrugem em excesso.
- b. Verificar se a classe e o tamanho das armaduras está de acordo com o estabelecido no projecto.
- c. Verificar se a preparação das armaduras não originou torções, dobras, cortes, ou outros defeitos visíveis que ponham em causa o comportamento futuro deste material.
- d. Assegurar que as armaduras são posicionadas conforme o indicado em projecto e que não apresentam a possibilidade de deslizarem, antes e durante o processo de moldagem.
- e. Garantir que as armaduras estão providas de distanciadores em número e posição estabelecidos, de forma a determinar o recobrimento especificado.

- f. Conferir o número de cordões de pré-esforço com os indicados no desenho de produção, bem como as cotas definidas.
- g. Inspeccionar a colocação dos cordões em linha recta e horizontal e com o comprimento adequado à aplicação do pré-esforço.

5.7.3. Controlo da moldagem e compactação do betão

Referidas e estudadas em 5.3.3, e pelo facto de serem realizadas praticamente de forma simultânea, é perfeitamente válido que se efectue um controlo conjunto destas operações. Compreendendo a ideia desenvolvida neste estudo de que todas as etapas ao longo do ciclo de pré-fabricação terão influência na qualidade final da peça, sublinha-se que a existência de falhas nestas duas operações irão ser particularmente sentidas nas características e qualidade finais da peça. Deste modo, é função do inspector de qualidade:

- a. Determinar um local de betonagem adequado e ordenado à sua execução.
- b. Garantir um método correcto e homogéneo de colocação do betão (betonagem contínua), promovendo a sua descarga de uma altura não muito elevada de maneira a que este permaneça consistente e que assim resulte uma superfície final uniforme.
- c. Assegurar igualmente que, durante a colocação do betão, não existe a perturbação ou afastamento de qualquer item incorporado no molde.
- d. Confirmar que a compactação é efectuada conforme os parâmetros estabelecidos (controlo do tempo de vibração), removendo bolhas de ar e distribuindo uniformemente o betão.

5.7.4. Controlo da cura do betão

Nas unidades de pré-fabricação é necessário que se verifique uma elevada velocidade de produção das peças. Um sistema de cura eficiente contribui de forma significativa para que tal aconteça. Este terá forçosamente que promover a eficaz hidratação da peça, diminuindo a ocorrência do fenómeno de retracção do betão, que motiva o surgimento de fissuras e que por sua vez poderá determinar uma eventual diminuição da durabilidade da estrutura e até mesmo a rejeição da peça.

Com a finalidade de otimizar todo o processo de fabrico, entende-se a necessidade de abreviar a etapa de cura do betão. Deste modo, é comum desenvolver-se o processo de cura por tratamento térmico. O propósito deste método relaciona-se com a antecipação do ganho de resistência inicial do betão, dado que o aumento da temperatura estimula as reacções de hidratação do cimento, permitindo assim que a operação de desmoldagem das peças se realize mais cedo.

Em análise do que foi dito, percebe-se que um processo de cura com recurso a tratamento térmico apresenta não só a vantagem de diminuir o tempo necessário para fabrico dos elementos, como também reduz a quantidade de moldes necessários em stock, fomentando um aumento da

produtividade associado a uma redução de custos do produto final. Assim, o responsável pelo controlo de qualidade terá de verificar as seguintes condições:

- a. Certificar que é realizada uma cura apropriada do betão, controlando a perda de humidade, particularmente durante o início do processo de hidratação.
- b. Controlar o tempo de cura da peça.
- c. No caso de cura por tratamento térmico, assegurar uma aplicação adequada de tratamentos térmicos, efectuando um aumento e diminuição da temperatura de forma gradual (controlo das variações significativas de temperatura no elemento) e garantindo que a temperatura do betão não excede os 60 °C.

5.7.5. Controlo da aplicação do pré-esforço

Do ponto de vista do controlo desta operação, apresenta um papel principal a medição do alongamento sofrido pelos cordões relativamente a um comprimento de referência anteriormente delimitado em cada cordão. Este controlo baseia-se na relação entre a variação de comprimento e a tensão aplicada:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \text{ ou } \sigma = \frac{\Delta L \cdot E}{L} \Leftrightarrow \Delta L = \frac{\sigma \cdot L}{E} \quad (5.1)$$

Em que:

σ – tensão de pré – esforço aplicada.

ε – alongamento unitário que o cordão sofre a pré – esforçar.

ΔL – alongamento total sofrido pelo cordão.

L – comprimento do cordão.

E – módulo de elasticidade do aço.

Segundo a norma (NP EN 13369 2010, 2010), imediatamente após a transmissão, o desvio entre a força aplicada e a força pretendida na extremidade onde é aplicada, deve permanecer dentro das seguintes tolerâncias:

Tolerâncias normais:

- Por armadura ou força aplicada isoladamente $\pm 7 \%$

- Força total $\pm 5 \%$

Tolerâncias reduzidas:

- Por armadura ou força aplicada isoladamente $\pm 4 \%$

O inspector de controlo de qualidade tem de determinar as seguintes condições:

- a. Verificação do valor da força de tracção aplicada.
- b. Verificar se os valores dos alongamentos dos cordões estão dentro do previsto.
- c. Observar se existe algum deslizamento nas cunhas.
- d. Verificação da correcta fixação das ancoragens.
- e. Verificação da resistência do betão para libertação do pré-esforço.
- f. Verificação das bainhas (caso de pós-tensão) ao longo do seu traçado de modo a detectar danos na sua integridade, bem com as cotas definidas.

5.7.6. Controlo de desmoldagem

A desmoldagem de um elemento pré-fabricado com valores de resistência insuficiente introduz anomalias no mesmo, nomeadamente, fracturas, deformações excessivas ou mesmo aparecimento de fissuras. Muitas vezes nas indústrias de pré-fabricados, para reduzir ao máximo o tempo de ocupação dos moldes acontece esta situação, realizando-se a desmoldagem no momento impróprio, o que compromete a peça e acelera o processo de degradação do betão (MÉLO, 1996).

Torna-se então importante que exista um controlo deste processo, tendo que haver a máxima atenção e cuidado nas seguintes operações:

- a. Controlo da resistência mínima necessária no betão para a desmoldagem.
- b. Controlar o “desligar” da peça do molde – abertura lateral e eventual vibração do molde.
- c. Conferir que a elevação da peça é feita pelos pontos definidos em projecto.
- d. Assegurar o uso apropriado dos acessórios de elevação.
- e. Determinar a elevação sem que existam embates na peça.

5.7.7. Controlo do manuseamento e transporte em fábrica

Como referido, os produtos da pré-fabricação terão que ser suspensos e movimentados com recurso a máquinas, equipamentos e acessórios de elevação adequados, tentando com isso evitar ao máximo choques e movimentos abruptos.

Torna-se naturalmente necessário verificar:

- a. A utilização de equipamentos de elevação e transporte adequados ao peso, tipo de peça e acessório de elevação.

- b. Garantir o manuseamento, transporte e armazenamento da peça sem que esta sofra qualquer tipo de dano.

5.7.8. Controlo do produto final

Sobre o produto acabado são realizados ensaios especificados pela norma NP EN 13369:2010. Estes ensaios são de dois tipos:

- Não destrutivos
 - Controlo geométrico
 - Características da superfície (aparência final)
- Destrutivos
 - Resistência mecânica conferida em cubos

No que toca ao controlo geométrico, entende-se a imposição de um forte rigor nas peças pré-fabricadas relativamente a este aspecto. A margem de erro de fabrico terá que ser obviamente muito baixa, pois só assim as peças podem ser colocadas na sua posição final sem problemas de maior.

As tolerâncias a adoptar para os diferentes elementos estão regulamentadas na norma NP EN 13369:2010. Segundo esta, para as dimensões das secções transversais, L , a tolerância permitida é ΔL , e para o posicionamento da armadura de aço, do aço de pré-esforço e recobrimento especificado, c , a tolerância permitida é Δc , estando os valores no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Tolerâncias permitidas para as secções transversais de elementos estruturais (NP EN 13369 2010, 2010).

Dimensão prevista da secção transversal na direcção a verificar	ΔL [mm]	Δc [mm]
$L \leq 150$ mm	+ 10 - 5	± 5 + 15
$L = 400$ mm	± 15	- 10
$L \geq 2500$ mm	± 30	+ 30 - 10

Interpolação linear para valores intermédios

NOTA 1: Os valores negativos de Δc (tolerância inferior permitida) são fornecidos por questões de durabilidade.

NOTA 2: ΔL e os valores positivos de Δc (tolerância superior permitida) são fornecidos para assegurar que os desvios nas dimensões da secção transversal e no posicionamento da armadura não excedem os valores considerados nos Eurocódigos, para os coeficientes de segurança aplicáveis.

Interessa também apresentar as medições recomendadas por esta mesma norma (Figuras 5.17, 5.18 e 5.19).

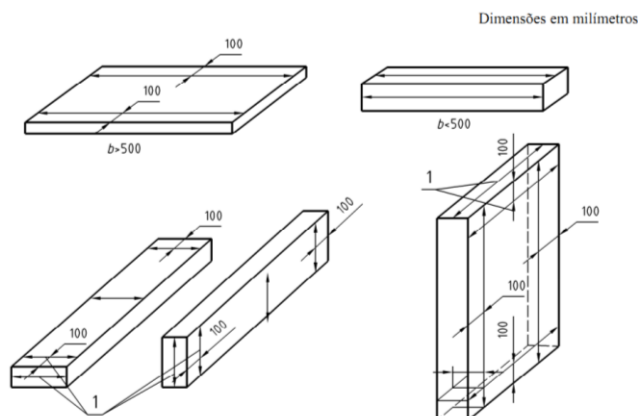


Figura 5.17 - Pontos de medição para comprimento, largura, altura e espessura (NP EN 13369 2010, 2010).

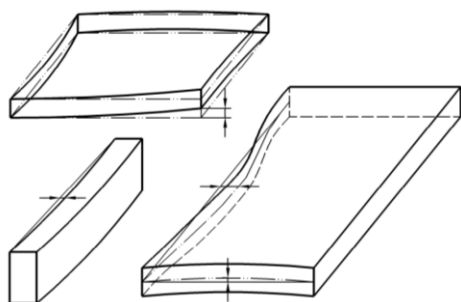


Figura 5.18 – Medição da curvatura e planeza (NP EN 13369 2010, 2010).

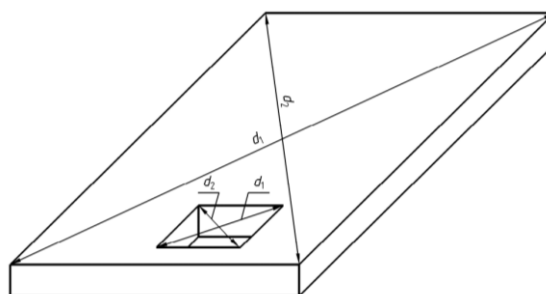


Figura 5.19 – Medição das diagonais (NP EN 13369 2010, 2010).

Relativamente à questão relacionada com os acabamentos superficiais, são tratadas pequenas situações de anomalias na peça (bolhas de pele, fissuras, fracturas, etc.). O número de anomalias nestes elementos não é necessariamente inferior ao verificado em outras estruturas de betão, e também não são menos importantes, pois estas poderão ser responsáveis por prejuízos a nível de durabilidade e resistência mecânica, desde a peça produzida até alguns anos de vida. Torna-se assim necessário averiguar as causas das anomalias registadas (desenvolvido em 5.5), podendo estar relacionadas, entre outros aspectos, com um planeamento descuidado, informação insuficiente no projecto, materiais utilizados e falhas de controlo.

De acordo com (MOREIRA, 2009), e em forma de resumo do que já foi desenvolvido em 5.6, algumas das causas que estão na origem do aparecimento de anomalias são:

- Escolha e utilização inadequada de materiais;
- Erros de dosagem;
- Deficiente preparação, estado e montagem dos moldes;

- Aplicação não criteriosa e desleixada do betão;
- Cura ineficaz.

