

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURA E CONSTRUÇÃO CIVIL**

**“DIRETRIZES PARA PRÁTICAS DE QUALIDADE NAS DIFERENTES  
ETAPAS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE LAJES ALVEOLARES  
DE CONCRETO PROTENDIDO”**

**ROMÃO MANUEL L.C. DIREITINHO**

**São Carlos**

**2015**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

**“DIRETRIZES PARA PRÁTICAS DE QUALIDADE NAS DIFERENTES  
ETAPAS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE LAJES ALVEOLARES  
DE CONCRETO PROTENDIDO”**

**ROMÃO MANUEL L.C. DIREITINHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Estruturas e Construção Civil.

**Área de Concentração:** Sistemas Construtivos

**Orientador:** Prof. Dr. Marcelo de Araujo Ferreira

**São Carlos**

**2015**

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar  
Processamento Técnico  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D598d      Direitinho, Romão Manuel Leitão Carrapato  
Diretrizes para práticas de qualidade nas  
diferentes etapas do processo de produção de lajes  
alveolares de concreto protendido / Romão Manuel  
Leitão Carrapato Direitinho. -- São Carlos : UFSCar,  
2016.  
169 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de  
São Carlos, 2015.

1. Laje alveolar. 2. Pré-moldado. 3. Processo de  
produção. 4. Controle de qualidade. I. Título.



**Folha de Aprovação**

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Romão Manuel Leitão Carrapato Direitinho, realizada em 11/02/2015:

Prof. Dr. Marcelo de Araújo Ferreira  
UFSCar

Prof. Dr. Jose da Costa Marques Neto  
UFSCar

Prof. Dr. Libânio Miranda Pinheiro  
USP

**ROMÃO MANUEL L.C. DIREITINHO**

**“DIRETRIZES PARA PRÁTICAS DE QUALIDADE NAS DIFERENTES ETAPAS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE LAJES ALVEOLARES DE CONCRETO PROTENDIDO”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Estruturas e Construção Civil.

**Área de Concentração:** Sistemas Construtivos

*DEDICATÓRIA*

---

*Dedico este trabalho ao meu pai de criação, Manuel  
Coelho Cambé, que sempre acreditou mais em mim do  
que eu próprio*

## AGRADECIMENTOS

---

Antes de mais nada quero agradecer a Deus, por me manter vivo até agora.

À minha mãe, minha melhor amiga, e minha companheira de todas as horas. Sem ti eu não seria nada, mãe.

À minha irmã, que mesmo lá longe, vibra com as minhas vitórias, e sofre com as minhas derrotas.

À minha sobrinha, que eu tanto amo, e de quem tenho pena que eu não possa acompanhar o seu crescimento como tanto gostaria.

Ao meu cunhado, que para mim é o irmão que nunca tive, e que hoje em dia também se encontra distante da família.

Ao César Luis, que me veio ensinar um amor maior que todos os outros, e cuja ausência me faz sofrer bastante. Ele é o filho que eu gostaria de ter tido até agora e que não tive.

À Nádia, pela sua paciência, pelo seu apoio e companheirismo neste último mais de ano e meio de convivência. Oxalá possamos trilhar mais caminhos juntos.

À UFSCar, que me permitiu revalidar o meu diploma de Engenharia Civil no Brasil, o que para mim foi um marco importante.

Aos meus Professores da graduação em São Carlos, especialmente aos Professores Simar Vieira Amorim e Douglas Barreto, que para além disso mais tarde me ajudaram a resolver problemas administrativos junto do CREA para que eu pudesse finalmente obter o meu registro definitivo enquanto engenheiro civil.

Aos meus Professores da Pós-Graduação, pelo acréscimo de conhecimento que me proporcionaram durante a mesma.

Ao meu orientador, Professor Dr. Marcelo de Araujo Ferreira, por ter acreditado em mim quando ninguém me conhecia na UFSCar e me ter incentivado sempre durante a dissertação.

À Professora Dr<sup>a</sup>. Sheyla Mara Batista Serra, pela ajuda que me prestou sempre que precisei, nomeadamente na composição de artigos científicos.

Às empresas Weiler e Marka, cujos responsáveis se mostraram disponíveis para visitas e entrevistas que foram contribuições fundamentais para a pesquisa.

Ao NETPRE e à Bruna Catoia, que me forneceram respetivamente o apoio logístico e a amizade de que precisei.

Finalmente à FINEP e à CAPES, que me proporcionaram a base financeira para que eu me pudesse concentrar no trabalho, sem o que esta pesquisa não seria possível.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

*“Senhor, dai-me a capacidade de aceitar aquilo que não posso mudar, a coragem para mudar aquilo que posso, e a sabedoria para distinguir umas coisas das outras”*

## RESUMO

A industrialização no setor da construção civil brasileira é uma tendência crescente, ao mesmo tempo que a necessidade do cumprimento de prazos cada vez mais apertados vai aumentando, assim como os custos de mão de obra, sendo obrigatório manter-se os padrões de qualidade das obras e a competitividade das empresas. Nesse sentido, os pré-fabricados em concreto são uma solução cada vez mais válida e entre eles, os pisos em lajes alveolares de concreto protendido (LACP), como elemento de um sistema construtivo de ciclo aberto. Essas lajes podem ser aplicadas nos mais variados segmentos e nas mais variadas tipologias. A norma ABNT NBR 14861:2011 é ainda bastante recente, e contempla um conjunto de cuidados de controle de qualidade para a execução de lajes alveolares em concreto protendido, embora se julgue que o respectivo grau de detalhe poderia ser melhorado. Por outro lado, a norma acaba focando esses cuidados mais segundo abordagens de projeto e de produto, e não tanto numa abordagem por processos. Existe também alguma dificuldade no fluxo de informações e conhecimentos entre os meios acadêmicos e as empresas em geral. A dissertação faz uma análise detalhada da produção de lajes alveolares em concreto protendido, segundo os respectivos processos, desde que os insumos entram nas fábricas, até que a capa estrutural é executada em canteiro. O macro-processo de produção é dividido em várias etapas de complexidade menor, e é feita uma listagem detalhada dos procedimentos de controle de qualidade necessários, e de uma forma simples e prática. Desse modo, consegue-se estabelecer como que um guia de boas práticas de controle de qualidade para a produção de LACP, o qual é depois sistematizado através de um conjunto de listas de verificação (check-list's). O estabelecimento de diretrizes para boas práticas de controle de qualidade nas várias etapas de produção de LACP é o objetivo principal desta pesquisa. Para conseguir atingir esse objetivo foram feitas amplas revisões bibliográficas sobre Qualidade e Lajes Alveolares em Concreto Protendido, recorrendo a teses, dissertações, monografias, artigos científicos, revistas e sítios eletrônicos. Foram também realizadas visitas a uma fábrica de equipamentos para produção de LACP, e a uma unidade fabril produtora de LACP, no interior do estado de São Paulo, durante as quais foram feitas entrevistas não estruturadas com os respectivos responsáveis máximos. Finalmente fez-se uma análise comparativa essencialmente qualitativa entre os dados recolhidos e os procedimentos de controle de qualidade que constam da norma ABNT NBR 14861:2011. Pretende-se, com as listas de verificação que constam da dissertação, garantir uma produção, transporte a canteiro, montagem das LACP e execução da respectiva capa estrutural com a máxima coerência de qualidade possível, reduzindo assim ao mínimo a existência de possíveis não conformidades.

*Palavras-chave:* laje alveolar; pré-moldado; processo de produção; controle de qualidade

## ABSTRACT

Industrialization in the Brazilian construction industry is a growing trend, while the need to fulfill tight deadlines increases as well as labor costs, being mandatory to keep quality standards and the competitiveness of enterprises. In this sense, the precast concrete is an increasingly valid solution. Among them, the floor in hollow core slabs of prestressed concrete, as part of a constructive system of open cycle. This kind of floor can be applied in various sectors and to the most varied typologies. The ABNT NBR 14861: 2011 is still quite new, and includes a set of quality control care for the implementation of hollow core slabs in prestressed concrete, although it is felt that the respective degree of detail could be improved. On the other hand, the standard has just focusing on such care specially concerning project and product approaches, and not so much with a process approach. There is also some difficulty in the flow of information and knowledge between the academy and industry in general. The dissertation provides a detailed analysis of production of hollow core slabs in prestressed concrete, according to the respective processes, since the inputs enter factories, until the structural cover is performed on site. The macro-production process is divided into several stages of lower complexity, and contains a detailed listing of quality control procedures required, in a simple and practical manner. Thus, can be established a kind of a guide to good quality control practices for the production of LACP, which is then systematized through a set of checklists. The establishment of guidelines for good quality control practices in the various LACP production stages is the main goal of this research. In order to accomplish this goal have been made extensive literature reviews on Quality and hollow core slabs, using theses, dissertations, monographs, papers, magazines and electronic sites. Were also made visits to a factory which produces equipment for production of hollow core slabs, and to a plant producing LACP, in the interior of the state of São Paulo, during which were made unstructured interviews with their maximum management responsables. Finally it was made an essentially qualitative comparative analysis of the data collected and the quality control procedures of the ABNT NBR 14861: 2011. It is intended, with the checklists contained in the dissertation, to ensure production, transportation to site, installation of LACP and execution of the respective structural wrapper, with the highest quality consistency that is possible, thereby minimizing to minimum the existence of possible non-compliances.

Keywords: hollow core slabs; precast; production process; quality control

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

---

Figura 1: Máquina de concretagem sob uma ponte rolante.....	33
Figura 2: Máquina utilizada no processo por forma deslizante.....	37
Figura 3: Máquina utilizada no processo por extrusão.....	38
Figura 4: Corte longitudinal de máquina extrusora.....	38
Figura 5: As diferentes partes das unidades de painéis de laje alveolar.....	39
Figura 6: Exemplos de seções transversais dos elementos de laje alveolar.....	39
Figura 7: Limpeza da pista de protensão.....	40
Figura 8: Fios ou cordoalhas dispostos na pista.....	41
Figura 9: Cordoalha protendida isoladamente.....	42
Figura 10: Caçamba alimentando extrusora em produção contínua.....	42
Figura 11: Cura a vapor.....	44
Figura 12: Execução de um recorte de pilar em concreto fresco.....	45
Figura 13: Corte transversal de LACP.....	46
Figura 14: Corte longitudinal de LACP.....	47
Figura 15: Remoção de pequeno painel de LACP.....	47
Figura 16: Estocagem dos painéis com os calços alinhados.....	48
Figura 17: Painéis fissurados devido a estocagem com calços desalinhados.....	48
Figura 18: Sistema de produção tipo carrossel.....	50
Figura 19: Limpeza e desmatação de terreno.....	50
Figura 20: Nivelamento do terreno.....	51
Figura 21: Execução dos leitos das pistas de protensão.....	51
Figura 22: Cabeceira de pista de protensão.....	51
Figura 23: Desmoldante, formas laterais, moldes e guias.....	52
Figura 24: Tubos sacáveis.....	52
Figura 25: Protensão dos cabos.....	52
Figura 26: Concretagem e vibração.....	53
Figura 27: Montagem de LACP.....	54
Figura 28: Diferença de nível entre painéis contíguos.....	55
Figura 29: Nivelamento de painéis contíguos.....	55
Figura 30: Grauteamento das chaves de cisalhamento.....	55
Figura 31: Execução de superfície rugosa durante a concretagem.....	56
Figura 32: Ligações laje/viga e laje/laje em LACP sem capa estrutural.....	57

Figura 33: Junta longitudinal com mecanismo para transferência de esforços.....	57
Figura 34: Distribuição de tela eletrossoldada para posterior concretagem da capa.....	57
Figura 35: Execução de capa estrutural sobre a laje alveolar.....	58
Figura 36: Ex. de seção transversal de laje alveolar com capa estrut. e alvéolos preenchidos.	63
Figura 37: Esquema simplificado da evolução histórica da Qualidade.....	75
Figura 38: Evolução da Qualidade no PBPQ-H.....	78
Figura 39: Fluxogr. dos processos principais do sist. de gestão do Selo Excelência ABCIC..	81
Figura 40-a) Requisitos para certificação no Selo Excelência ABCIC .....	83
Figura 40-b) Requisitos para certificação no Selo Excelência ABCIC.....	83
Figura 40-c) Requisitos para certificação no Selo Excelência ABCIC .....	84
Figura 41: Disposições construtivas para as chaves de cisalhamento .....	85
Figura 42: Aspectos a serem considerados no controle de qualidade .....	86
Figura 43: Requisitos de projeto para fabricação de LACP.....	88
Figura 44: Armazenamento/estocagem de agregados graúdos.....	100
Figura 45: Armazenamento/estocagem de aditivos em silos de material polimérico.....	102
Figura 46: Protensão simultânea do feixe de fios.....	103
Figura 47: Aço de protensão em bobines.....	104
Figura 48: Cordoalhas de três e sete fios para protensão.....	105
Figura 49: Fios para protensão produzidos no Brasil.....	105
Figura 50: Cordoalhas de três e sete fios para protensão.....	106
Figura 51: Esquema de central de concreto.....	108
Figura 52: Variação da tensão de ruptura à compressão do concreto com a relação A/C.....	110
Figura 53: Betoneira misturadora de central produtora de concreto usinado.....	111
Figura 54: Exemplo de segregação.....	113
Figura 55: Ensaio de abatimento pelo método do abatimento do tronco de cone, para medir a consistência do concreto fresco.....	114
Figura 56: Classes de consistência para o concreto fresco.....	115
Figura 57: Ensaio de abaixamento do cone de Abrams.....	115
Figura 58: Concreto coeso.....	116
Figura 59: Concreto pouco coeso.....	116
Figura 60: Ensaio de ruptura à compressão.....	117
Figura 61: Distâncias mínimas a pontos de alta tensão.....	123
Figura 62: Carregamento de LACP.....	126

Figura 63: Carregamento de LACP.....	126
Figura 64: Desenho esquemático possível para <i>layout</i> de fábrica.....	131
Figura 65: Esteira rolante e baias de alimentação da central de usinagem de concreto.....	133
Figura 66: Caçamba de alimentação de extrusora/moldadora.....	134
Figura 67: Vista geral da fábrica visitada.....	139
Figura 68: Trilho do trator de alimentação das pistas na fábrica visitada.....	140
Figura 69: Etiquetagem/rastreamento interno dos produtos na fábrica visitada.....	142
Figura 70: Zona de pré-estocagem das LACP na fábrica visitada.....	144

*LISTA DE SIGLAS*

---

- ABCI** – Associação Brasileira da Construção Industrializada
- ABCIC** – Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ASSAP** – Association of Manufacturers of Prestressed Hollow Core Slabs
- ASTM** – American Society for Testing and Materials
- BSI** - British Standard Institution
- CDHU** – Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano
- FGTS** – Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
- FIB** – Federation Internationale du Beton
- FIP** – Federation Internationale de la Precontrainte
- FUNDUSP** – Fundo de Construção da USP
- ISO** – International Organization for Standardization
- LACP** – Laje alveolar em Concreto Protendido
- NBR** – Norma Brasileira Regulamentadora
- NPCA** – National Precast Concrete Association
- PBQP** – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade
- PBQP-H** - Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
- PCI** – Prestressed Concrete Institute
- PMQP-H** – Programa Mineiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
- PNQ** – Plano Nacional de Qualificação
- QUALIBAT** – Qualifications du Bâtiment
- QUALIHAB** – Programa da Qualidade na Habitação Popular
- SIAC** – Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da  
Construção Civil
-

*LISTA DE TABELAS*

---

Tabela 1: Tolerâncias dimensionais de fabricação de lajes alveolares.....61

## SUMÁRIO

---

DEDICATÓRIA.....	5
AGRADECIMENTOS .....	6
RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	10
LISTA DE SIGLAS .....	13
LISTA DE TABELAS .....	14
SUMÁRIO.....	15
1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Considerações iniciais.....	19
1.2 Justificativas.....	25
1.3 Objetivos.....	28
1.3.1 Objetivo geral.....	28
1.3.2 Objetivos específicos.....	28
1.4 Metodologia.....	29
1.5 Apresentação do trabalho.....	29
2. LAJES ALVEOLARES DE CONCRETO PROTENDIDO.....	31
2.1 Breve revisão histórica.....	31
2.2 Considerações gerais.....	35
2.3 Produção.....	39
2.3.1 Preparação das pistas.....	40
2.3.2 Posicionamento dos fios e cordoalhas.....	41
2.3.3 Protensão nas cordoalhas.....	41
2.3.4 Concretagem contínua por extrusão ou moldagem.....	42
2.3.5 Cura.....	43
2.3.6 Recortes nos painéis.....	45
2.3.7 Marcação dos painéis.....	45
2.3.8 Liberação da protensão.....	46
2.3.9 Corte dos painéis.....	46
2.4 Remoção/Íçamento, inspeção e estocagem.....	47
2.5 Acabamentos.....	48
2.6 Variações dos processos de produção.....	49

2.6.1 "Carrossel".....	49
2.6.2 Produção em obra por imposições logísticas.....	50
2.7 Transporte, montagem e execução em obra.....	53
2.7.1 Laje sem capa estrutural.....	56
2.7.2 Laje com capa estrutural.....	57
2.8 A ABNT NBR 14861:2011 e a presente dissertação.....	58
3. QUALIDADE.....	69
3.1 Conceituação.....	69
3.2 Revisão histórica.....	70
3.3 A Qualidade e a construção civil brasileira.....	75
3.4 A Qualidade e os pré-fabricados de concreto no Brasil.....	79
3.5 A Qualidade e as LACP no Brasil.....	84
4. GESTÃO DA QUALIDADE NA PRODUÇÃO DE LACP.....	90
4.1 Conceitos prévios necessários.....	90
4.2 Considerações gerais.....	91
4.3 O pré-fabrico das LACP.....	93
4.3.1 Materiais, estocagem e preparação para fabricação.....	93
4.3.1.1 Cimento.....	93
4.3.1.2 Agregados.....	94
a) Agregados graúdos.....	96
b) Agregados miúdos.....	97
c) Umidade nos agregados.....	98
d) Armazenamento e transporte dos agregados – outros cuidados.....	99
4.3.1.3 Água.....	100
4.3.1.4 Adições e aditivos.....	101
a) Adições.....	101
b) Aditivos.....	102
4.3.1.5 Aço de protensão.....	103
4.3.1.6 O concreto.....	106
a) Fabricação do concreto.....	106
b) Transporte do concreto até as pistas de protensão.....	113
4.4 Ensaios para controle de qualidade no concreto.....	113
4.4.1 Ensaios no concreto fresco.....	114