Relativamente aos ensaios do tipo destrutivos, estes são realizados em fábrica com a rotura de provetes às 16h apenas para as peças pré-esforçadas e aos 7 e 28 dias de idade para todas as peças, com recurso ao ensaio de compressão. Sendo que estes valores são registados na ficha elaborada de controlo de qualidade do betão produzido (Anexos). Chama-se à atenção que normalmente as peças ainda se encontram nas instalações da fábrica aquando do ensaio do provete aos 7 dias, o mesmo não acontecendo aos 28 dias.

Dito isto, é da responsabilidade do operador de qualidade, o cumprimento das seguintes medidas:

- a. Verificação da geometria da peça (comprimento, largura, altura, alinhamento longitudinal e verticalidade da secção transversal).
- b. Verificação da espessura de recobrimento.
- c. Controlar e definir o tipo de tratamento a aplicar nas peças que não apresentam a aparência desejada.
- d. Assegurar que não existem irregularidades/anomalias que possam influir no comportamento estrutural da peça.

5.7.9. Controlo do armazenamento das peças

O armazenamento das peças é efectuado sobre dispositivos de apoio, nomeadamente sulipas, assentes sobre um terreno plano e firme. Estes apoios devem situar-se em locais determinados em projecto, normalmente na direcção dos pontos de elevação. Terá então que se ter em conta os seguintes critérios:

- a. Garantir um local de armazenamento firme, limpo e ausente de possíveis substâncias contaminantes.
- b. Conferir a não colocação das peças em contacto directo com o solo.
- c. Verificação da estabilidade das peças, garantindo a localização exacta das sulipas entre estas.
- d. Assegurar a protecção das esquinas dos elementos.

5.8. Considerações finais

O controlo das várias etapas do processo de fabrico tem por objectivo garantir que estas são efectuadas conforme o especificado em projecto e respeitando as determinações das normas associadas a esta indústria, nomeadamente a NP EN 13369:2010.

Analisando os pontos desenvolvidos neste capítulo, entende-se a importância do estabelecimento de um plano criterioso de controlo de qualidade desde o transporte de materiais e betão às linhas de produção, até ao armazenamento das peças acabadas, pois de todo o ciclo de pré-fabricação, esta é a fase em que as várias actividades constituintes estão determinadas por uma maior intervenção humana, estando desse modo sujeitas a um risco mais elevado de ocorrência de (pequenas) falhas e consequente prejuízo da qualidade das peças. Além desta situação, esta fase tem ainda a agravante de contemplar um maior tempo e complexidade de movimentações dentro da fábrica, sendo um período que envolve muitas operações e onde é necessário actuar em diferentes compartimentos da unidade fabril. Esta conjuntura aumenta significativamente a probabilidade de ocorrência de imprevistos que certamente irão prejudicar a coerência de qualidade pretendida.

É neste contexto que um sistema de controlo de qualidade tem que intervir, providenciando uma fase de fabrico em que todas as situações que possam ser inesperadas estejam já de alguma forma previstas, possibilitando que seja eficiente, produtiva e com elevados índices de qualidade.

Finalizando a descrição do fabrico das peças, o capítulo seguinte será dedicado ao transporte final e montagem do produto acabado. Estes procedimentos exigem um certo planeamento e cuidado, dado que nestas etapas se a peça sofrer algum tipo de dano significativo será automaticamente rejeitada pelo cliente.

6. Transporte final e montagem em obra

6.1. Transporte final para obra

De forma intuitiva, percebe-se que um aspecto crítico da pré-fabricação é a exigência do transporte final do produto para o cliente (obra). Os meios de transporte viáveis para esta indústria são o rodoviário, marítimo e ferroviário (entende-se a inexistência do transporte aéreo). A modalidade de transporte rodoviário é predominante em Portugal, sendo executada por camiões (Figura 6.1), e como tal, torna-se imperativo ter a consciência das dimensões e cargas praticáveis. Por outras palavras, a ideia que se pretende desenvolver está relacionada com a obrigatoriedade de conceber peças que sejam transportáveis, ou seja, as peças a produzir estão forçosamente condicionadas:

- Pela capacidade dos meios de transporte e vias de comunicação existentes (p.e.: cargas máximas permitidas em viadutos);
- Pelos acessos e disponibilidade espacial no estaleiro;
- Pela legislação do transporte rodoviário vigente.

Neste contexto, o acto de transportar em si pode tornar-se algo complexo e delicado, no entanto, o desenvolvimento de um minucioso planeamento fará com que este processo se torne mais elementar e eficaz. Subsiste ainda o facto de este serviço ser normalmente terciarizado, delegando à empresa contratada a tarefa de entrega das peças nos prazos estabelecidos. Contudo, compete ao fabricante o acondicionamento das peças no elemento transportador, de forma a proporcionar a entrega do produto ao cliente em perfeitas condições.

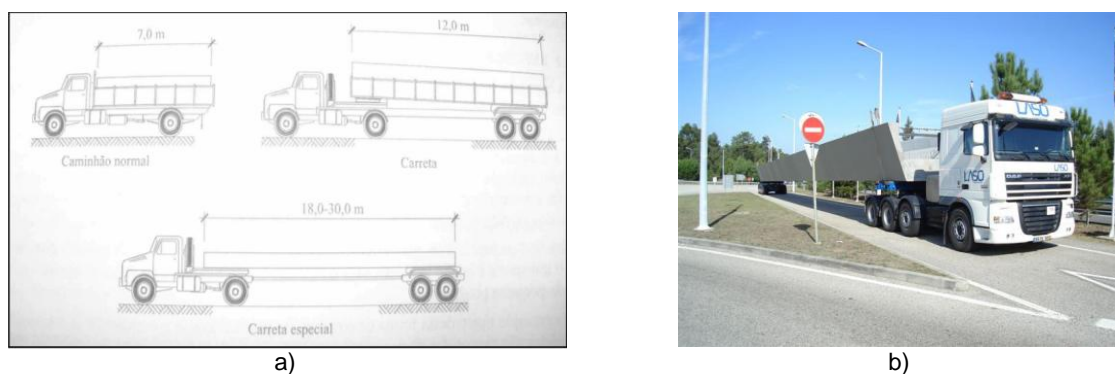


Figura 6.1 – Exemplo de veículos utilizados no transporte rodoviário de elementos pré-fabricados (a) – DEBS, 2000, b) – LASO, 2011).

Interessa relembrar que, antes de se definirem como habilitados a serem transportados para obra, os produtos deverão ser sujeitos a uma inspecção visual no seu local de armazenamento, observando assim o possível aparecimento de não conformidades. De qualquer das formas, recomenda-se uma inspecção visual das peças, imediatamente antes de serem carregadas, e já depois de estarem acondicionadas no veículo de entrega, de forma a garantir que nenhuma anomalia ocorreu na

realização dessa operação. Acrescenta-se que na entrega dos produtos deverá existir um controlo do número de elementos danificados (caso existam) e a análise das causas prováveis para que tal sucedesse (NPCA, 2011), (FERREIRA, 2001), (NETO, SERRA, & FERREIRA, 2009).

Como citado, na realidade nacional são os camiões que efectuem o transporte dos elementos pré-fabricados, assim será apresentado nesta rubrica a descrição e controlo de qualidade referentes apenas a esse meio de transporte (rodoviário).

Capacidade do meio de transporte

No que diz respeito aos camiões utilizados no transporte das peças pré-fabricadas desde o local de fabrico até ao ponto determinado pelo cliente, estes terão que se apresentar forçosamente bem equipados e em bom estado de conservação, de tal maneira que possibilitem o fornecimento das peças sem as deteriorar, evitando a sua reparação e/ou rejeição. Em projecto são definidas as condicionantes a ter em linha de conta, para que as peças possam ser transportadas sem originar problemas, definindo (DEBS, 2000) que, na determinação da posição dos apoios nas peças, aplicam-se em geral as mesmas regras utilizadas aquando do seu armazenamento. De mencionar que, quando existe o transporte de mais do que uma peça, estas devem ser acondicionadas de maneira a que as mais pesadas sejam colocadas primeiro e as mais leves sobre aquelas, sendo recomendável o emprego de caibros de madeira entre elas, facilitando assim a passagem de cabos para as operações de carga e descarga.

Entende-se que são as limitações dimensionais e de capacidade de carga que determinam o tipo de veículo de transporte mais adequado, contudo a indústria rodoviária está já extraordinariamente desenvolvida, concebendo veículos com capacidades cada vez maiores e reduzindo assim o impacto dessas limitações (Figura 6.2).



Figura 6.2 – Camião a transportar uma viga pré-fabricada (Solenha, 2005).

Itinerário

No planeamento da manobra de transporte é fortemente aconselhado a consideração de diferentes percursos até ao local designado pelo cliente, avaliando as características e estado das vias (p.e: largura das vias, raios das curvas, conservação do pavimento), aspectos que condicionam a largura, altura, comprimento e peso das peças a transportar.

Independentemente do trajecto, os elementos são sujeitos a diversas solicitações durante o transporte, resultado da forma como são transportados ou do modo de fixação empregue, podendo induzir esforços na estrutura, os quais devem estar previstos antes desta operação. O transporte de elementos em que parte da estrutura se encontra em consola é um exemplo real desta situação. Neste caso, as peças terão de vir providas com tirantes embutidos na parte superior da peça de forma a absorver as tensões adicionais que se irão desenvolver.

Para a correcta realização deste processo, a análise dos acessos à obra é igualmente um factor importante. A existência de terrenos acidentados, bem como espaços de manobra e acesso reduzidos, são situações que podem levar à inviabilização da utilização deste sistema construtivo.

Legislação Portuguesa

Na temática da pré-fabricação são muitas vezes produzidas peças de dimensões consideráveis, nomeadamente em relação ao seu comprimento. Para promover o seu transporte, torna-se essencial conhecer a legislação relativa às autorizações especiais de trânsito (Portaria nº 472 - Regulamento de Autorizações Especiais de Trânsito, 2007). Este regulamento estabelece em 12m o limite das caixas dos veículos, para situações isentas de licença anual. Para empresas com um transporte regular de peças com dimensões consideráveis, é normal apresentarem uma licença anual, concedida pelo IMTT (Instituto da Mobilidade e Transportes Terrestres), permitindo o transporte de elementos em que o comprimento total do veículo seja inferior a 25,25m. A altura máxima permitida (na posse dessa licença) é de 4,6m (a contar do solo), a partir dessa medida é necessário um cuidado especial para evitar colisões com elementos presentes na via pública. A largura total permitida é de 4m. Em casos de transportes de peças com valores acima destes é necessário o requerimento de licenças especiais (emitidas pelo IMTT).

Relativamente aos limites de peso (tem em conta o efeito das cargas transportadas no pavimento), em Portugal o limite sem licença é de 40 t de peso bruto e com licença anual é de 60 t. Tal como para os valores geométricos, em situações de valores de carga superiores, é também necessária uma licença especial por parte do IMTT.

6.2. Montagem em obra

6.2.1. Processo de montagem

O processo de montagem das peças pré-fabricadas terá que envolver em primeiro lugar um planeamento pormenorizado, garantindo:

- Que se consegue obedecer à sequência de montagem definida em projecto;
- Que se evitam choques e movimentos abruptos das peças;
- Desvios máximos admissíveis.

Esta actividade engloba as acções de movimentação e colocação dos elementos e quando necessário, o armazenamento das peças em obra (sempre que não sejam aplicadas imediatamente após a chegada à obra). A operação de montagem é vista como uma das grandes vantagens desta solução construtiva, apresentando uma elevada rentabilidade em termos temporais em comparação à tradicional betonagem *in situ*. Tal como as etapas anteriores, a montagem das peças está igualmente sujeita a falhas e como em todas as outras fases do ciclo de pré-fabricação deverá ser objecto de um rígido controlo de qualidade.

Importará analisar a localização dos equipamentos, em que o ideal será promover uma optimização da superfície de montagem. Em situações de espaços pequenos esta problemática é logicamente mais condicionante, levando a que a localização dos equipamentos de elevação tenha que ser criteriosamente estudada de modo a não atrasar a execução, não danificar as peças já instaladas, e possibilitar ainda a saída do veículo do estaleiro da obra. Dito de outra forma, é necessário um adequado planeamento dos trabalhos, inviabilizando que alguma zona da obra fique inacessível enquanto não estiverem finalizados nesse local todos os trabalhos de montagem de peças (SILVA, 1998).

Equipamento

Analisando agora a componente dos equipamentos, (GANICHO) refere que os mais vulgarmente utilizados na montagem são guas automóveis (Figura 6.3), estando condicionadas pelos seguintes factores:

- Local de estabilização do equipamento;
- Dimensões e peso da peça a montar;
- Acessórios de elevação;
- Altura de trabalho.

Por vezes, torna-se impossível o uso deste equipamento pela inacessibilidade do mesmo ao local de obra, sendo da responsabilidade das empresas de pré-fabricação o desenvolvimento de processos de montagem que viabilizem a solução pré-fabricada (GANICHO).



Figura 6.3 – Exemplo de grua automóvel (LIEBHERR).

Para que a actividade de montagem seja o mais eficiente possível, é importante representar a disposição dos equipamentos de elevação, durante todo o processo. Deverá constar o seu correcto posicionamento, definindo o seu raio de operação e determinando também as possíveis posições que o veículo de transporte deve tomar de maneira a facilitar a descarga, elevação e montagem das peças. Segundo (PINHO, 2005), o raio de operação define-se como a distância na horizontal entre o centro de gravidade do equipamento e a projecção vertical do centro de gravidade da carga, estando condicionado pelo comprimento e o ângulo da lança (Figura 6.4).

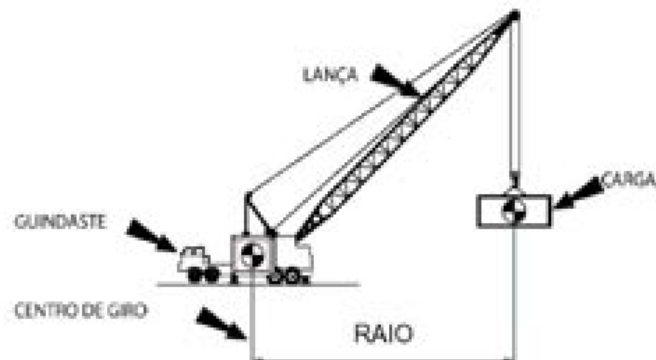


Figura 6.4 – Determinação do raio de operação (PINHO, 2005).

(PCI Erectors Committe, 1985), refere que é indispensável que os equipamentos de suspensão não sejam dobrados, torcidos, deformados, nem danificados sob qualquer circunstância. Será também relevante nesta operação a plataforma (solo) sobre a qual se colocarão os equipamentos, devendo estar dimensionada para as cargas a elevar.

Manuseamento em obra

Os elementos pré-fabricados são dimensionados relativamente à disposição e esforços a que serão solicitados. Contudo, (BRUMATTI, 2008) menciona que o levantamento da peça é um instante em que se verifica uma elevada concentração de esforços. Ainda de acordo com este autor, o aparecimento de fissuras nas peças pode resultar da deficiente execução desta e de outras actividades relacionadas com o procedimento de elevação, as quais são enumeradas seguidamente:

- Peça desequilibrada ao ser elevada;
- Instabilidade dos cabos de elevação.

Referido em (Approved Code of Practice for The Safe Handling, Transportation and Erection of Precast Concrete, 2002), as peças devem ser içadas de forma a que as cargas sejam distribuídas o mais uniformemente possível para os vários pontos de elevação. Independentemente do método de fixação, são frequentemente utilizadas cordas com a finalidade de orientar manualmente a peça (*taglines*).

Na Figura 6.5 estão apresentados três exemplos de manuseamento e elevação de vigas pré-fabricadas.



a)



b)



c)

Figura 6.5 – Exemplos da elevação de vigas pré-fabricadas (a) e b) – VIEGAS & SARAIVA, 2010, c) – Solenha, 2005).

Dito isto, interessa sublinhar que cumpridos estes factores, é importante constatar se estão reunidas as condições atmosféricas (principalmente a acção do vento) para que o manuseamento da peça se possa verificar sem problemas de maior, sendo que, só em situações extremas é que este factor se torna efectivamente condicionante (Figura 6.6).

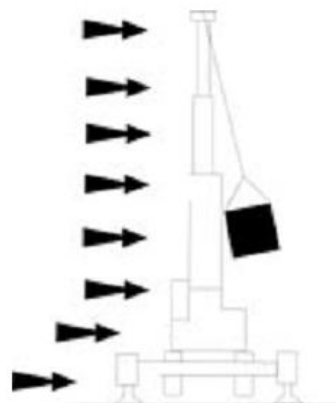


Figura 6.6 – Exemplo da influência do excesso de vento no manuseamento das peças (Approved Code of Practice for The Safe Handling, Transportation and Erection of Precast Concrete, 2002).

Após terminada a montagem, a aceitação final dos elementos pré-fabricados deverá ser feita em conformidade com as especificações prescritas, verificando o alinhamento e nivelamento das peças, bem como a presença de eventuais danos na sua superfície.

6.2.2. Ligações estruturais

Antes de mais importa esclarecer o conceito de ligação estrutural. Uma ligação estrutural diz respeito ao conjunto de elementos e sua pormenorização que permitem globalmente assegurar a transmissão de tensões entre dois ou mais elementos estruturais (Mestrado em Engenharia de Estruturas, 2006).

Entende-se que a especificidade da pormenorização e execução das ligações é uma das principais características que distingue as estruturas pré-fabricadas das executadas *in situ*.

Em geral, as ligações são vistas como muito relevantes no projecto das estruturas pré-fabricadas, na medida em que são indispensáveis tanto para a concepção da estrutura (montagem da estrutura e execução das ligações propriamente ditas), como para o comportamento da estrutura já montada. É portanto natural a definição de soluções mais eficientes tendo em linha de conta a economia, a simplificação do processo construtivo e as características de comportamento das ligações.

Nesta temática das ligações entre os elementos pré-fabricados ou entre estes e o betão colocado *in situ*, tem obrigatoriamente que se ter em consideração a estabilidade geral da estrutura, mas também a estabilidade durante a fase de montagem (NBR 9062, 2001). Para (FIB - Fédération Internationale du Béton, 2008), são exigências gerais de concepção e dimensionamento das ligações, a simplicidade, normalização, resistência mecânica, ductilidade, durabilidade, entre outras.

Tendo como objectivo uma maior facilidade de execução, as ligações são preferencialmente colocadas nas extremidades das peças. No entanto, são essas as zonas onde se localizam maiores esforços. Para (ALBARRAN, 2008), a localização preferencial são as regiões a meia altura dos pilares e a $\frac{1}{4}$ de vão das vigas, sendo no entanto zonas onde é mais complicada a sua execução.

Assim, entende-se que o projecto de ligações terá de ser elaborado após uma análise minuciosa das possíveis solicitações em serviço e em fase de montagem, importando referir que a uma minimização das mesmas (número de ligações), corresponde um aumento da rapidez de execução, mas também um acréscimo de complexidade à manobra de montagem.

De acordo com (ALBARRAN, 2008) e (FIB - Fédération Internationale du Béton, 2008) destaca-se a importância da não definição de ligações de “complicada” execução, evitando que existam varões de espera em duas direcções (colocação em obra torna-se praticamente impossível) e a existência de elementos segundo um ângulo inclinado (Figuras 6.7 e 6.8). Pretende-se com isto promover uma colocação simplificada da peça na sua posição final.

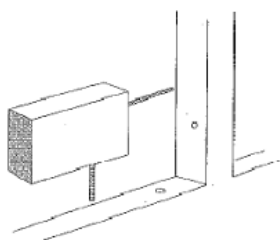


Figura 6.7 – Detalhe de ligação a evitar (FIB - Fédération Internationale du Béton, 2008).

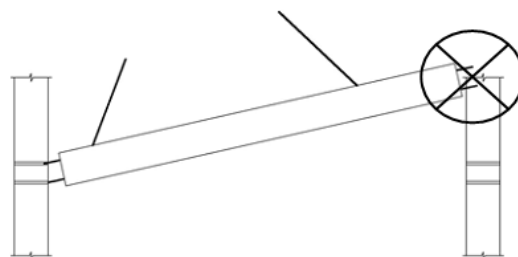


Figura 6.8 – Detalhe de ligação a evitar (ALBARRAN, 2008).

De forma genérica, as ligações entre os elementos pré-fabricados definem a viabilidade ou não da solução de pré-fabricação, sendo por isso necessário que se apresentem simples, económicas, de fácil execução em obra e eficazes do ponto de vista estrutural.

Com o objectivo de fornecer uma noção dos vários tipos de ligações, estas são seguidamente classificadas sob diversas formas (ALBARRAN, 2008), (DEBS, 2000):

1. Quanto ao tipo de conexão

- Ligação articulada – não transmite momento flector;
- Ligação rígida – transmite momento flector;
- Ligação semi-rígida – transmite parcialmente os momentos flectores.

2. Quanto ao esforço transmitido

- a. Ligação solicitada por compressão;
- b. Ligação solicitada por tracção;
- c. Ligação solicitada por flexão;
- d. Ligação solicitada por corte.

3. Tipos dos elementos ligados

- a. Ligações pilar-fundação, entre as extremidades inferiores dos pilares e as fundações;
- b. Ligações pilar-pilar, entre troços de pilar, geralmente a meia altura;
- c. Ligações pilar-viga, entre extremidades de vigas e os pilares;
- d. Ligações viga-viga, entre troços de vigas;
- e. Ligações viga-laje, entre bordos das lajes e as vigas;

f. Ligações laje-laje, entre painéis de laje.

4. Processo de execução

- a. Ligações de continuidade betonando em obra a zona entre elementos pré-fabricados em que se estabelece a emenda de armaduras;
- b. Ligações pré-esforçadas, aplicando uma pós-tensão aos elementos pré-fabricados, através de junta de ligação;
- c. Ligações coladas, normalmente com resinas epoxídicas ou material equivalente, ligando a superfície de contacto entre os elementos;
- d. Ligações aparafusadas, ligando os elementos pré-fabricados através de elementos metálicos e parafusos (de modo idêntico aos das estruturas metálicas);
- e. Ligações soldadas, soldando chapas ou outros elementos metálicos salientes dos elementos pré-fabricados a ligar;
- f. Ligações de apoio simples, apoiando as extremidades dos elementos.

Visto que foge ao âmbito desta dissertação a explicação pormenorizada das ligações, e dado que este estudo está mais direccionado para o controlo de vigas nas pontes e viadutos, faz-se apenas uma breve descrição das ligações pilar-viga e viga-viga.

Ligação pilar-viga

As ligações pilar-viga são condicionadas pela capacidade de transmissão de momentos flectores (Figura 6.9 e 6.10).

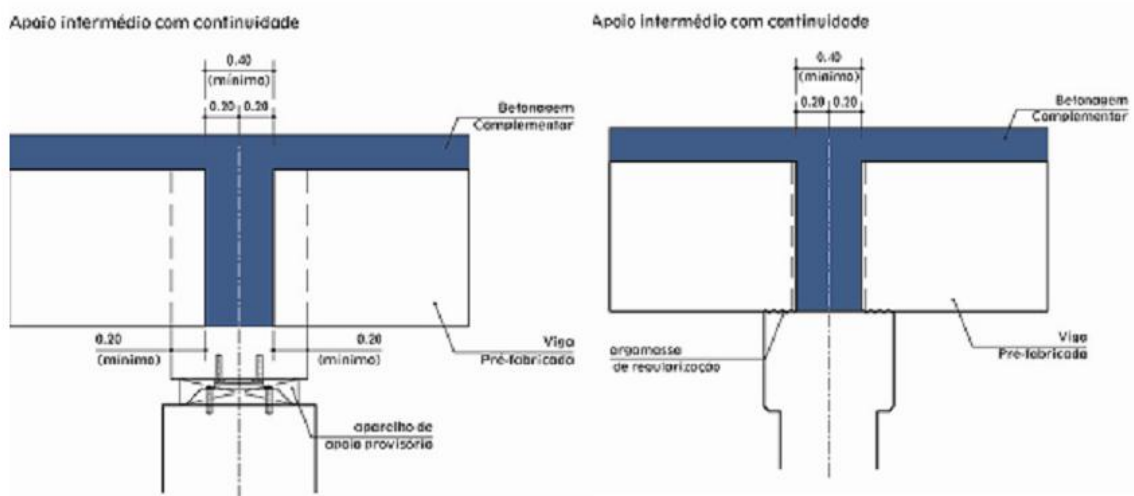


Figura 6.9 – Ligações típicas pilar-viga (VIEGAS & SARAIVA, 2010).