4.4.2 Ensaio no concreto endurecido.....	116
4.5 Controle do concreto usinado em fábrica.....	118
4.5.1 Controle da dosagem do concreto.....	118
4.5.2 Controle da mistura do concreto.....	119
4.6 Considerações finais sobre o fabrico e o controle do concreto.....	119
4.7 O fabrico das LACP.....	120
4.8 O pós-fabrico das LACP.....	125
5. DISCUSSÕES COMPLEMENTARES.....	129
5.1 O impacto do <i>layout</i> da fábrica no controle de qualidade.....	129
5.2 Equipamentos e acessórios.....	131
5.3 O desafio da mudança de mentalidade.....	135
5.4 Controle como palavra-chave dos processos de produção de LACP e gestão da Qualidade.....	136
6. VISITA A FÁBRICA E ENTREVISTA.....	138
7. CHECK-LIST'S COMO FERRAMENTAS DE CONTROLE DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO DE LACP.....	147
7.1 Check-list's para controle do recebimento e armazenamento de materiais.....	147
7.1.1 Cimento.....	147
7.1.2 Agregados.....	148
7.1.3 Aditivos e adições.....	148
7.1.4 Aço de protensão.....	149
7.2 Check-list para dosagem e mistura do concreto.....	149
7.3 Check-list para controle de qualidade do concreto produzido.....	150
7.4 Check-list para controle de qualidade dos trabalhos preparatórios da concretagem da pista de LACP.....	150
7.5 Check-list para controle de concretagem da pista.....	151
7.6 Check-list para controle de cura, desprotensão e corte das LACP.....	151
7.7 Check-list para controle de içamento, manuseamento, inspeção, transporte interno e estocagem das LACP em pátio de fábrica.....	152
7.8 Check-list para controle de transporte para canteiro de obra.....	153
7.9 Check-list para controle de descarga em obra, içamento e manuseamento, e montagem das LACP.....	154
7.10 Check-list para controle da execução da capa estrutural.....	155

7.11 Check-list para controle dos desperdícios em aço de protensão.....	155
7.12 Check-list para controle dos desperdícios em cimento e agregados.....	156
7.13 Check-list para controle dos desperdícios em aditivos e adições.....	157
7.14 Check-list para controle dos desperdícios em equipamento.....	158
8. CONCLUSÃO.....	159
8.1 Considerações finais.....	159
8.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	161
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	163

# 1 –INTRODUÇÃO

## 1.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A construção civil é habitualmente considerada como um setor atrasado, sob o ponto de vista dos seus processos, quando comparado com outros setores da economia. As razões para esse fato são várias, desde a existência de algum déficit na formação e qualificação profissional dos seus intervenientes, passando por falta de hábito quanto a procedimentos de controle de qualidade e produtividade, alguma resistência à mudança, falta de organização nos canteiros, consequentes desperdícios excessivos de materiais em obra, e outros.

Entretanto nos dias de hoje, o desenvolvimento tecnológico e também a velocidade com que se processa o fluxo de informação se tornaram cada vez maiores, de forma que obrigaram a uma maior eficiência nos processos de produção, padrões de qualidade mais elevados, de modo a responder a demandas cada vez mais exigentes vindas dos clientes. A competição entre as empresas já não é mais apenas local, se globalizou, até com a abertura da economia ao exterior, e consequentemente a competição entre as empresas aumentou. Como consequência as empresas tiveram que aperfeiçoar os seus processos de forma a se adaptarem a essa nova realidade. Reduzir custos e prazos, sem perda dos padrões de qualidade, tornou-se fundamental. Isso obrigou e continua a obrigar a uma maior industrialização do setor da construção. E é justamente aí que os produtos pré-fabricados oferecem vantagens.

De acordo com Koncz (1975), a pré-fabricação é um método industrial construtivo em que os elementos são fabricados em grande série, por métodos de produção em massa, nos quais aqueles são montados na obra mediante o uso de equipamentos e dispositivos de elevação. Revel (1973) é ainda mais sucinto ao afirmar que a pré-fabricação é a "fabricação de certo elemento antes do seu posicionamento final na obra". A definição de Revel, no entanto, inclui o conceito que se usa encontrar como pré-moldagem, que é a fabricação do elemento em canteiro, mas não na sua posição final da estrutura, com posterior elevação e montagem até a referida posição.

Pré-fabricação e industrialização são conceitos que andam normalmente associados, a própria definição de Koncz (1975) sugere isso. O conceito que nos

interessa aqui é o da industrialização na construção, que Sabbatini (1989) define como “...um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva.” Outros autores de referência apresentam as suas próprias definições para industrialização, como Bruna (1976), que define industrialização como “...um processo que está associado à organização do trabalho e à produção em série, com o aumento crescente da mecanização dos meios de produção”. Já Vargas (1981) conceitua industrialização como sendo “...um processo caracterizado por: continuidade no fluxo de produção, padronização, integração dos diferentes estágios do processo global de produção, alto nível de organização do trabalho, mecanização em substituição do trabalho manual (sempre que possível), pesquisa e experimentação organizada integrada à produção”. Nesta definição de Vargas importa relevar que o autor fala em integração dos diferentes estágios do processo global de produção.

Como se viu, implicitamente ao processo de industrialização, estão associados os processos de racionalização e de mecanização. Sabbatini (1989) definira racionalização construtiva como “...um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso de recursos materiais, humanos, organizacionais, energético, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção, em todas as suas fases. Mais recentemente, Ferreira e Carvalho (2008) definiram racionalização como sendo “...um processo por meio de desenvolvimentos tecnológicos, conceitos, métodos organizacionais e investimentos de capital, visando incrementar a produtividade e elevar o nível de produção”. Ainda segundo os autores, a racionalização deve ser vista como uma ferramenta da industrialização, na seguinte perspectiva: Industrialização = Racionalização + Mecanização. Já o conceito de mecanização é algo que está dentro de cada um de nós, e pode-se afirmar que se trata do uso de ferramenta ou máquinas para substituição do trabalho humano. Pode-se portanto acrescentar que industrialização, racionalização e a mecanização são processos que contribuem todos para os mesmos objetivos, e que são: uma economia da quantidade de trabalho por cada unidade produzida, aumento da produção, aumento da qualidade e redução do custo.

A pré-fabricação de elementos em concreto, não sendo a única forma de o conseguir (as construções metálicas são uma outra, por exemplo), contribui no entanto, fortemente, para essa evolução do setor da construção civil, no sentido da

industrialização, ajudando-o a tornar-se menos “artesanal”. Assim, e segundo De Paula (2007), a pré-fabricação tem como principais **vantagens** as seguintes:

- ✓ Redução dos prazos de edificação, principalmente porque deixa de haver uma dependência entre certas etapas da construção (podem-se estar a executar em obra movimentos de terra e fundações, por exemplo, e ao mesmo tempo já está sendo executada em fábrica a superestrutura do edifício), e porque a velocidade de montagem da estrutura é bastante superior, facilitando o cumprimento dos cronogramas estipulados;
- ✓ Otimização da fabricação dos elementos, pelo efeito da sistematização, mecanização, reutilização das formas, possibilidade de uso de protensão nos elementos, melhor aproveitamento de materiais, maior controle da mão-de-obra utilizada, maior qualidade final dos elementos e economia de custos de produção;
- ✓ Redução da necessidade de uso de certos materiais, como cimbramentos (formas de madeira), o que reduz o peso total da estrutura do edifício durante a fase de execução;
- ✓ Independência das condições climáticas, já que a produção pode ocorrer em locais cobertos, o que é extremamente importante em países de clima muito frio.

Ferreira e Carvalho (2008) acrescentam ainda as seguintes vantagens no uso da pré-fabricação:

- ✓ Maior facilitação nos procedimentos de controle de qualidade dos materiais e componentes;
- ✓ Possibilitam certas desmontagens que em construção civil tradicional não seriam possíveis;
- ✓ Menor necessidade de juntas de dilatação;
- ✓ Redução dos custos variáveis ligados a mão de obra;
- ✓ Evita improvisações em obra;
- ✓ Facilita os procedimentos de controle e recepção;
- ✓ Diminuição de acidentes de trabalho;
- ✓ Maior estabilidade de emprego;
- ✓ Maior remuneração;
- ✓ Forma mais eficaz de reduzir o déficit mundial de construção;
- ✓ Libera o homem dos trabalhos rudes e penosos.

Como **desvantagens** da pré-fabricação, Ferreira e Carvalho (2008) apresentam as seguintes:

- ✓ Perda de monolitismo nas estruturas;
- ✓ Problemas na resolução de juntas;
- ✓ Necessidade de superestimar certos elementos devido ao transporte e montagem;
- ✓ Limitações impostas pelos gabaritos no transporte;
- ✓ Dificuldades para modificações nas distribuições dos espaços primitivos;
- ✓ Inadaptação à topografia e aos tipos de terrenos;
- ✓ Mais cara que a fabricação no local;
- ✓ Valor global mais caro que a construção tradicional;
- ✓ Investimentos iniciais superiores para instalação da pré-fabricação;
- ✓ O transporte dos produtos pré-fabricados acabados é mais caro que o transporte das matérias primas que seriam necessárias para os executar em obra;
- ✓ Reduz o número global de postos de trabalho na construção;
- ✓ Especializa os trabalhadores em excesso, incapacitando-os para outros tipos de trabalho.

O autor acrescentaria ainda como um certo grau de desvantagem:

- ✓ relações de interdependência entre os processos, na pré-fabricação, são muito mais apertadas (menos folgas) do que na construção civil tradicional, o que obriga a maiores custos de planejamento;
- ✓ embora na maior parte das vezes as perdas de materiais equivalentes seja menor, em relação à construção civil tradicional, a probabilidade de subitamente haverem grandes perdas de materiais (desvios padrão súbitos muito grandes de perdas de material) também são maiores na pré-fabricação (exemplo: um erro no uso de um aditivo pode provocar perda de de lotes inteiros de produtos).