Figura 6.10 – Exemplo de ligação pilar-viga num viaduto (VIEGAS & SARAIVA, 2010).

Numa estrutura porticada esta ligação é responsável pela rigidez da estrutura a acções horizontais, sendo necessária uma ligação rígida para permitir a transmissão de momentos. Neste tipo de ligação é frequente a aplicação de cachorros, podendo estes serem parte integrante da geometria do pilar.

Ligação viga-viga

De acordo com (ALBARRAN, 2008), existem dois tipos de ligação entre vigas:

- Entre vigas com o mesmo eixo (coaxiais);
- Entre vigas secundárias e principais.

O mesmo autor indica que a determinação de uma ligação entre vigas com o mesmo eixo ocorre usualmente quando se deseja que a ligação se localize a $\frac{1}{4}$ de vão da viga, zona em que os esforços são mais reduzidos, desviando a ligação do nó entre viga e pilar (zona mais crítica em termos de esforços). Esta é uma situação corrente em obras de arte (Figura 6.11).



Figura 6.11 – Exemplo de ligação entre vigas coaxiais (VIEGAS & SARAIVA, 2010).

Em jeito de conclusão e como referido em (Mestrado em Engenharia de Estruturas, 2006), nesta temática de ligações estruturais em pontes e viadutos, aponta-se para a utilização de soluções de ligação que assegurem continuidade estrutural pois:

- São mais eficientes estruturalmente no controlo da deformação e, por conseguinte, permitem adoptar soluções mais esbeltas (elegantes);
- Permitem uma maior eficácia de transmissão de forças entre elementos e capacidade de absorção de energia, aspectos especialmente significativos na presença de acções sísmicas;
- Diminuem as juntas estruturais que por infiltração de água, podem ser fonte de degradação da zona da ligação e dos aparelhos de apoio.

6.3. Controlo de qualidade no local

6.3.1. Controlo do transporte final para obra

Entende-se que o transporte é uma das etapas críticas do processo de pré-fabricação, pois na maioria dos casos exige uma logística complexa, e pode ser muitas vezes subestimado quanto às consequências inerentes à sua má execução. Revela-se então importante que sejam controlados diversos factores para que esta actividade se desenvolva sem problemas:

- a. O transporte deve ser efectuado em veículos apropriados às dimensões e peso dos elementos, levando em consideração as solicitações dinâmicas que poderão ocorrer durante esta operação.
- b. No carregamento dos veículos devem ser aplicados os mesmos cuidados estabelecidos no armazenamento interno das peças, garantindo as condições de apoio previstas em projecto.
- c. As peças dispostas em uma ou mais camadas devem estar travadas o suficiente para evitar desequilíbrios durante as situações de transporte (arranques, travagens, circulação normal).
- d. Protecção da superfície dos elementos nas zonas em contacto com cabos, correntes, ou outros dispositivos potencialmente prejudiciais.
- e. Verificar se o acesso à obra e à plataforma de montagem são os apropriados.
- f. Conferir que na operação de carga e descarga de peças, o veículo se encontra imobilizado e estabilizado.

6.3.2. Controlo da montagem

A montagem dos elementos é a etapa final do processo de pré-fabricação, nesse sentido é fundamental que exista uma inspecção e controlo especial desta operação. Entende-se que a execução irresponsável desta actividade poderá provocar a sua rejeição, condenando desse modo, todo o ciclo de pré-fabricação da peça. Sublinhando esta ideia, é forçoso a existência de um rigoroso

controlo de qualidade, confirmando que o processo de montagem ocorre da forma mais correcta e eficaz possível. É assim necessário ter em conta os seguintes factores:

- a. Providenciar equipas de elevação qualificadas.
- b. Verificação do estado do terreno (nivelado e compactado) e da estabilização do equipamento de elevação.
- c. No caso de não montagem imediata das peças, garantir que estas serão armazenadas em local e de forma adequados.
- d. Determinar que estão reunidas as condições atmosféricas (sobretudo o vento) de maneira a que esteja garantido a estabilidade da peça durante o seu manuseamento.
- e. Conferir que a libertação da peça é efectuada apenas quando esta se encontra estabilizada na sua posição final.

6.4. Considerações finais

Em análise a este capítulo, torna-se evidente que um correcto transporte dos elementos pré-fabricados está associado a inúmeros benefícios para ambos os envolvidos (fabricante e cliente), destacando-se o ganho em termos temporais e a garantia das especificações determinadas para a peça. É importante que sejam verificadas todas condicionantes existentes para que se consiga proporcionar a chegada das peças ao cliente sem que surja qualquer anomalia.

Assim como o transporte, a actividade de montagem deverá seguir um processo estandardizado e controlado, de forma a otimizar as vantagens naturais desta solução. O bom desempenho da montagem dependerá da existência de um plano de execução organizado, permitindo um rigoroso, rápido e seguro funcionamento de todos os equipamentos envolvidos.

Como já exposto, a montagem é a última etapa do ciclo de pré-fabricação, e naturalmente sofre os impactos resultantes de eventuais falhas ocorridas nas etapas precedentes. Contudo, deverá ser claro que essa condição não dispensa a necessidade de aperfeiçoamento e controlo do processo de montagem utilizado.

Desenvolvido este capítulo, a rubrica seguinte fará toda a descrição das três fases (pré-fabrico, fabrico e pós-fabrico) de uma viga pré-fabricada relativa a um viaduto. Este será o caso de estudo desenvolvido, relacionando o máximo possível a dissertação à realidade nacional de pré-fabricação, na medida em que serão aplicadas as fichas de controlo de qualidade elaboradas nesta dissertação.

7. Caso de estudo

7.1. Caracterização do caso de estudo

Para a realização do caso de estudo a apresentar neste capítulo, efectuou-se durante os meses de Setembro/Outubro de 2011, o acompanhamento com a empresa Pavilis - Pré-Fabricação, S.A., dos processos de produção, transporte e montagem de uma viga T pré-esforçada, referente à obra pública da subconcessão da Auto-Estrada do Baixo Alentejo, estando a empreitada a cargo da SPER – Sociedade Portuguesa de Exploração Rodoviária, consórcio constituído pela Edifer, Dragados, Iridium, Tecnovia e Conduril, sendo responsável pela construção, manutenção e conservação de 345km de estrada, dos quais 84km correspondem a lanços a construir.

Com a aplicação neste caso de estudo das fichas criadas, pretende-se avaliar a verificação dos controlos nelas estabelecidos e perceber ao mesmo tempo a aplicabilidade destas fichas na indústria de pré-fabricação. As fichas aplicadas foram:

1. Ficha de controlo de qualidade de materiais.
2. Ficha de controlo de qualidade do fabrico de betão.
3. Ficha de controlo de qualidade do betão produzido.
4. Ficha de controlo de qualidade do processo de fabrico.
5. Ficha de controlo de qualidade de manuseamento e transporte em fábrica.
6. Ficha de controlo de qualidade do produto final.
7. Ficha de controlo de qualidade de armazenamento das peças.
8. Ficha de controlo de qualidade de transporte final das peças.
9. Ficha de controlo de qualidade de montagem das peças.

Apresenta-se de seguida o fluxograma do ciclo de pré-fabricação da fábrica, tendo assim uma melhor percepção do modo de proceder no fabrico diário das peças (Figura 7.1).

7.2. Controlo dos materiais

Este controlo marca o começo do ciclo da pré-fabricação. Para a análise deste controlo, aplicou-se a ficha nº1 – Ficha de controlo de qualidade de materiais, sendo os resultados descritos seguidamente.

Constituintes do betão

Na visita à fábrica, foi possível acompanhar a chegada de um veículo de transporte de agregados (brita), onde logo à chegada, foi verificada a sua quantidade (calculando o seu peso) (Figura 7.2) e conferida e carimbada a guia de transporte.

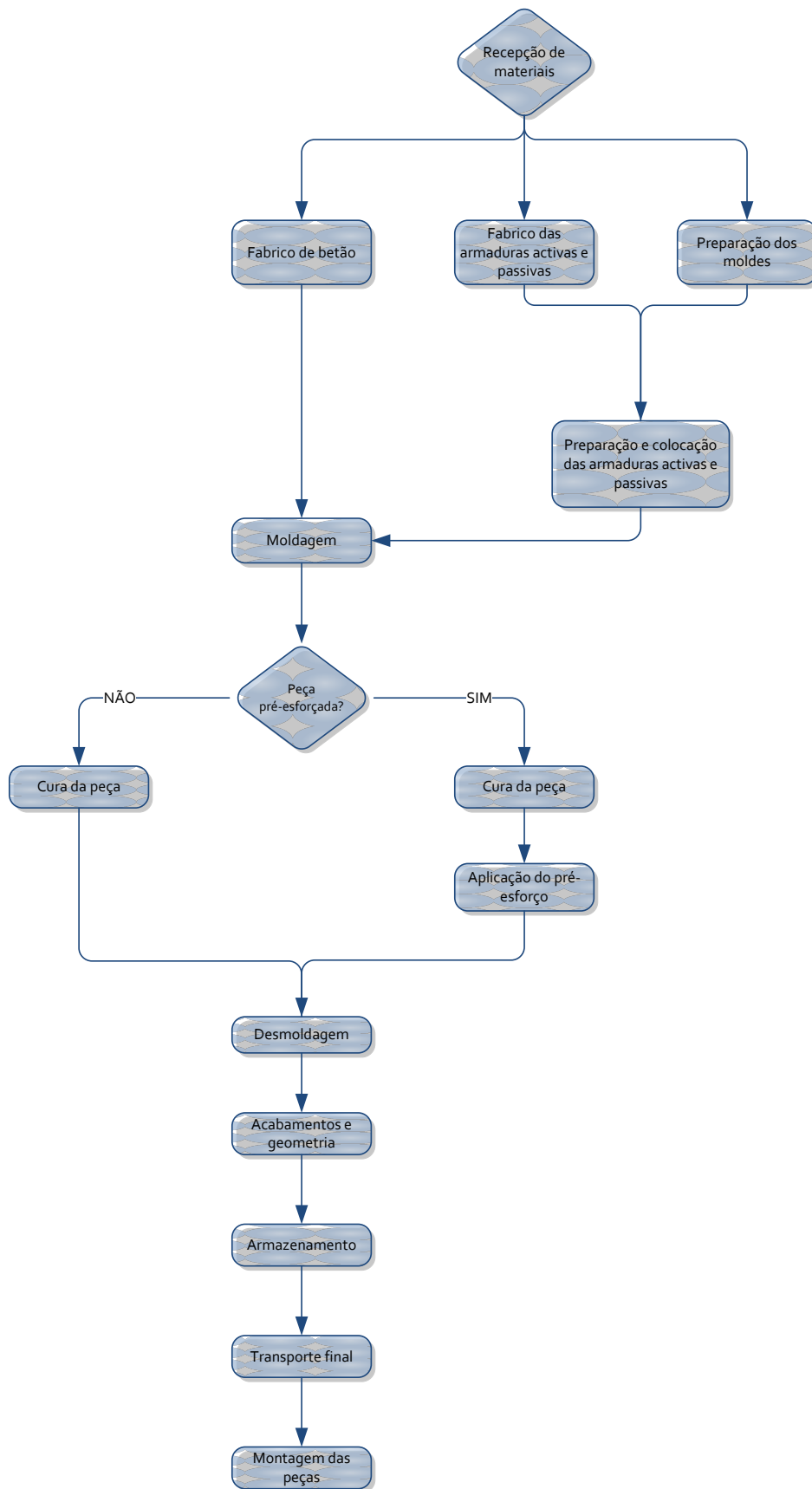


Figura 7.1 – Fluxograma do ciclo de pré-fabricação da fábrica em estudo.



Figura 7.2 – Aparelho de verificação do peso dos veículos transportadores de materiais.