O sistema estrutural de uma edificação é composto dos seguintes elementos principais: - fundações; - pilares; - vigas; - lajes; - escadas. As lajes formam o que se pode designar de sub-sistema pisos. Dentro dos pisos pré-fabricados, uma solução que tem vindo a ganhar cada vez mais espaço na construção são as chamadas lajes alveolares em concreto protendido, as LACP.

Segundo Catoia (2011), as LACP surgiram na Alemanha por volta da década de 50 do século XX, tendo o respectivo método de produção sofrido posteriores aperfeiçoamentos até aos dias de hoje. No Brasil, no entanto, apenas viriam a ser produzidas no final dos anos 1970 e no início dos anos 1980. Até então as soluções mais usadas para pisos pré-fabricados eram os painéis PI, também designados de painéis em duplo T. Embora funcionem na maior parte das vezes como laje, as LACP

quando dispostas verticalmente podem funcionar como elementos de vedação vertical (paredes), seja em edifícios industriais, comerciais ou até residenciais. Têm uma diversidade de aplicações muito grande, podendo funcionar por exemplo como arquibancadas em estádios esportivos, ou em tabuleiros de pontes, e outros. Podem ser usadas também em construção mista, associadas a pilares e vigas metálicas, ou até com alvenaria estrutural. A sua diversidade de uso cobre desde os edifícios industriais, comerciais, residenciais, passando pela construção pesada, infra-estrutura urbana, rodoviária e ferroviária. Designam-se de alveolares devido à presença na sua seção transversal de núcleos ociosos (vazios), os chamados alvéolos, e protendidas justamente pelo fato de lhes ser aplicada protensão em cordoalhas de aço, que tanto podem ser colocadas inferiormente quanto superiormente na sua seção transversal. Os alvéolos permitem diminuir bastante o peso próprio das LACP, o que associado à protensão lhes permite vencer vãos maiores.

Para além da grande versatilidade de aplicações, as LACP apresentam um grande número de vantagens, tendo a esse propósito Van Acker (2002) sistematizado as seguintes:

- ✓ capacidade para vencerem grandes vãos;
- ✓ menores desperdícios de material;
- ✓ rapidez de execução e montagem;
- ✓ oferecem no mínimo uma das faces lisas, a inferior, o que diminui bastante os custos associados a revestimentos dos tetos com argamassas, podendo oferecer as duas, sendo que nesse caso diminuem bastante os custos associados à regularização de pisos;
- ✓ a protensão e as suas nervuras internas oferecem a possibilidade de redução de espessura dos painéis;
- ✓ pisos mais leves (alvéolos);
- ✓ redução do custo de montagem, quando o preço da mão de obra é significativo;
- ✓ bom isolamento acústico;
- ✓ boa resistência ao fogo;
- ✓ praticamente inexistência da necessidade de escoramento (a não ser pontualmente, num ou noutro caso em fase construtiva);
- ✓ oferecem a possibilidade de uma montagem seca e rápida;
- ✓ redução da altura de construção pela redução da espessura de cada um dos pavimentos;
- ✓ a massa do concreto tem sido usada satisfatoriamente para armazenar energia térmica em pisos de lajes alveolares, resultando em economia substancial em

aquecimento dos ambientes (os alvéolos das placas de piso são usados para ventilação, antes que o ar entre no ambiente. No Inverno, o excesso de energia que vem das máquinas, da luz elétrica, da luz solar e dos usuários é estocada durante o dia e recuperada durante a noite. No Verão, os pisos são resfriados durante a noite pelo ar de fora. Esse sistema permite uma economia de energia superior a 30%);

✓ possibilidade de uso dos alvéolos para incorporar dutos e tubulações. Catoia (2011) acrescenta ainda as seguintes vantagens:

✓ baixos custos de produção;  
✓ forros falsos podem ser omitidos;  
✓ processo de produção altamente mecanizado e automatizado;  
✓ relações vantajosas carga-vão por causa do baixo peso próprio, decorrente do emprego de concreto de alta resistência e de alta taxa de protensão. Araujo (2011) acrescenta também:

✓ excelente precisão geométrica nas seções transversais e nos recobrimentos das armaduras;

✓ utilização de concretos com baixa relação água/cimento e grande compactação;

✓ as classes de concreto utilizado garantem elevados módulos de elasticidade, 1,3 a 1,5 vezes superiores aos concretos habitualmente moldados em obra;

✓ eliminação ou grande redução de serviços como carpintaria, armação, cimbramento, ou estoque e manuseio de todos os materiais envolvidos nessas etapas;

✓ grande qualidade e confiabilidade que lhes é conferida pelas técnicas de produção industrial.

De acordo com a FIP (1992), as LACP podem chegar a suportar uma carga de utilização superior a 30KN/m<sup>2</sup>.

Em 2002, foi publicada a norma ABNT NBR 14861, que fixa os procedimentos para recebimento e utilização de LACP. No entanto, só foram incorporados os requisitos e procedimentos a serem adotados no projeto, na produção e na montagem das lajes alveolares pré-moldadas, na versão final, a ABNT NBR 14861:2011, que apenas recentemente foi publicada.

As lajes alveolares de concreto protendido são um dos mais avançados produtos na indústria de concreto pré-fabricado, sendo dentro dos pisos pré-fabricados em concreto o mais usado, pelo alto grau de eficiência que oferecem.

## 1.2 – JUSTIFICATIVAS

A Construção Civil é reconhecida historicamente como sendo um setor atrasado em relação a outras indústrias, apresentando baixos índices de produtividade e qualidade, e falta de racionalização e organização.

Procurando reverter este quadro, nos últimos 20 anos no Brasil tem havido um conjunto de ações governamentais, setoriais (públicas e privadas), empresariais e até de iniciativa dos gestores, visando a melhoria da qualidade na construção, ou seja, buscando uma melhoria na racionalização construtiva (processos) e no desempenho do(s) produto(s).

Dentre as ações governamentais com esse propósito, Meira e Quintella (2004) referem a criação pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), em Dezembro de 1998, dentro do programa mais amplo de incentivo à produtividade e qualidade no Brasil, o PBQP, criado em 1990, que viria a dar origem então a vários Programas Setoriais da Qualidade. Ainda segundo os autores, o PBQP-H prevê a qualificação voluntária de empresas integrantes de diversos setores da cadeia produtiva da indústria da Construção Civil, no que a qualidade diz respeito, e a adesão a este programa dos órgãos contratantes em nível estadual, das entidades de classe representativas do setor, entidades de normalização, comunidade acadêmica e instituições financeiras de crédito imobiliário.

De acordo com Cardoso e outros (1998), o PBQP-H é fortemente inspirado no sistema francês de qualificação evolutiva da construção civil, o QUALIBAT. Este sistema consiste em uma adaptação dos requisitos da ISO9000 ao setor da construção, através de uma qualificação progressiva, por níveis crescentes de exigências, a serem cumpridas pelas empresas.

Ainda segundo os mesmos autores, o sistema francês, por sua vez, deu origem ao primeiro programa brasileiro de certificação evolutiva para a construção civil, o QUALIHAB paulista, criado pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU) em 1996.

Atualmente, o PBQP-H está sendo implantado em quinze estados, e além da Caixa Econômica Federal, bancos privados como o Bradesco e o Itaú estão exigindo que as construtoras estejam em processo de qualificação, para pleitearem empréstimos de suas carteiras imobiliárias. Estas ações, em conjunto com os Programas Setoriais da Qualidade de materiais da construção civil, irão certamente

provocar uma grande reconfiguração do setor, na direção do incremento da qualidade e produtividade.

No subsetor dos pré-fabricados de concreto, e com os mesmos propósitos, a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC) deu uma forte contribuição para o desenvolvimento e a implantação dos Sistemas de Gestão da Qualidade nas empresas da indústria, ao lançar em Abril de 2004 o Selo Excelência ABCIC de Pré-Fabricados de Concreto.

Segundo a própria ABCIC (2007), o selo tem como objetivo principal promover a imagem do setor de pré-fabricados de concreto com base em padrões de tecnologia, qualidade e desempenho, adequados às necessidades do mercado, garantindo o seu crescimento ordenado, aliado à segurança dos pré-fabricados de concreto.

Conforme Medeiros (2004), com o crescimento e a maior disseminação do sistema, o selo passa a dar maior segurança e confiabilidade aos pré-fabricados, uma vez que para conseguir a certificação, as empresas passam por um processo de análise de desempenho técnico e empresarial, medido por indicadores pré-estabelecidos.

Segundo Oliveira (2004), o selo vai além dos programas de qualidade de produto, pois a empresa que entra no processo passa por uma rigorosa análise que vai desde a produção até a satisfação do cliente. De entre os critérios do selo está o atendimento às normas técnicas de pré-fabricados e de matérias-primas (areia, aço, concreto, etc.), registros regulamentares, segurança do trabalho, projetos, atendimento ao cliente, questões ambientais e outros.

Dentro do mesmo contexto, esta tendência tem levado individualmente as empresas a tomar uma série de ações gerenciais com esses mesmos objetivos (melhorar a qualidade, racionalização construtiva e desempenho), como a busca por parte significativa das empresas em se adequarem aos requisitos exigidos pelas ISO9000.