Após esta verificação, o veículo dirigiu-se para a zona de armazenamento dos agregados onde existiu uma inspeção visual da carga, por parte do operador do laboratório da fábrica. Nessa inspeção, o operador procurou a existência de impurezas e contaminações, bem como a analogia com a sua aparência normal. Por outro lado, observou-se que não ocorreu a verificação do estado do local de descarga/armazenamento dos agregados (Figura 7.4), que dado ser constituído por um pavimento em betão (Figura 7.3), o operador parte do princípio que este se encontra livre de qualquer contaminação.



Figura 7.3 – Local de armazenamento dos agregados com base em betão.



Figura 7.4 – Ausência de verificação do local de descarga/armazenamento dos agregados.

Verificou-se também o armazenamento de um agregado fora da baia definida (Figura 7.5), podendo deste modo ocorrer contaminação cruzada com outros agregados.

Por outro lado, apesar dos agregados já virem lavados do fornecedor, antes da sua utilização existe uma nova lavagem, pretendendo assim promover a melhoria da sua qualidade, eliminando possíveis contaminações.

Observado no laboratório da unidade fabril, dependendo do agregado são retiradas amostras para posteriores ensaios. Exemplo disso é a recolha de amostras de areia, determinando a existência de matéria orgânica.



Figura 7.5 – Exemplo de armazenamento de agregados fora da baía destinada.

Percebendo-se a impossibilidade de acompanhar a chegada de todos os materiais, foi simulado o controlo existente no recebimento de cimento, conferindo todos os pontos definidos na ficha, existindo mesmo a recolha de amostras para ensaios futuros.

A água utilizada é da rede de distribuição pública, estando por isso garantida a sua qualidade.

Relativamente aos adjuvantes e adições, foi igualmente simulado o seu recebimento, observando-se que o controlo existente garante a conformidade destes materiais.

Armaduras (activa e passiva)

No que diz respeito às armaduras, não foi igualmente possível observar a recepção deste material em fábrica, contudo verifica-se o correcto armazenamento das armaduras passivas (sem contacto com o solo) (Figura 7.6), bem como a verificação do seu estado e das suas propriedades antes de serem utilizadas. De referir que, apesar destas se encontrarem em local desprotegido da chuva, dada a sua elevada utilização não estarão armazenadas durante muito tempo, sendo pouco significativos os prejudiciais efeitos atmosféricos. No que diz respeito às armaduras activas, estas são armazenadas em bobines fora e dentro das naves de fabrico, sendo alvo dos mesmos cuidados tidos para as armaduras passivas.



Figura 7.6 – Correcto armazenamento das armaduras passivas.

Moldes e materiais diversos

Não sendo igualmente possível observar a chegada destes materiais, percebeu-se que o controlo existente garante a sua conformidade.

Analisando este subtítulo, resume-se a verificação dos critérios estabelecidos na ficha nº1:

1. Conformidade da guia com a encomenda – acção verificada logo na entrada das instalações da fábrica, sendo a os materiais pesados e a guia conferida e carimbada.
2. Inspecção visual do material (conformidade com a aparência normal, existência de impurezas e contaminações) – critério respeitado, sendo a inspecção visual verificada pelo operador responsável pela respectiva secção de cada material.
3. Estado do local de armazenamento (ausência de contaminações) – critério considerado apesar de na descarga de agregados acompanhada não ter sido efectuado. Foi justificado não ser frequente o descurar desta condição. Registe-se que foi observado um armazenamento de agregados fora da baía definida, podendo assim existir contaminação cruzada.
4. Recolha de amostras – observa-se a recolha de amostras para ensaios de confirmação da qualidade dos materiais (areias), e para eventuais ensaios futuros (cimento).

Analisando, observou-se que existe um elevado controlo na recepção, armazenamento e preparação dos materiais, e conseqüentemente da sua garantia de qualidade.

7.3. Controlo do fabrico de betão

Este controlo tem o intuito de garantir a produção de um betão com altos índices de qualidade e dentro dos requisitos definidos. Para a sua observação, aplicou-se a ficha nº2 – Ficha de controlo de qualidade do fabrico de betão e a ficha nº3 – Ficha de controlo de qualidade do betão produzido, estando os resultados comentados de seguida.

Como referido neste estudo, as centrais presentes nas empresas de pré-fabricados são normalmente caracterizadas por serem bastante automatizadas, apresentando programas para os diversos tipos de betão a produzir. Estas características são também verificadas nesta empresa (Figura 7.7).



Figura 7.7 – Automatização do processo de fabrico de betão.

Desta automatização espera-se que resulte uma produção de betão com qualidade constante, dado ser mais fácil fazer o controlo das operações constituintes, particularmente da dosagem e mistura.

No entanto, ao examinar a ficha nº2 (Ficha de controlo de qualidade do fabrico de betão), verificam-se duas lacunas:

1. Não existe a identificação de qual das centrais é a produtora de betão. Percebe-se que na produção de uma determinada peça haja a utilização de betão apenas de uma central, no entanto, acha-se importante que fique registado a sua identificação. Esta importância relaciona-se com a eventual ocorrência de problemas nas peças, podendo a identificação da central responsável pela produção do betão não ser tão imediata quanto o desejável.
2. Outro dos pontos não cumpridos tem a ver com a determinação do teor de humidade nos agregados. Contudo, foi explicado que está já implementado numa das centrais, um aparelho que registará os valores do teor de humidade nos agregados e da relação A/C da mistura durante o funcionamento da betoneira-misturadora. Este aparelho ainda não se encontra em utilização por razões meramente técnicas. Importa referir que a relação A/C já é controlada, verificando-se o seu cálculo por parte do operador do laboratório.

Observa-se agora, os restantes critérios de aprovação indicados nesta ficha nº2:

1. Conformidade das quantidades da composição proposta – condição conferida automaticamente com a definição do programa de betão.
2. Temperatura do betão fresco – verificação deste critério com o cálculo da temperatura pelo menos uma vez em cada amassadura.
3. Mistura adequada – confirmação por inspeção visual, por parte do operador da central.
4. Recolha de amostras – medida verificada, sendo indicada a hora de fabrico e o número do lote a que estas correspondem.
5. Recolha e cura de provetes – condição verificada para cada peça produzida.

Quanto aos resultados do emprego da ficha nº3 – Ficha de controlo de qualidade do betão produzido, estes são extremamente positivos, apresentando-se um controlo das propriedades do betão produzido. São conferidas as propriedades do betão fresco (*Slump Test*) e as propriedades no estado endurecido (ensaio de compressão de provetes cúbicos), preenchendo todos os campos definidos.

Salienta-se o facto de nesta unidade existir uma melhoria relativamente à ficha elaborada no que toca ao controlo do betão fresco (*Slump test*), registando-se a hora a que o ensaio é feito e ainda, se este é verdadeiro ou deformado.

Examinando estas duas fichas, entende-se que mesmo com a automatização a que esta etapa está sujeita, está igualmente provida de um programa de controlo de qualidade complementar.

7.4. Controlo do processo de fabrico

Antes de mais, julga-se interessante indicar o esquema diário de fabrico das peças empregue pela *Pavilis - Pré-Fabricação, S.A.*:

1. Da parte da manhã é efectuada a desmoldagem das peças betonadas no dia anterior, sendo de seguida transferidas para a área de acabamentos, e depois armazenadas por um período médio de 7 dias (ganho de resistência mecânica), antes do seu transporte final para obra.
2. Logo que as peças são desmoldadas, os moldes são limpos e preparados novamente.
3. Durante a tarde é efectuada nova moldagem de peças.

Dado o maior número de operações que o constituem, o controlo deste processo torna-se de mais difícil execução. Para a sua análise, aplicou-se a ficha nº4 – Ficha de controlo de qualidade do processo de fabrico, apresentando-se os resultados alcançados.

A análise desta ficha apresenta novamente um desfecho positivo. Os controlos efectuados neste processo vão quase na perfeição ao encontro dos que foram definidos na ficha. Todas as operações, desde a preparação do molde, passando pela moldagem e compactação da peça, até ao processo de desmoldagem (Figura 7.8), ostentam um controlo atento por parte do inspector de qualidade e dos operadores de cada secção. Chama-se apenas à atenção para o facto de não ser feito de forma tão cuidadosa como se pensa necessário, a verificação da aplicação do óleo desmoldante, pois no caso de ser incorrectamente aplicado poderá resultar em manchas ou perturbações no acabamento das peças.



Figura 7.8 – Processo de desmoldagem de uma viga.

De notar que, no processo de moldagem, o tempo de compactação não está “estabelecido”, dependendo logicamente da fluidez do betão e do funcionamento dos vibradores (externos e agulha), sendo por isso um processo que dependerá substancialmente da experiência dos trabalhadores encarregues dessa função.

Indica-se agora, a análise das restantes condições definidas na ficha nº4:

PRÉ-MOLDAGEM:

Molde

1. Estado de conservação / desgaste / limpeza – condição verificada pelo operador desta secção e confirmada pelo inspector de qualidade.
2. Alinhamento / estabilidade / rigidez / estanqueidade – verificado pelo operador desta secção e inspector de qualidade.
3. Verificação de cotas (comprimento, altura, largura) – confirmação pelo inspector de qualidade.

Armaduras activas e passivas

1. Estado das armaduras (inexistência de contaminação/defeitos) – verificado por operador desta secção.
2. Comprimento / classe das armaduras – comprovação feita pelo inspector de qualidade.
3. Disposição e estabilização das armaduras – conferido pelo inspector de qualidade.
4. Verificação da quantidade de cordões de pré-esforço – controlado pelo inspector de qualidade.
5. Adequado alinhamento e comprimento dos cordões de pré-esforço – apurado pelo inspector de qualidade (Figura 7.9).
6. Quantidade e disposição dos espaçadores – verificação feita pelo inspector de qualidade.

MOLDAGEM:

Moldagem e compactação do betão

1. Altura de descarga do betão – condição conferida automaticamente pelo equipamento utilizado.
2. Posicionamento e estabilização dos acessórios incorporados na peça – confirmação por parte do inspector de qualidade.

PÓS-MOLDAGEM:

Cura

1. Controlo da conservação da humidade – aferido pelo inspector de qualidade.
2. Controlo do tempo de cura – garantido pelo inspector de qualidade.
3. Controlo da temperatura do betão (em caso de cura térmica) – verificado pelo operador responsável por esse processo.

Pré-esforço

1. Fixação das ancoragens – Comprovação feita pelo inspector de qualidade.
2. Deslizamento nas cunhas – verificado pelo inspector de qualidade (Figura 7.11).
3. Verificação da resistência do betão para libertação do pré-esforço – confirmado pelo inspector de qualidade e operador de laboratório.
4. Valores de alongamento dos cordões dentro das tolerâncias normativas – controlado pelo inspector de qualidade (Figura 7.10).
5. Verificação do estado e cota das bainhas (caso de pós-tensão) – verificado pelo operador responsável.

Desmoldagem

1. Resistência mínima necessária no betão – verificação feita por parte do inspector de qualidade e operador de laboratório.
2. Retirada da peça pelos pontos definidos – garantido pelo operador do processo.
3. Elevação sem que existam embates na peça – verificado pelo operador do processo.

Nas Figuras 7.9, 7.10 e 7.11 estão evidenciados os diferentes controlos verificados em fábrica no âmbito do pré-esforço, e que vão de encontro com a ficha elaborada.



Figura 7.9 – Controlo do alinhamento dos cordões de pré-esforço.



Figura 7.10 – Controlo dos valores de alongamento sofrido pelos cordões.



Figura 7.11 – Controlo do deslizamento das cunhas.

Mais uma vez, conclui-se a presença de um programa de controlo de qualidade bastante eficiente, promovendo um fabrico de peças em que a qualidade estará seguramente garantida.

Controlo do manuseamento e transporte em fábrica

Este é um controlo que pretende determinar a correcta utilização dos equipamentos utilizados no manuseamento e transporte das peças, evitando desse modo que surja qualquer dano no elemento. Para a sua análise aplicou-se a ficha nº5 – Ficha de controlo de manuseamento e transporte em fábrica, sendo os resultados descritos de seguida.