O campo da pré-fabricação de componentes pré-moldados de concreto, pelo próprio ambiente industrial em que se desenvolve, e que teoricamente deverá ser um ambiente mais controlado e mais controlável, oferece uma excelente oportunidade para o desenvolvimento de uma visão integrada da qualidade dentro do seu sistema produtivo, desde a entrada dos materiais na porta da fábrica até a colocação/montagem dos produtos/componentes em obra. Entre os componentes pré-fabricados em concreto, as lajes alveolares protendidas (pertencentes ao sistema pisos) são um elemento de características ideais a ser estudado, nessa perspectiva.

Trata-se de um único produto, pré-fabricado, e de ciclo aberto. Isso reduz ligeiramente a complexidade da análise, que seria maior se o foco se dispersasse por vários componentes pré-fabricados de concreto. Sendo de ciclo aberto, permite o uso com elementos de outros sistemas construtivos, ou dentro até de um sistema construtivo, com elementos de outros fabricantes, o que aumenta o interesse no seu estudo.

Outro motivo para que o momento de estudar as lajes alveolares protendidas seja o presente é o de que a respectiva norma regulamentadora ABNT NBR14861 é ainda muito recente, e nesse contexto a presente pesquisa poderá até conduzir a algum tipo de contribuição complementar pontual para a norma, embora não seja esse o foco nem o objetivo deste trabalho.

As LACP são também bastante versáteis, no sentido em que se podem combinar com elementos de sistemas construtivos diversos, desde a construção em aço, formando aquilo que é normal designar de construção mista, até à combinação com alvenaria estrutural também.

A entrada em funcionamento da norma de desempenho, a ABNT NBR15575:2013, é uma razão adicional para o estudo das exigências que as LACP devem satisfazer como elemento constituinte do sistema pisos.

Adicionalmente, os sistemas industrializados de pisos que empregam LACP têm crescido fortemente na última década no Brasil, mas ainda não existem estudos disponíveis sobre os ganhos de sustentabilidade com a aplicação deste tipo de laje.

Sob o ponto de vista acadêmico e científico, não existem estudos publicados no Brasil acerca de procedimentos de controle de qualidade para o processo de Pré Fabrico, Fabrico e Pós Fabrico de lajes alveolares protendidas, entendido como a consideração do processo produtivo das LACP, desde a entrada dos seus insumos na instalação fabril até a colocação e a montagem das LACP em obra, e eventual execução da sua capa estrutural. Acredita-se que, mesmo que de uma forma não sistematizada e formalizada, as próprias unidades fabris, cada uma à sua maneira, tenham instituídos controles para esse efeito, mas talvez por questões de segredo industrial ou afins, esse tipo de troca de informação com o mundo acadêmico não tenha se revelado até agora. Então, nessa vertente o interesse da pesquisa resulta evidente.

Qualquer guia ou manual de boas práticas sobre procedimentos de controle de qualidade para o processo de Pré Fabrico, Fabrico e Pós Fabrico de lajes alveolares protendidas resultará em benefícios tanto para esse subsetor, na ótica dos fabricantes, como, mais importante ainda, para as construtoras e incorporadoras, que são os

clientes intermediários do produto, e para o usuário das construções, que é o cliente final. Então, o interesse profissional desta pesquisa fica demonstrado.

A formalização de um guia de boas práticas, ou de um manual, para esse tipo de procedimentos de controle de qualidade, provavelmente acabará contribuindo para melhorias sobre questões como potenciais acidentes de trabalho, melhorias nas qualificações dos intervenientes, melhorias de sustentabilidade, e potencialmente melhorias ambientais também. Isso acaba fazendo com que a pesquisa tenha relevância para a sociedade também.

## **1.3 – OBJETIVOS**

### **1.3.1 – OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral desta dissertação é o de estabelecer um guia de boas práticas de controle de qualidade, que consiga englobar todas as etapas do processo de produção das lajes alveolares em concreto protendido.

### **1.3.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para que o objetivo geral, que também pode ser considerado como objetivo final da dissertação seja atingido, é necessário cumprir certos objetivos específicos, que no fundo são objetivos intermediários da dissertação. Assim, têm-se como objetivos específicos os seguintes:

- ✓ Identificar aspectos que tenham uma grande correlação com as questões da Qualidade de Produção de LACP;
- ✓ Ouvir os pontos de vista de *stakeholders* importantes (fabricantes de equipamentos para produção e industrial fabricante de LACP) na produção de LACP;
- ✓ Dividir o processo de produção de LACP em sub-processos de menor complexidade;
- ✓ Identificar os principais procedimentos de controle de Qualidade em cada um desses sub-processos identificados;
- ✓ Contribuir para uma possível melhoria da ABNT NBR 14861:2011;
- ✓ Definir em traços gerais as características para um *layout* adequado para instalação fabril produtora de LACP.

## 1.4 – METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, foi importante começar por realizar revisões bibliográficas com relação às lajes alveolares de concreto protendido, bem como em relação à Qualidade. Para isso foram utilizados diversos recursos, a saber: artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de Doutorado, monografias e trabalhos de conclusão de curso, artigos de revistas, consulta de sites eletrônicos, consulta da principal norma de referência relativa a LACP, a ABNT NBR 14861:2011, e consulta de publicações diversas. Além disso foram feitas visitas a uma fábrica de equipamentos para produção de LACP, na região de Rio Claro, e a uma fábrica de LACP, na região de Ribeirão Preto. Realizaram-se então entrevistas não estruturadas com os respectivos principais responsáveis das duas unidades, cujo conteúdo foi transcrito. Identificaram-se em detalhe as tarefas constituintes dos sub-processos analisados, considerando os equipamentos, materiais e mão de obra envolvidos, o que permitiu posteriormente organizar os procedimentos de controle de Qualidade sob a forma de planilhas.

O problema era: como chegar à elaboração de um guia de boas práticas para a produção de lajes alveolares de concreto protendido?

## 1.5 – APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho é composto por oito capítulos, sendo o primeiro deles a introdução.

No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica sobre as lajes alveolares em concreto protendido, tanto no Brasil quanto no mundo, a qual inclui ainda um enquadramento da ABNT NBR 14861:2011 no âmbito da presente dissertação.

No terceiro capítulo faz-se uma revisão bibliográfica sobre a Qualidade, tanto ao nível do conceito quanto no plano histórico, fazendo o respetivo enquadramento nos domínios que mais competem ao presente texto, a construção civil, a pré-fabricação em concreto, e as lajes alveolares em concreto protendido em particular.

O quarto capítulo diz respeito à parte principal da dissertação, a qual tem a ver com a Gestão da Qualidade na Produção de lajes alveolares em concreto protendido.

O quinto capítulo refere-se a algumas discussões complementares em relação ao assunto do capítulo anterior.

O sexto capítulo descreve a visita a uma fábrica de LACP e a entrevista não estruturada realizada com a Administração.

O sétimo capítulo apresenta os principais resultados da dissertação.

O oitavo capítulo traz as principais conclusões do trabalho, bem como um conjunto de sugestões para estudos futuros.

No final são apresentadas as referências bibliográficas.

## 2 – LAJES ALVEOLARES DE CONCRETO PROTENDIDO

### 2.1 – BREVE REVISÃO HISTÓRICA

Para chegar numa revisão histórica das LACP convém enquadrá-la na própria história (breve) do setor a que pertencem, a pré-fabricação de elementos em concreto.

Segundo Fernandes (2007), citando Ordonéz (1974), foi logo após o final da 2ª grande guerra mundial, em 1945, que se deu a aplicação em larga escala da pré-fabricação em concreto, como forma de conseguir suprir o déficit habitacional, de escolas, hospitais, e outros, causado por esse evento na Europa. No entanto, naquela época, fazia-se essencialmente pré-fabricação em concreto de ciclo fechado, ou seja, todos os elementos estruturais pertenciam ao sistema construtivo do mesmo fabricante.

A partir da década de 70 do século XX, começam a surgir naquele continente alguns acidentes com esse tipo de pré-fabricados, o que provocou alguma rejeição social desse sistema construtivo. Começou o declínio da pré-fabricação fechada de elementos de grandes dimensões. Nos anos 80 começa então no continente europeu a aposta numa pré-fabricação em concreto de ciclo aberto (combinação de diferentes elementos do sistema estrutural provenientes de fabricantes diferentes), o que obrigou a uma coordenação modular entre os vários elementos (lajes, vigas, pilares, escadas), com tamanhos padronizados, para compatibilização em projeto, e foi necessário também desenvolver um sistema de normas técnicas que garantisse a qualidade nas edificações destinadas a qualquer uso. Na Europa, e nos dias de hoje, as duas principais entidades que regulam/normatizam a construção em pré-fabricados de concreto são a *British Standard Institution* (BSI) e a *Federation Internationale Du Béton* (FIB).

Ainda segundo Fernandes (2007), a pré-fabricação surge nos EUA um pouco mais tarde, por volta de 1960, e a partir de um processo de *benchmarking* feito pelos americanos à construção pré-fabricada europeia. Foi nessa época criado nos EUA o *Precast/Prestressed Concrete Institute* (PCI), que continua atuando até hoje e tem como objetivos pesquisar e balizar o mercado com informações técnicas relativas à construção pré-fabricada.