Com a aplicação desta ficha, concluiu-se que a empresa respeita as duas condições determinadas, tendo cuidado na escolha dos equipamentos de elevação adequados à peça e evitando que esta entre em contacto com qualquer objecto que a possa danificar. Foi referido pelo inspector de qualidade que antes da produção das peças é tido em linha de conta a futura movimentação das mesmas, isto é, antes da sua produção é planeada a movimentação da peça (Figura 7.12).

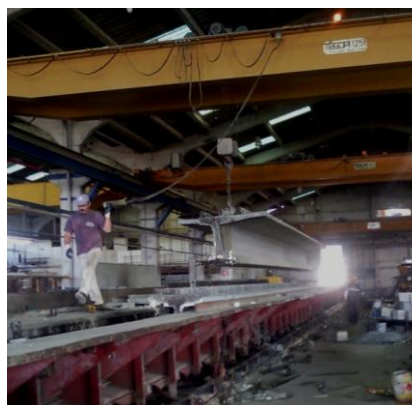


Figura 7.12 – Transporte interno da viga pré-fabricada.

Assim, a conjuntura observada vai de encontro ao controlo proposto para este processo, podendo-se afirmar o seu total cumprimento.

Controlo do produto final

Este controlo tem como objectivo a verificação da conformidade das características superficiais (acabamentos) e da geometria da peça. Aplicou-se para isso a ficha nº6 – Ficha de controlo de qualidade do produto final, estando os resultados comentados seguidamente.

A aplicação desta ficha confirma a existência de um controlo de qualidade exemplar nesta etapa do processo de fabrico, observando-se a presença de um local especialmente determinado para a verificação das características indicadas (Figura 7.13).



Figura 7.13 – Local destinado à inspecção final das peças – acabamentos e geometria.

Verifica-se uma inspecção geométrica da peça cumprindo todos os itens definidos (comprimento, largura, altura, alinhamento longitudinal, verticalidade da secção e espessura de recobrimento) e relativamente aos acabamentos, é conferido um tratamento estético à superfície da peça, removendo as pequenas anomalias verificadas (Figuras 7.14, 7.15 e 7.16).



Figura 7.14 – Peça antes da aplicação do tratamento estético (bolhas de pele).



Figura 7.15 – Peça depois da aplicação do tratamento estético.



Figura 7.16 – Tratamento de pequenas fracturas na peça.

Controlo do armazenamento das peças

A etapa de armazenamento finaliza o ciclo de fabrico das peças. Tal como já referido, o controlo deste processo é bastante importante. Assim, preencheu-se a ficha nº7 – Ficha de controlo de qualidade de armazenamento das peças, com o objectivo analisar o cumprimento das medidas propostas.

Da sua aplicação, resultou a verificação por parte do inspector de qualidade das seguintes condições:

1. Local de armazenamento (local firme, limpo, etc.).
2. Colocação das peças fora do contacto com o solo.
3. Verificação da estabilidade das peças, com a localização exacta de sulipas entre estas.

No entanto, não existe a execução da medida de protecção das esquinas das peças (Figura 7.17). Percebe-se que esta condição não é tão indispensável como as restantes (cumpridas nesta unidade), dado que, na realização de um cuidado manuseamento dos outros elementos será raro o choque e a consequente deterioração destas partes das peças.



Figura 7.17 – Armazenamento das peças sem protecção das esquinas.

7.5. Controlo do transporte final e montagem em obra

Foi referido neste estudo que iriam ser acompanhados os processos de transporte e montagem de uma viga T pertencente a um viaduto da obra pública da subconcessão da auto-estrada do Baixo Alentejo. No entanto, face a problemas decorrentes da forte crise financeira que se faz sentir no sector da construção civil, não foi possível que tal acontecesse. A obra em questão tem relevado diversos atrasos (devidos por exemplo a falta de financiamentos), impossibilitando a observação destes processos em tempo útil. Tentando minimizar este percalço, foi contactado telefonicamente o engenheiro da empresa *Pavicentro - Pré-Fabricação, S.A.* (empresa mãe do denominado grupo *Pavicentro*), responsável pela secção de planeamento destes dois processos, sendo simuladas a aplicação das fichas de controlo de qualidade elaboradas, ficha nº8 – Ficha de controlo de qualidade de transporte final das peças e ficha nº9 – Ficha de controlo de qualidade de montagem das peças.

Da simulação da ficha nº8 observa-se o cumprimento de todos os critérios estabelecidos. Resume-se de seguida essa verificação:

Saída da fábrica

1. Inspeção visual antes de carregar as peças – garantido pelo inspector de controlo de qualidade ou pelo operador responsável este processo.
2. Veículo de transporte adequado e em bom estado – conferido pelo inspector de qualidade.
3. Colocação das peças no veículo conforme o especificado – tarefa determinada pelo operador responsável pelo processo.
4. Peças correctamente estabilizadas e travadas – confirmação feita pelo inspector de controlo de qualidade.
5. Protecção das peças em zonas de contacto com cabos, correntes – garantido pelo operador responsável por esta tarefa (normalmente são utilizadas borrachas).

Chegada à obra

1. Acessos viáveis à obra e à plataforma de montagem – condição verificada pelo responsável da equipa de montagem.
2. Inspeção visual dos elementos antes da descarga – verificação pelo responsável da equipa de montagem.
3. Veículo estabilizado e imobilizado na operação de descarga – garantido pelo operador do veículo de transporte, sendo igualmente verificado pelo responsável pela equipa de montagem.

Relativamente à ficha nº9 – Ficha de controlo de qualidade de montagem das peças, da sua simulação resultou igualmente da verificação de todos os critérios definidos. Resume-se seguidamente essa verificação:

1. Terreno nivelado e compactado para o funcionamento dos equipamentos de elevação – condição avaliada pelo responsável da equipa de montagem, bem como pelo operador do equipamento de elevação.
2. Local apropriado para o armazenamento das peças em obra – esta situação não é usual na montagem de vigas, pois são imediatamente montadas aquando da sua chegada a obra, no entanto, foi explicado que no caso de construções de pavilhões industriais, esta condição é verificada pelo responsável da equipa de montagem.

3. Verificar se as condições atmosféricas garantem a execução do processo – esta condição é conferida pelo responsável pelo processo de montagem, no entanto, é fácil entender que só em casos pontuais (elevados raios de operação e tonelagens) é que esta situação é verdadeiramente condicionante.
4. Libertação das peças apenas quando estas se encontrem estabilizadas na sua posição final – verificado pelo responsável pelo processo.
5. Inspeção visual das peças e ligações no fim do processo – garantido pelo responsável pelo processo, verificando o alinhamento e nivelamento das peças.

Analisando a simulação de aplicação das respectivas fichas a estes dois processos, observa-se que estão totalmente de acordo, cumprindo todos os critérios propostos.

7.6. Considerações finais

Da realização deste caso de estudo, concluiu-se a verificação de quase todos os critérios definidos nas nove fichas. Este era o resultado esperado, visto que esta empresa foi uma das primeiras a obter a certificação do seu sistema de gestão integrado de qualidade e segurança com base na ISO 9001, bem como a marcação CE dos seus produtos.

Deste modo, verifica-se já uma consciência de qualidade, existindo um inspetor de qualidade e um sistema de controlo definido também por fichas de controlo de qualidade. Ainda assim, a aplicação das fichas elaboradas neste manual evidenciou que é ainda possível otimizar o sistema presente nesta empresa.

Por outro lado, concluiu-se que as fichas definidas apresentam uma aplicabilidade em fábrica bastante simples, resumindo-se a um simples preenchimento e estando determinadas de forma a que até os operadores menos instruídos as possam utilizar.

Finalizado o caso de estudo, o capítulo seguinte irá apresentar as conclusões deste estudo, verificando até que ponto os objectivos desta dissertação foram cumpridos.

8. Conclusões

Este estudo de investigação tinha como propósito final a elaboração de um manual de controlo de qualidade para construções pré-fabricadas. Desta forma, foram descritos e analisados os métodos de aplicação mais usados na produção, transporte e montagem das peças pré-fabricadas. Pretendeu-se resumir medidas de controlo de qualidade, para que na realização destes processos o volume de peças rejeitadas fosse mínimo. Foram assim recolhidas informações para a elaboração de um manual de simples aplicação, concretizado com a criação de nove fichas de controlo de qualidade constituídas por critérios a verificar.

Com o objectivo de aproximar o máximo possível esta investigação à realidade do sector de pré-fabricação em Portugal, foram feitas várias visitas à unidade fabril da empresa *Pavilis – Pré-Fabricação, S.A.*, bem como a realização de um caso de estudo de uma viga T pré-esforçada, fabricada nesta empresa e sendo parte integrante de um viaduto.

Depois, procedeu-se à descrição de todo o ciclo de pré-fabricação, dividindo-o em três fases – fase de pré-fabrico, fase de fabrico e fase de pós-fabrico.

Na fase de pré-fabrico, analisou-se a necessidade de garantir a utilização de materiais que respeitem os requisitos determinados, condição essencial para a definição de peças com a qualidade desejada. Reservou-se um capítulo para o fabrico de betão, visto perceber-se a sua relevância na definição destes elementos. Concluiu-se que a produção de um betão de qualidade depende do estabelecimento de um plano de monitorização e verificação no decorrer do processo, nomeadamente nas operações de dosagem e mistura do betão, para além de que se tornam irrealizáveis todas as operações subsequentes, aquando da presença de um betão que não cumpra os requisitos especificados. Importa frisar que nesta etapa, alguns processos apresentam já um controlo intrínseco, visto serem orientados de forma quase totalmente automatizada.

Na sequência do ciclo de pré-fabricação, foram analisados os cuidados e controlos a ser praticados nas várias operações do fabrico propriamente dito (fase de fabrico). Este período é caracterizado pela maior propensão à ocorrência de falhas, visto ser necessária uma maior participação humana, bem como um maior tempo e complexidade de actividades em fábrica.

No que diz respeito à última fase – pós-fabrico – foram analisados os processos de transporte final e montagem das peças. A verificação destas últimas etapas tem uma importância particular, dado que nesta fase, a ocorrência de danos nas peças poderá determinar a sua rejeição em obra, provocando um elevado prejuízo económico ao fabricante. Estes processos terão de ser sujeitos a um plano de organização rigoroso, de modo a respeitar os valores temporais, de conformidade e qualidade.

Finalizada a descrição do ciclo de pré-fabricação, foi realizado um caso de estudo baseado no acompanhamento dos processos de produção, transporte e montagem de uma viga T integrante de um viaduto. O seu desenvolvimento permitiu observar a aplicabilidade do programa elaborado, conferindo assim um dos objectivos propostos para esta dissertação. Foi possível perceber que as

fichas de controlo de qualidade são facilmente aplicáveis, o que só por si se revela como uma grande vantagem deste sistema, podendo ser posto em prática de forma simples e rápida, apurando os seus resultados. Outro aspecto que importa salientar tem a ver com a verificação quase na totalidade dos critérios propostos, isto numa empresa que apresenta um sistema de gestão da qualidade certificado com base na ISO 9001, já de alguns anos a esta parte, o que vem mostrar a boa adaptação deste manual à realidade do sector da pré-fabricação em Portugal.

Nesta segunda fase de conclusões será analisada a utilidade do estudo realizado. Começando com o objectivo principal desta dissertação, entende-se que serão as empresas que não apresentam sistemas de gestão da qualidade as principais beneficiadas com a realização deste trabalho. O conceito desta dissertação tem como alvo as empresas que não apresentam um sistema de controlo de qualidade implementado e conseqüentemente um sistema de gestão da qualidade. Em Portugal serão as PME as que mais se inserem nesta situação, visto que as grandes empresas naturalmente já apresentam sistemas de gestão da qualidade, certificados com base na ISO 9001.

As vantagens da aplicação deste programa de controlo são evidentes, tendo uma aplicabilidade em fábrica que se pensa simplificada, sendo uma ferramenta essencial à implementação de um sistema de gestão da qualidade e conseqüentemente à obtenção da certificação de qualidade da empresa. Sublinha-se a ideia de que o estabelecimento do programa de controlo de qualidade promove também a boa imagem da empresa, começando a ser vista como confiável, competitiva e sinónimo de qualidade. Com o estudo efectuado, entende-se que dada a competitividade do mercado actual, as empresas que apresentam estratégias de qualidade são as que sobressaem, possibilitando o seu crescimento.