A pré-fabricação de elementos de concreto tal como se entende nos dias de hoje, feita em usinas, dotadas de equipamento tecnologicamente evoluído, mão de obra especializada, e controle de qualidade e laboratorial contínuo, segundo Serra, Ferreira e Pigozzo(2005), citando Vasconcelos (2002), pode-se afirmar que começa em 1964 com a construtora Mauá, com uma obra de referência que foi a do Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo – CRUSP - da cidade universitária Armando Salles de Oliveira, em São Paulo. Tratava-se de um conjunto residencial de doze prédios com doze pavimentos, projetados pelo Fundo de Construção da Universidade de São Paulo – FUNDUSP, para abrigar estudantes de outras cidades que ingressaram nas faculdades da universidade. Segundo os autores, a Associação Brasileira da Construção Industrializada, ABCI (1980), confirma que a preocupação com a racionalização, ou com a industrialização, aparece de forma sistemática apenas no início da década de 60. O que acaba provocando o desenvolvimento da construção pré-fabricada em concreto no país é uma explosão populacional a partir da década de 50 do século XX no Brasil, o que fez com que alguns empresários tivessem vislumbrado grandes possibilidades futuras, revelando-se excepcionalmente interessados nos avanços da industrialização na construção nacional. Só mais tarde, na segunda metade da década de 70, o banco BNH, ao reorientar a sua atuação para o atendimento das necessidades das populações de menor poder aquisitivo, veio dar uma força acrescida a esse esforço iniciado pelos empresários, começando por patrocinar empreendimentos em pré-fabricados nos estados da Bahia e de São Paulo. No entanto, alguns desses empreendimentos experimentais acabaram apresentando significativos problemas patológicos e funcionais, e alguns tiveram inclusive que ser demolidos, o que levou a um revés no setor da pré-fabricação no Brasil, que se estenderia durante toda a década de 80.

De acordo com Fernandes (2007), o crescimento do setor de serviços que se registrou no Brasil a partir do início dos anos 90 fez aumentar a demanda por *shopping centers*, *flats* e hotéis, o que motivou uma retomada no setor da pré-fabricação em concreto, com a entrada de novos investidores interessados nesse tipo de edifícios, de grande velocidade de execução e venda, de forma a rentabilizar os respectivos investimentos. Até hoje permanece no Brasil esse tipo de predomínio do uso de sistemas construtivos pré-fabricados em edifícios comerciais, industriais e hoteleiros, onde o retorno de capital tem que ser mais rápido, já que os investimentos iniciais são maiores.

Segundo Araujo (2011), citando Assap (2002), as bases daquilo que são hoje as LACP foram estabelecidas pelos inventores alemães Wilhelm Schaefer e Otto Kuen

em meados da década de 30 do século XX. Nessa época, aquelas que viriam a ser as LACP eram elementos estruturais isolados, compostos de um núcleo alveolar de concreto celular embutido entre duas camadas de concreto armado. No final da década de 40 do século XX e início da década de 50, após um processo de anos de mudanças na linha de produção baseadas em tentativa e erro, as ideias de Schaefer e Kuen começaram a ter algum sucesso, de tal forma que licenças de produção foram vendidas para cinco empresas na Alemanha Oriental e Ocidental e uma para os Estados Unidos. O mais importante fabricante da Alemanha Ocidental, Buderussche Eisenwerke, foi o primeiro a introduzir protensão nas lajes alveolares em sua fábrica em Burgsolms, a qual ainda está em operação. Os cálculos estáticos para isso foram feitos pelo Professor Friedrich, da *Technical University of Graz* (Áustria).

Em seguida, na primeira metade da década de 50 do século XX, a camada de concreto celular usada anteriormente foi abandonada para permitir a produção de lajes alveolares em peças monolíticas com vãos e capacidades menos limitadas pela pobre resistência ao cisalhamento do concreto celular. Nessa mesma época, e de acordo com o *Precast Concrete Institute* (2005), a empresa americana que tinha comprado a licença de produção de Schaefer e Kuen introduziu também a protensão e desenvolveu o produto a tal ponto que se tornou um produto patenteado sob o nome de Spancrete. O projeto de Spancrete adota uma máquina de concretagem sob uma ponte rolante (figura 1). As concretagens das lajes alveolares eram feitas em camadas, uma sobre as outras, separadas por uma simples folha plástica. A superfície não era perfeita, mas aceitável, como pode ser visto em vários silos e estacionamentos americanos. Uma vez que a camada superior de uma pilha de lajes estivesse naturalmente enrijecida, uma máquina com disco de diamante era montada em cima da mesma pilha, e as lajes eram cortadas e removidas.



Figura 1 – Máquina de concretagem sob uma ponte rolante (Fonte: PCI, 2005)

O sistema de formas deslizantes e vibratórias com uma única pista de protensão, similares às utilizadas hoje, foi projetado em 1955, por Max Gessner (Munique). Em 1957, as empresas da Alemanha Ocidental Max Roth KG e Weiler KG compraram a patente de Gessner, e em 1961 começaram a sua gradual expansão na Europa e no mundo.

Em 1960 a empresa canadense SPIROLL desenvolveu a máquina original para a produção de lajes alveolares por meio de extrusão do concreto, em cujo procedimento o concreto com baixa relação água/cimento era compactado e vibrado. As lajes produzidas nesse processo eram caracterizadas por seções transversais com alvéolos circulares, diferente dos habituais alongados produzidos até então pelas fôrmas deslizantes. O processo de extrusão foi recebido favoravelmente, em especial no norte da Europa e no Bloco Soviético. A partir daí deu-se o início da concorrência para a supremacia entre os sistemas de fôrmas deslizantes e os de extrusoras, o que foi benéfico ao desenvolvimento da fabricação das lajes alveolares em todo o mundo.

De acordo com Catoia (2011), a empresa italiana Nordimpianti System, que desde 1974 se especializou na construção de máquinas moldadoras deslizantes (*slipform*), merece relevo devido ao impulso que deu no aumento das dimensões das lajes alveolares em concreto protendido. Assim, em 1987, a Nordimpianti ganhou admiração pela bem sucedida construção de maquinário para a produção de uma importante série de lajes alveolares com três alvéolos, perfazendo alturas de 50cm, 60cm, 70cm e 80cm, e sendo que estas três últimas alturas ainda hoje permanecem como recordes.

No Brasil, a tecnologia de produção das LACP passou a ser empregada na década de 1980, e teve a sua consolidação a partir de 2001, acompanhando um maior crescimento das estruturas pré-moldadas no país. A utilização das LACP como solução para pisos em construções mistas tem aumentado significativamente em todos os continentes, desde a Europa aos EUA, e indo até países asiáticos e africanos.

Atualmente a tecnologia de produção de LACP é bastante desenvolvida e consolidada. Apesar do alto custo inicial do maquinário, a produção é praticamente automatizada, o que provoca altos índices de produtividade. Assim, havendo demanda de mercado, este tipo de produto apresenta-se como bastante competitivo devido à racionalização de materiais, com redução considerável de concreto e de aço, e também pela grande economia nas formas, ausência de escoramento e maior velocidade na montagem.

## 2.2 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

No decorrer dos itens anteriores, viu-se que a competitividade global no setor da construção civil levou ao desenvolvimento da industrialização, racionalização e mecanização, processos nos quais a pré-fabricação de elementos em concreto se destaca, mesmo não sendo solução única, e dentro dela os pisos em lajes alveolares de concreto protendido.

Convém, no entanto, fazer aqui talvez uma distinção mais clara entre dois termos que aparecem sempre um pouco misturados na bibliografia, mas que de fato têm significados adjacentes mas diferenciados, e que são o conceito de pré-moldado e pré-fabricado.

Assim, a ABNT NBR 9062:2006 – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado – Procedimentos define pré-moldado como “elemento que é executado fora do local definitivo de utilização, produzido em condições menos rigorosas de controle de qualidade, sem a necessidade de pessoa, laboratório e instalações congêneres próprias.” A mesma ABNT NBR 9062:2006 define elemento pré-fabricado como “elemento produzido fora do local definitivo da estrutura, em usina ou instalações análogas que disponham de pessoal e instalações laboratoriais permanentes para o controle de qualidade.” A principal diferença entre pré-moldado e pré-fabricado reside no **controle de qualidade**, e na quantidade de pessoas, materiais, equipamentos e instalações existentes para o fazer, que no caso do pré-fabricado é maior. O que acontece com frequência é designarem-se alguns elementos pré-moldados executados em canteiro como pré-fabricados, e a confusão estabeleceu-se até em bibliografia de caráter técnico e científico. Pode-se fabricar o mesmo elemento como pré-fabricado ou como pré-moldado, mas são coisas diferentes. Por vezes as circunstâncias da própria obra assim obrigam, mas convém ter sempre presente esta diferença. Admite-se que este autor, por agilidade na escrita, possa cometer o mesmo erro, mas o âmbito desta pesquisa são elementos pré-fabricados de fato, no caso as LACP.

As LACP são constituídas por painéis de concreto protendido de seção transversal com altura constante e alvéolos longitudinais, que reduzem o consumo de material e, por consequência, o peso da estrutura. Esses painéis protendidos utilizam concreto de elevada resistência característica à compressão e somente armaduras protendidas. As seções transversais dos painéis podem apresentar alvéolos circulares, ovais, retangulares, mistos, etc., dependendo do equipamento e processo de produção utilizado. As alturas dos painéis vão aproximadamente desde os 12,5cm até os 50cm,

nas situações mais correntes, excepcionalmente chegam a atingir os 80cm de altura. As LACP podem ser fabricadas com capa ou sem capa estrutural, mas é esta que acaba assegurando a hiperestaticidade da estrutura em obra. Normalmente a capa acaba já sendo executada em canteiro, muitas vezes por subempreiteiro, o que pode acarretar problemas de qualidade significativos.

As LACP otimizam o projeto, beneficiam o *layout* e propiciam uma obra mais limpa e rápida. Contudo, para garantir todos esses benefícios, torna-se necessário um controle desde a fase do projeto até a etapa final de montagem.

As LACP são francamente mais vantajosas quando podem ser aplicadas sem recortes, pois o orçamento é feito com a paginação dos painéis considerada por inteiro. Quando isso não acontece, os custos de mão de obra sobem, o que faz aumentar os custos por unidade produzida, e diminui a vantagem econômica da solução.

Com um volume de vazios que varia entre 30% a 50% da respectiva seção transversal, as LACP acabam pesando cerca de metade do peso que teria uma seção sólida com a mesma altura/espessura, o que lhes permite desempenho estrutural superior e atingir vãos e sobrecargas bem maiores que as soluções construtivas concorrentes.

É de se notar, também, que os painéis de LACP propositalmente não são fabricados com as respectivas seções laterais retas, de forma a impedir que dois painéis adjacentes fiquem completamente encostados um no outro. Esse pormenor serve para que sejam executadas as chamadas chaves de cisalhamento, cuja função é impedir que haja movimentos relativos entre dois painéis adjacentes. Esse pormenor será detalhado mais adiante quando da descrição do processo produtivo dos painéis.

Existem dois grandes processos industrializados para produção de LACP, e que são a moldagem e a extrusão. Os equipamentos usados num e noutro são diferentes, bem como o próprio processo em si, e o formato resultante dos alvéolos dos painéis. No processo por extrusão os alvéolos são circulares, enquanto na moldagem são alongados segundo a vertical. A opção por um ou outro processo depende por vezes da região do globo onde as LACP são produzidas (determinadas regiões tradicionalmente estão mais ligadas a um processo produtivo ou outro), mas sobretudo ao tipo de mercado-alvo que o fabricante pretende servir. Assim, é mais usual encontrar o processo de moldagem abastecendo tipologias com vãos menores, onde o condicionante é o esforço cortante, e as extrusoras abastecendo utilizações com vãos maiores, onde o esforço condicionante acaba sendo o momento fletor. Em

ambos os processos, moldagem ou extrusão, são usados concretos com valores baixos da relação água/cimento ( $a/c$ ), mas no de extrusão mais baixo ainda, ao ponto do concreto ser quase seco, com valores de slump próximos de zero. É de se referir que os vãos onde as LACP são usadas começam sensivelmente pelos 4m ou 5m, podendo atingir em casos extremos os 30m, dependendo do uso do painel.

Segundo Costa (2009), no processo por moldagem ou forma deslizante (também designado de *slipform*), quando são usadas as máquinas moldadoras, a fabricação se dá em várias camadas de concreto, sendo este lançado na máquina através de caçambas, e compactado por esta em dois ou quatro estágios, através de vibração externa, e ao mesmo tempo que a máquina com o molde vão avançando. A figura 2 apresenta uma máquina moldadora/moldadeira.



Figura 2 – Máquina utilizada no processo por forma deslizante (Fonte: Echo, 2014)

No processo por extrusão, o concreto é lançado numa única fase sobre a máquina, pelas caçambas, máquina extrusora essa que na sua parte inferior possui um molde, dentro do qual há discos helicoidais que vão girando e expulsando o concreto contra as paredes do molde. Ao mesmo tempo que a máquina extrusora vai avançando pela pista, vai deixando atrás de si um “rastro” de painel recém-produzido e compactado. Essa compactação se dá normalmente através de vibradores externos que estão acoplados aos chassis da extrusora, por cima do molde. Existem vários vídeos na internet que podem ser pesquisados, e onde se mostra o processo. Em seguida, na figura 3, mostra-se uma máquina extrusora.



Figura 3 – Máquina utilizada no processo por extrusão (Fonte: Fernandes, 2007)

Na figura 4 se apresenta um corte longitudinal esquemático de uma máquina extrusora.

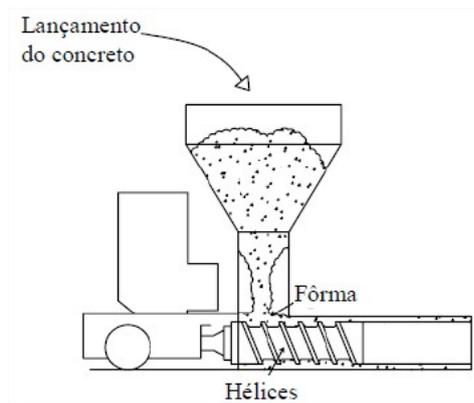


Figura 4 – Corte longitudinal de máquina extrusora (Fonte: Tkalčić *et al.*, 2007)

Importa acrescentar que com o processo por extrusão se obtêm velocidades e correspondentes produtividades maiores. Com um ou outro processo conseguem-se painéis alveolares de concreto protendido com resistências à compressão que variam entre os 50MPa e os 75MPa, sendo que em geral, como na extrusão se utilizam relações de água/cimento mais baixas, as tensões resistentes obtidas são maiores que na moldagem.

Independentemente do formato que os alvéolos possam assumir, a figura 5 apresenta as partes características que constituem um painel de laje alveolar em concreto protendido.

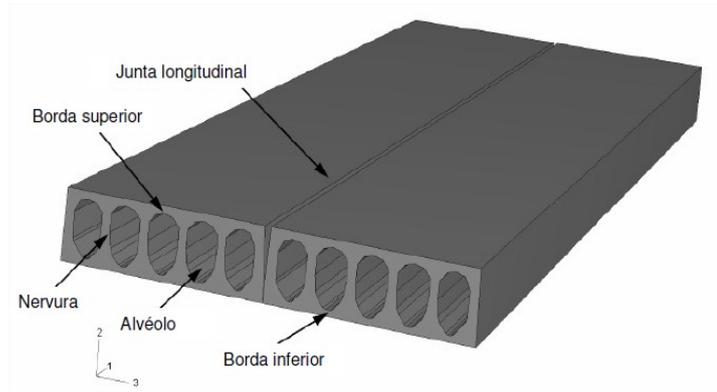


Figura 5 – As diferentes partes das unidades de painéis de laje alveolar (Fonte: Petrucelli, 2009)

Já quanto aos formatos típicos dos alvéolos que resultam de um ou outro processo de produção, tem-se a figura 6.

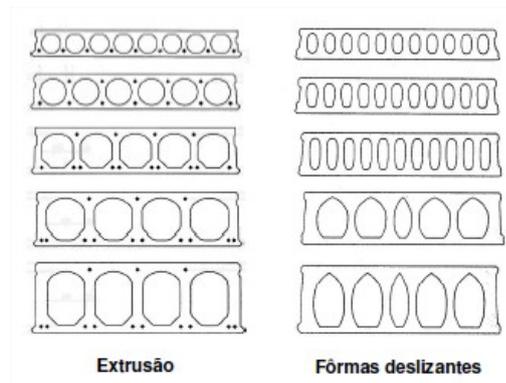


Figura 6 – Exemplos de seções transversais dos elementos de laje alveolar (Fonte: Catoia, 2011)

### 2.3 – PRODUÇÃO

Tal como anteriormente referido, existem dois grandes processos industrializados de produção de LACP, o processo por moldagem/formas deslizantes, realizado através de máquinas moldadoras, e o processo por extrusão, realizado com o recurso de extrusoras. Para além deles poderão existir algumas variantes de um processo ou outro, uma ou outra inclusive imposta pelas condicionantes locais da obra, mas basicamente as etapas da produção permanecem constantes/semelhantes. Sefará então uma descrição de cada, uma síntese dessas etapas comuns aos processos, acrescentando uma ou outra nota sobre alguma particularidade, quando conveniente.

No decorrer dos itens anteriores, viu-se que a competitividade global no setor da construção civil levou ao desenvolvimento da industrialização, racionalização e mecanização, processos nos quais a pré-fabricação de elementos em concreto se destaca, mesmo não sendo solução única, e dentro dela os pisos em lajes alveolares de concreto protendido.

### 2.3.1 – PREPARAÇÃO DAS PISTAS

As pistas são como que corredores longitudinais, com a largura dos painéis, que lhes servem de base de assentamento, e ao longo das quais cada painel vai sendo executado, com base na progressão do equipamento utilizado, seja moldadora ou extrusora, o qual desliza sobre trilhos metálicos como se tratasse de uma via férrea. O comprimento das pistas costuma estar compreendido entre os 80m e 150m. Quer os trilhos quer a “cama” em concreto devem estar completamente livres de qualquer sujeira, podendo necessitar de uma varredura prévia (figura 7), após o que é aplicado um desmoldante á base de óleo sobre a pista, seja através de enceradeiras, rolos de espuma ou pulverizador.



Figura 7 – Limpeza da pista de protensão (Fonte: Direitinho, 2014)

A aplicação do desmoldante deve ser de modo que, mais tarde, após o corte dos painéis e quando do içamento, as lajes se apresentem com a sua superfície inferior lisa, de forma a evitar retrabalhos de estética nessa superfície, visto que uma das vantagens das lajes alveolares é o fato de evitarem o uso de forros em obra e minimizarem camadas de revestimento de teto. O desmoldante também não poderá manchar as lajes ou agredir quimicamente o concreto, delas ou o da própria pista de protensão. Se a aplicação de desmoldante for com enceradeiras ou rolos de espuma, ela será feita antes do posicionamento dos cabos de protensão. No caso de aplicação com pulverizador, poderá ser feita após esse posicionamento, o que acresce o

cuidado de proteger as cordoalhas de aço de protensão antes desse procedimento, de forma a não prejudicar a aderência entre as cordoalhas e o concreto dos painéis, mais adiante.