O contacto com o sector da pré-fabricação permitiu apreender que no panorama actual, a modernização e evolução deste sector não é mais uma tendência e, sim, uma realidade e necessidade. Percebe-se que as acções que levam a uma diminuição dos custos, ao aumento da produtividade e ao incremento da qualidade nos processos de produção, transporte, e montagem e conseqüentemente no produto final pré-fabricado, estão dependentes da evolução e melhoria contínua das diferentes actividades constituintes destes processos, não podendo o controlo de qualidade ser visto como um custo, mas sim como um investimento.

De forma mais generalizada, evoluir no sentido de aperfeiçoar-se como indústria é um caminho a seguir pelo sector da construção civil, em que os conceitos de organização, planeamento, repetição e eficiência dos processos de produção são essenciais para a sua evolução. O recurso à pré-fabricação promove a aproximação a esses conceitos. A sua produção em ambientes regidos pelo controlo de qualidade de todos os processos constituintes diferencia esta solução construtiva da construção tradicional. Além de reduzir os desperdícios, a utilização de pré-fabricados apresenta a vantagem de redução do tempo de execução da obra, representando para o cliente um significativo ganho na redução de custos fixos.

Em suma, a definição (com qualidade) deste sistema construtivo, facilita o planeamento da obra, promove a concepção de obras com qualidade e diminui os seus custos. Todos estes factores levam ao crescimento desta solução construtiva, onde na realidade irá de encontro à actual urgência das empresas de construção em reduzirem a quantidade de desperdícios, optimizarem o tempo de execução e essencialmente o custo total da obra.

Dito isto, entende-se que a pré-fabricação deve ser vista como uma alternativa credível para o desenvolvimento eficiente, planeado e organizado de construções com qualidade.

Por último, apesar da crença na aplicabilidade e qualidade do manual de controlo desenvolvido, acredita-se que este pode ser ampliado e melhorado. Somente com a análise a outras fábricas e acompanhamento de mais obras, se conseguirá perceber as deficiências do sistema de controlo de qualidade definido neste manual.

9. Bibliografia

ACI 116R-90. (2000). Cement and Concrete Terminology . USA: ACI.

AGUIAR, J. L. (1996). Controlo da produção de betões. Produção, Colocação e Controlo de Conformidade dos Betões (NPENV206), (pp. 49-60). Universidade do Minho.

ALBARRAN, E. G. (2008). Construção com Elementos Pré-fabricados em Betão. Adaptação de uma Solução Estrutural “*in situ*” a uma Solução Pré-fabricada. Lisboa: Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, IST.

ALVES, A. E. (Agosto 1994). Modelo de garantia de qualidade em pavimentos pré-fabricados constituídos por vigotas de betão pré-esforçado, blocos de cofragem e betão complementar colocado em obra. Lisboa: Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Construção, IST.

Approved Code of Practice for The Safe Handling, Transportation and Erection of Precast Concrete (2002). Wellington, New Zealand: Occupational Safety and Health Service, Department of Labour.

AXIS. (1996). Optimal decision model for quality control of precast concrete elements using expert systems. CRAFT.

BRITO, J. D., & FLORES, I. (Outubro 2005). Diagnóstico, Patologias e Reabilitação na construção em Betão Armado. Lisboa: Aparentamentos da cadeira de Patologia e Reabilitação na Construção, IST.

BRUMATTI, D. (2008). Uso de pré-moldado - Estudo e Viabilidade. Vitória, Brasil: Monografia para obtenção do título de especialista em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais.

CAMARINI, G. (1995). Desempenho de misturas de cimento Portland e escória de alto forno à cura térmica. São Paulo: Tese de doutoramento - EPUSP.

COSTA, A., & APPLINGTON, J. (2002 (Revisto em 2008)). Estruturas de Betão I . Parte II - Materiais . Grupo de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado - IST.

COUTINHO, A. D., & GONÇALVES, A. (1994). Fabrico e Propriedades do Betão, Volume III. Lisboa: LNEC.

COUTINHO, A. D., & GONÇALVES, A. (1988). Fabrico e Propriedades do Betão, Volume I. Lisboa: LNEC.

COUTINHO, J. D. (1999). Materiais de Construção I - Agregados para Argamassas e Betões. Porto: FEUP.

DEBS, M. K. (2000). Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações. São Paulo: EESC-USP.

FERREIRA, E. M. (Setembro 2001). Passadiços Prefabricados de Betão - Concepção e Projecto - Minho: Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Civil, especialização em Estruturas, Geotecnia e Fundações. Universidade do Minho, Escola de Engenharia.

FIB - Fédération Internationale du Béton. (2008). Structural connections for precast concrete buildings. Suíça: Bulletin 43.

FIGUEIRA, M. D. (2010). Certificação e Conformidade - IPQ. Conferência Semana Europeia das PME 2010.

FLORES, I., ALEIXO, J., COUTO, J., PENEDA, S., BRITO, J. D., & CORREIA, J. R. (2010). Patologia e Reabilitação na Construção . Anomalias em Betão Armado e Pré-Esforçado . Lisboa: Apontamentos IST.

GANICHO, L. Pré-fabricação - Montagem em condições especiais/avaliação de riscos e solução (caso de estudo). Espinho, Portugal: PAVICENTRO.

GOMES, A., & PINTO, A. P. (2008/2009). Materiais de construção I - Apontamentos das Aulas Teóricas. Módulo 14 - Betão . Lisboa: Mestrado Integrado em Engenharia Civil, IST.

HARTAMNN, C. (Novembro de 2005). Formas estruturais de argamassa e concreto para elementos de concreto armado. Revista Técnica, nº104.

HELENE, P., & TERZIAN, P. (1993). Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo: PINI.

IGLESIA, T. B. (2006). Sistemas Construtivos em Concreto Pré-Moldado. São Paulo: Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil - Universidade Anhembi Morumbi.

Ingenium, nº124 (2011) (pp. 16-46). Revista da Ordem dos Engenheiros.

LEVINE, D. I., & TOFFEL, M. W. (2010). Quality Management and Job Quality: How the ISO 9001 Standard for Quality Management Systems Affects Employees and Employers . Harvard Business School.

LEVITT, M. (1982). Precast Concrete - Materials, Manufacture, Properties and Usage. London: Applied Science Publishers.

Manual do concreto dosado em central (2007). Brasil - SP: ABESC - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil.

MARTINS, J. L. (2000). Encontro Nacional de Betão Estrutural. Alguns exemplos de pré-fabricação de pontes e viadutos. Porto.

MÉLO, A. B. (1996). Estudo da Cura Térmica (vapor) Sob Pressão Atmosférica na Produção de Elementos Pré-Moldados. São Paulo: Dissertação Mestrado - EESC- USP.

Mestrado em Engenharia de Estruturas. (2006). Ligações nas Estruturas Pré-Fabricadas. Lisboa: IST.

MOREIRA, K. A. (Julho 2009). Estudo das Manifestações Patológicas na produção de Pré-Fabricados de Concreto. Curitiba: Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

NETO, S. R., SERRA, S. M., & FERREIRA, M. A. (2009). Relatório de Pesquisa de Iniciação Científica. Logística no Transporte e Montagem de Estruturas Pré-Moldadas de Concreto.

NEVILLE, A. M. (1995). Properties of concrete. Fourth edition. England: Longman Group.

NEVILLE, A., & BROOKS, L. (1997). In Concrete technology (p. 438). England: Longman Group.

NPCA. (Janeiro 2011). NPCA Quality control manual for Precast and Prestressed Concrete plants. USA: National Precast Concrete Association.

PCI Erectors Committe. (1985). Recommended Practice for Erection of Precast Concrete. Precast Concrete Institute.

PINHO, M. O. (2005). Transporte e Montagem. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia da construção em aço.

PIRES, C. (2009). Marcação CE numa PME de pré-fabricados de betão.

REIS, A. (2000). Encontro Nacional de Betão Estrutural. Estética e integração ambiental no projecto de pontes. Porto.

SILVA, A. M. (1998). Ligações entre elementos pré-fabricados em betão. Lisboa: Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Estruturas, IST. Sistemas de transporte e de montagem para a indústria de pré-fabricados em betão. Aschaffenburg: PHILIPP GROUP.

TRIGO, J. A. (2000). Contribuição da pré-fabricação de betão para a garantia da qualidade das obras. 1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão (pp. 43-50). Porto: Comunicações.

VIEGAS, J. B., & SARAIVA, F. (2010). Estruturas Pré-fabricadas em Portugal - Uma visão da pré-fabricação em betão em Portugal. Seminário Internacional – Estruturas Pré-fabricação em Betão, Pré-fabricação no Mundo. Lisboa.

VSL. (Janeiro 2010). Sistemas de Pré-esforço. Lisboa: IST - Execução de Estruturas.

Regulamentação/Normalização/Especificação

ASTM C232 / C232M - 09 Standard Test Methods for Bleeding of Concrete.

NBR 9062. (Dezembro 2001). Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Brasil: ABNT.

NP EN 13369:2010. (Abril 2010). Regras gerais para produtos prefabricados de betão. Lisboa: IPQ.

NP EN 197-1:2001. (2001). Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes. Lisboa: IPQ.

NP EN 206-1:2007. (Junho 2007). Betão - Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade. Lisboa: IPQ.

NP EN 934-2:2009. (2009). Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção. Parte 2: Adjuvantes para betão. Definições, requisitos, conformidade, marcação e etiquetagem. Lisboa: IPQ.

NP EN ISO 9000:2005. (2005). Sistema de gestão da qualidade - Fundamentos e vocabulário . Lisboa: IPQ.

NP EN ISO 9001:2008. (Novembro 2008). Sistemas de Gestão da Qualidade. Lisboa: IPQ.

Portaria nº 472 - Regulamento de Autorizações Especiais de Trânsito (2007). Lisboa: Ministérios da Administração Interna e das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.

Sites consultados

ILMAR. (s.d.). Obtido em Junho de 2011, de web site de Ilmar, Lda: <http://www.ilmar.pt>

LASO. (s.d.). Obtido em Setembro de 2011, de web site de LASO Transportes, S.A.: <http://www.laso.pt>

LIEBHERR. (s.d.). Obtido em Agosto de 2011, de web site de LIEBHERR - Portugal: <http://www.liebherr.com/pt-PT/>

LNEC. (s.d.). Obtido em Setembro de 2011, de web site de LNEC: <http://www.lnec.pt/qpe/>

PRESTA, Lda. (2004). Obtido em Abril de 2011, de web site de PRESTA, Lda: <http://www.presta.com.pt/produtos/index.php>

QSP. (s.d.). Obtido em Maio de 2011, de Qualidade Siderúrgica Portuguesa: <http://www.qsp.pt/>
Solenha. (2005). Obtido em Agosto de 2011, de web site de Solenha - Transportes especiais: <http://www.solenha.pt>

SOVEPER. (s.d.). Obtido em Abril de 2011, de web site de Soveper, Lda: <http://soveper.lida.pt/>

10. Anexos

**ANEXO I – Ficha de controlo de qualidade de
materiais (ficha nº1)**

A.Cunha	CONCEPÇÃO DE PEÇAS DE BETÃO PRÉ -FABRICADO 1. FICHA DE CONTROLO DE QUALIDADE DE MATERIAIS	Material: _____ Data: _____ / _____ / _____
----------------	---	--

País / Distrito: _____ Fornecedor / Fabricante: _____

Quantidade: _____

Condições climáticas: _____

Local de armazenamento: Estaleiro da fábrica
 Fora do estaleiro da fábrica: _____

Critérios de aprovação		C	NC	COMENTÁRIOS
Conformidade da guia com a encomenda.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rejeição do material.
Inspecção visual do material (conformidade com a aparência normal, existência de impurezas ou contaminações).		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rectificação e/ou rejeição do material.
Estado do local de armazenamento (ausência de contaminações).		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.

Anexos		SIM	NÃO	
Recolha de Amostras		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Designação do ensaio: _____				
Resultado: _____				

APROVAÇÃO SIM
 NÃO

Razão(s) da não aprovação: _____

Responsável: _____
(Assinatura)

C - Conforme
 NC - Não Conforme

**ANEXO II – Fichas de controlo de qualidade
do betão (ficha nº2 e 3)**

Programa de betão: _____

Ref.^a Desenho / Peça: _____

Condições climatéricas: _____

Ref.^a Obra / Cliente: _____

Designação do betão	Classe de Resistência	Exposição	Cloretos	D _{máx}	Classe de consistência

Crítérios de Aprovação

COMENTÁRIOS

C NC

Conformidade das quantidades da composição prevista (cimento, água, agregados, adjuvantes, adições) pesadas e/ou medidas em volume.

Rectificação da dosagem.

Teor de humidade dos agregados.

Rectificação da dosagem.

Relação A/C registada.

Rectificação da dosagem de água / cimento.

Temperatura do betão fresco? 5 °C ou temp. especificada.

Cancelamento da moldagem da peça.

Mistura adequada (inexistência de segregação, exsudação, etc.).

Solicitação de apoio do laboratório interno.

Anexos

Amostragem	Nº Amostra	Hora fabrico	Lote

Provetes

Cúbicos

Cilíndricos (raro em Portugal)

Ambiente controlado

Cura dos provetes

Junto à peça (peças pré-esforçadas)

Observações: _____

Responsável: _____
(Assinatura)

A.Cunha	CONCEPÇÃO DE PEÇAS DE BETÃO PRÉ-FABRICADO 3. FICHA DE CONTROLO DE QUALIDADE DO BETÃO PRODUZIDO	Central: _____ Data: ____ / ____ / ____
----------------	---	--

Programa de betão: _____	Ref. ^a Desenho / Peça: _____
Condições climatéricas: _____	Ref. ^a Obra / Cliente: _____

BETÃO FRESCO						
SLUMP [cm]	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3	
ABAIXAMENTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	C	NC	C	NC	C	NC

Comentários: Rejeição no caso dos valores se apresentarem fora das tolerâncias normativas.

ENSAIO DE COMPRESSÃO [15 x 15cm]								
Cubo nº	Classe	Data de fabrico	Data de Ensaio	Idade [horas]	Idade [dias]	Massa [Kg]	Rotura	
							Força [kN]	Tensão [MPa]

Comentários: Avaliação das características especificadas para o betão no estado endurecido.

APROVAÇÃO	<input type="checkbox"/>	SIM
	<input type="checkbox"/>	NÃO

Razão(s) da não aprovação: _____

Responsável: _____
(Assinatura)

**ANEXO III – Fichas de controlo do processo
de fabrico (ficha nº4,5,6 e 7)**

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">A.Cunha</div>	CONCEPÇÃO DE PEÇAS DE BETÃO PRÉ-FABRICADO 4. FICHA DE CONTROLO DE QUALIDADE DO PROCESSO DE FABRICO DAS PEÇAS	Peça: _____ Data: ____ / ____ / ____
--	---	---

País / Distrito: _____	Ref.ª Desenho / Peça: _____
Quantidade: _____	Ref.ª Obra / Cliente: _____

	C	NC	COMENTÁRIOS
Pré-Moldagem			
Moldes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata e nova aplicação.
Armaduras activas e passivas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
Moldagem			
Moldagem e compactação	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Solicitação de análise por parte de um responsável da qualidade.
Pós-Moldagem			
Cura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
Pré-esforço	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Solicitação da análise dos valores.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Aguardar para nova verificação.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
Desmoldagem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Suspensão do processo.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Análise dos danos causados.
Responsável: _____ <div style="text-align: center; font-size: small;">(Assinatura)</div>			

A. Cunha	CONCEÇÃO DE PEÇAS DE BETÃO PRÉ-FABRICADO	Peça: _____
	5. FICHA DE CONTROLO DE QUALIDADE DE MANUSEAMENTO E TRANSPORTE EM FÁBRICA	Data: _____ / _____ / _____

País / Distrito: _____	Ref. ^a Desenho / Peça: _____
	Ref. ^a Obra / Cliente: _____

Critérios de aprovação	C	NC	COMENTÁRIOS
Utilização de equipamentos de elevação e transporte em bom estado e adequados ao tipo e peso da peça e aos acessórios de elevação.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata e verificação de possíveis anomalias na peça.
Manuseamento e transporte da peça sem que ocorra qualquer dano.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Solicitar a análise e correcção em caso de danos.

APROVAÇÃO	<input type="checkbox"/>	SIM	<input type="checkbox"/>	NÃO
-----------	--------------------------	-----	--------------------------	-----

Razão(s) da não aprovação: _____

Responsável: _____

(Assinatura)

A. Cunha	CONCEPÇÃO DE PEÇAS DE BETÃO PRÉ-FABRICADO 6. FICHA DE CONTROLO DE QUALIDADE DO PRODUTO FINAL	Peça: _____ Data: ____ / ____ / ____
-----------------	---	---

País / Distrito: _____	Ref. ^a Desenho / Peça: _____
	Ref. ^a Obra / Cliente: _____

Inspecção Final da peça																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 35%; text-align: left; padding: 5px;">Geometria da peça</th> <th style="width: 10%; text-align: center; padding: 5px;">C</th> <th style="width: 10%; text-align: center; padding: 5px;">NC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">Inspecção visual do aspecto geral da peça.</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Comprimento.</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Largura.</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Altura.</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Alinhamento longitudinal.</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Verticalidade da secção transversal.</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Espessura de recobrimento.</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>	Geometria da peça	C	NC	Inspecção visual do aspecto geral da peça.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Comprimento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Largura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Altura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Alinhamento longitudinal.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Verticalidade da secção transversal.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Espessura de recobrimento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 5px;">COMENTÁRIOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">Verificar se é aplicável/rectificação.</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Verificar se é aplicável/rectificação.</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Verificar se é aplicável/rectificação.</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Verificar se é aplicável/rectificação.</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Verificar se é aplicável/rectificação.</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Verificar se é aplicável/rectificação.</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Verificar se é aplicável/rectificação.</td> </tr> </tbody> </table>	COMENTÁRIOS	Verificar se é aplicável/rectificação.	Verificar se é aplicável/rectificação.	Verificar se é aplicável/rectificação.	Verificar se é aplicável/rectificação.	Verificar se é aplicável/rectificação.	Verificar se é aplicável/rectificação.	Verificar se é aplicável/rectificação.
Geometria da peça	C	NC																																
Inspecção visual do aspecto geral da peça.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Comprimento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Largura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Altura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Alinhamento longitudinal.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Verticalidade da secção transversal.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Espessura de recobrimento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
COMENTÁRIOS																																		
Verificar se é aplicável/rectificação.																																		
Verificar se é aplicável/rectificação.																																		
Verificar se é aplicável/rectificação.																																		
Verificar se é aplicável/rectificação.																																		
Verificar se é aplicável/rectificação.																																		
Verificar se é aplicável/rectificação.																																		
Verificar se é aplicável/rectificação.																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 35%; text-align: left; padding: 5px;">Acabamentos</th> <th style="width: 10%; text-align: center; padding: 5px;">C</th> <th style="width: 10%; text-align: center; padding: 5px;">NC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">Existência de anomalias no elemento (fissuras, bolhas de pele, fracturas, ninhos de brita, etc.).</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Aparência estética (uniforme na coloração; ausência de manchas).</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>	Acabamentos	C	NC	Existência de anomalias no elemento (fissuras, bolhas de pele, fracturas, ninhos de brita, etc.).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Aparência estética (uniforme na coloração; ausência de manchas).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">Solicitar a análise e correcção das anomalias.</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Solicitar a correcção da aparência.</td> </tr> </tbody> </table>	Solicitar a análise e correcção das anomalias.	Solicitar a correcção da aparência.																					
Acabamentos	C	NC																																
Existência de anomalias no elemento (fissuras, bolhas de pele, fracturas, ninhos de brita, etc.).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Aparência estética (uniforme na coloração; ausência de manchas).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
Solicitar a análise e correcção das anomalias.																																		
Solicitar a correcção da aparência.																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; padding: 5px;">APROVAÇÃO</td> <td style="width: 10%; text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="width: 10%; text-align: center; padding: 5px;">SIM</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"></td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">NÃO</td> </tr> </table>			APROVAÇÃO	<input type="checkbox"/>	SIM		<input type="checkbox"/>	NÃO																										
APROVAÇÃO	<input type="checkbox"/>	SIM																																
	<input type="checkbox"/>	NÃO																																
Razão(s) da não aprovação: _____ _____ _____																																		
Responsável: _____ <small>(Assinatura)</small>																																		

A.Cunha	CONCEPÇÃO DE PEÇAS DE BETÃO PRÉ-FABRICADO 7. FICHA DE CONTROLO DE QUALIDADE DE ARMAZENAMENTO DAS PEÇAS	Peça: _____ Data: _____ / _____ / _____
----------------	---	--

País / Distrito: _____	Ref. ^a Desenho / Peça: _____
	Ref. ^a Obra / Cliente: _____

Critérios de aprovação		C	NC	COMENTÁRIOS
Estado do local de armazenamento (local firme, limpo, etc.).		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
Colocação das peças fora do contacto com o solo.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata e verificação de possíveis anomalias na peça.
Verificação da estabilidade das peças, com a localização exacta de sulipas entre estas.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata e verificação de possíveis anomalias na peça.
Protecção das esquinas das peças.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata e verificação de possíveis anomalias na peça.

APROVAÇÃO	<input type="checkbox"/>	SIM
	<input type="checkbox"/>	NÃO

Razão(s) da não aprovação: _____

Responsável: _____

(Assinatura)

**ANEXO IV – Ficha de controlo do transporte
final (ficha nº8)**

A.Cunha	CONCEPÇÃO DE PEÇAS DE BETÃO PRÉ-FABRICADO	Peça: _____
	8. FICHA DE CONTROLO DE QUALIDADE DO TRANSPORTE FINAL DAS PEÇAS	Data: _____ / _____ / _____

País / Distrito: _____	Ref. ^a Desenho / Peça: _____
Quantidade: _____	Ref. ^a Obra / Cliente: _____
Condições climatéricas: _____	

Critérios de aprovação	C	NC	COMENTÁRIOS
Saída da fábrica			
Inspeção visual antes de carregar o material.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Análise e correcção de possíveis não conformidades.
Veículo de transporte adequado e em bom estado.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata, ou cancelamento do processo.
Colocação das peças no veículo conforme o especificado.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
Peças correctamente estabilizadas e travadas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
Protecção das peças em zonas de contacto com cabos, correntes, etc.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Verificação de possíveis danos.
Chegada à obra			
Acessos viáveis à obra e à plataforma de montagem.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
Inspeção visual dos elementos antes da descarga.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Análise dos danos verificados.
Veículo estabilizado e imobilizado na operação de descarga.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.

APROVAÇÃO	<input type="checkbox"/>	SIM
	<input type="checkbox"/>	NÃO

Razão(s) da não aprovação: _____

Responsável: _____

(Assinatura)

**ANEXO V – Ficha de controlo de montagem
das peças (ficha nº9)**

A.Cunha	CONCEPÇÃO DE PEÇAS DE BETÃO PRÉ-FABRICADO 9. FICHA DE CONTROLO DE QUALIDADE DE MONTAGEM DAS PEÇAS	Peça: _____ Data: ____ / ____ / ____
----------------	--	---

País / Distrito: _____	Ref. ^a Obra / Cliente: _____
Quantidade: _____	Ref. ^a Desenho: _____
Condições climatéricas: _____	

Critérios de aprovação	C	NC	COMENTÁRIOS
Terreno nivelado e compactado para o funcionamento dos equipamentos de elevação.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
Local apropriado para o armazenamento das peças em obra.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
Verificar se as condições atmosféricas garantem a execução do processo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Suspensão do processo.
Libertação da peça apenas quando esta se encontre estabilizada na sua posição final.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Correcção imediata.
Inspecção visual das peças e ligações no fim do processo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Análise e correcção dos danos verificados.

APROVAÇÃO	<input type="checkbox"/>	SIM
	<input type="checkbox"/>	NÃO

Razão(s) da não aprovação: _____

Responsável: _____

(Assinatura)