### 2.3.2 – POSICIONAMENTO DOS FIOS E CORDOALHAS

Após a limpeza e espalhamento do desmoldante na pista, procede-se então ao posicionamento dos fios ou cordoalhas de protensão (figura 8). Esse posicionamento deve seguir rigorosamente a geometria estipulada em projeto, e faz-se normalmente recorrendo a gabaritos metálicos designados por vezes de “pentes”, que ajudam a estender os fios ou cordoalhas ao longo da pista e nas suas posições corretas. Depois de estendidos, os fios são ancorados nos topos da pista em duas “cabeças de amarração”, uma passiva e outra ativa. Na cabeça de amarração passiva, os fios ou cordoalhas são simplesmente presos por um sistema de cunhas metálicas, de forma estática, diga-se. Na cabeça de amarração ativa, os fios ou cordoalhas são levados à protensão de projeto, e só depois fixos nos respectivos comprimentos com o sistema de cunhas metálicas. Antes de se proceder a protensão, devem-se posicionar nas laterais e nos topos da pista proteções metálicas em forma de grelha, ou rede, para evitar possíveis acidentes que decorram da liberação acidental de algum fio ou cordoalha depois de protendido.



Figura 8 – Fios ou cordoalhas dispostos na pista (Fonte: Catoia, 2011)

### 2.3.3 – PROTENSÃO NAS CORDOALHAS

A protensão nas cordoalhas é aplicada através de macacos hidráulicos, no topo da pista correspondente à cabeça de amarração ativa. Existem macacos que esticam cordoalha por cordoalha (figura 9), e existem sistemas hidráulicos que protendem todo o conjunto de cordoalhas de uma vez única. Sendo possível, é

preferível usar este último método, pois a protensão de cada cordoalha isoladamente provoca uma ligeira deformação na cabeceira, que afetará o alongamento medido na cordoalha seguinte, e assim por diante.



Figura 9 – Cordoalha protendida isoladamente (Fonte: Direitinho, 2014)

### 2.3.4 – CONCRETAGEM CONTÍNUA POR EXTRUSÃO OU MOLDAGEM

A concretagem dos painéis é executada de forma contínua, seja por extrusão (máquinas extrusoras), seja por formas deslizantes (máquinas moldadoras, ou *slipform*). De acordo com Araújo (2011), nas extrusoras o concreto é forçado a passar através de um alimentador em espiral que compacta em um único estágio a seção transversal, enquanto nas fôrmas deslizantes, o concreto é direcionado para dentro de setores móveis e vibrado por baterias de diferentes frequências, que formam as seções transversais em três estágios: primeiro a mesa inferior, seguido da alma e finalizando com a mesa superior. Tanto para um caso como para outro, as máquinas são alimentadas por caçambas que transportam o concreto (matéria prima) através de um sistema de pontes rolantes (figura 10).



Figura 10 – Caçamba alimentando extrusora em produção contínua (Fonte: Elematic, 2007)

As seções transversais produzidas com extrusoras apresentam alvéolos mais circulares, enquanto as produzidas pelas formas deslizantes apresentam alvéolos mais alongados e maior área de concreto; portanto, peças mais pesadas e com maior resistência ao cisalhamento.

Ambos os processos de produção usam concretos com baixas relações água/cimento ( $a/c$ ), sendo os concretos usados em extrusoras particularmente secos. Desse modo, conseguem-se altas resistências mecânicas para os concretos das lajes alveolares, com tensões de ruptura à compressão variando de aproximadamente 50 MPa a 75 MPa nos testemunhos, e de 4MPa a 7MPa para resistência à tração, usando quantidades mínimas de cimento.

Para o sistema de formas deslizantes, geralmente são usadas relações  $a/c$  da ordem dos 0,30 a 0,40, e conseqüentemente as resistências do concreto são usualmente um pouco mais baixas.

Chegados a este estágio de produção, seguem-se três etapas cuja ordem de execução pode ter algumas variantes, no entanto, escolheu-se apresentar a seqüência que conjuga da melhor maneira a praticidade nas empresas com a conservação das características técnicas do produto.

### **2.3.5 – CURA**

A cura do concreto corresponde ao processo que se verifica durante o período de tempo de enxugamento (perda de teor em água), e ao longo do qual esse mesmo concreto vai ganhando resistência mecânica. O processo, que poderia decorrer naturalmente sob as condições de temperatura e humidade ambientes, acaba no entanto por ser acelerado, dada a necessidade que as fábricas têm em providenciar uma maior rotatividade/produtividade nas pistas de produção. Existem dois grandes grupos de procedimentos de aceleração da cura no concreto, que são os processos químicos e os processos físicos.

Dentro dos procedimentos químicos, eles ainda podem ser divididos em mistura de minerais ao concreto ou mistura de produtos químicos. Embora esses processos saiam do escopo desta dissertação, sempre se dirá que muitas empresas usam os chamados superplastificantes, para ganho rápido de resistência no concreto nos primeiros dias após concluída a produção das LACP nas pistas.

Interessa-nos mais nesta dissertação os processos físicos, que correspondem à chamada cura térmica. Esse grupo ainda inclui várias técnicas diferentes.

Assim, tem-se a cura por condução/convecção, em que se procede à elevação da temperatura do concreto indiretamente, fazendo passar uma corrente elétrica pelas formas, ou bombeando água quente ou óleo, ou então é o próprio concreto que é diretamente aquecido pela passagem de tubulações com água quente ou óleo por dentro do elemento LACP. Nesta técnica deve haver o cuidado para que o concreto não perca a sua umidade de forma demasiadamente rápida.

Um outro processo físico é a cura por resistência elétrica, que consiste basicamente em aquecer o concreto pela passagem seja de uma corrente contínua (através de fios elétricos) seja de uma corrente alternada, por dentro do próprio concreto da peça.

Existe ainda a cura a vapor, realizada à pressão atmosférica (figura 11). O processo realiza-se normalmente do seguinte modo: são alimentadas caldeiras, nas instalações fabris, as quais servem para produzir vapor de água e conduzi-lo até os painéis recém executados na pista de protensão, através de tubulações, as quais possuem aberturas regularmente espaçadas ao longo do comprimento da pista, de modo que o vapor de água possa ser liberado e envolva o painel em toda a sua extensão. O painel encontra-se coberto por uma capa, normalmente uma lona impermeável, de maneira a conservar o vapor de água aquecido ao redor da peça. O procedimento deve ser executado apenas depois que o concreto começa a ganhar pega, e a velocidade de aumento de temperatura com a chegada do vapor deve andar em torno dos 15°C/hora a 20°C/hora, após o que deve ser mantida uma temperatura estável sob a lona em torno dos 60°C a 70°C durante um período aproximado de seis horas. Após esse período, volta-se a arrefecer o ambiente dentro da lona a uma velocidade que não ultrapasse os 30°C/hora. Com este procedimento, consegue-se um aumento da velocidade de cura do concreto e de ganho de resistência logo nos primeiros dias de idade.



Figura 11 – Cura a vapor (Fonte: Catoia, 2011)

### 2.3.6 – RECORTES NOS PAINÉIS

Os recortes nos painéis são executados quer em situações de pilares, quer em eventuais shafts verticais, quer para adequar os painéis ao *layout* em planta das edificações, que se vai tornando cada vez mais diverso e complexo com os novos desenvolvimentos da arquitetura. Sempre que possível, e desde que não comprometa a capacidade resistente do elemento, esses cortes devem ser feitos ainda com o concreto fresco, por se tornarem mais fáceis de executar do que depois, quando o concreto já está endurecido (figura 12).



Figura 12 – Execução de um recorte de pilar em concreto fresco (Fonte: Petrucelli, 2009)

### 2.3.7 – MARCAÇÃO DOS PAINÉIS

A marcação dos painéis é feita para diversos fins: por um lado é necessário definir o comprimento de cada painel, antes de proceder o respetivo corte, e por outro lado é necessário fazer um aproveitamento mais racionalizado do comprimento da pista pretendida. Isso significa que numa mesma pista muitas vezes é necessário existirem painéis que pertencem a obras diferentes, encomendas diferentes, para que no final da pista o comprimento de painel que sobrou não se tornar maior do que deveria. Além disso, os painéis também devem ser marcados por uma questão de rastreabilidade, e daí ser necessário marcar os painéis em função do número e tipo de cordoalhas usado, número de ordem, data de produção, peso próprio e outros. Embora haja algumas vantagens em fazer essa marcação o quanto antes possível, a verdade é que ela também não poderá ser feita com o concreto demasiado fresco, nem de maneira a prejudicar os comprimentos de recobrimento das cordoalhas nos painéis.

### 2.3.8 – LIBERAÇÃO DA PROTENSÃO

A liberação da protensão nas pistas só deverá ser realizada depois que o concreto atinja valores de  $f_{ck} \geq 30\text{MPa}$  a  $35\text{MPa}$ , o que deverá ser verificado por ensaios de ruptura à compressão, realizados sobre testemunhos com concreto proveniente da produção da pista em questão.

### 2.3.9 – CORTE DOS PAINÉIS

O corte dos painéis é efetuado por equipamentos industriais providos de grandes serras de disco com diamante. Esses cortes podem ser realizados transversalmente aos painéis, longitudinalmente, ou de forma inclinada (figura 13 e figura 14). Os equipamentos usados são semelhantes, embora as serras para cortes inclinados costumem ser um pouco mais caras. Os cortes transversais são os mais habituais e os mais rápidos de fazer. Normalmente o procedimento de corte não apresenta grandes problemas, a não ser em casos de painéis com níveis de protensão muito elevados, em que as contraflechas são muito altas e podem fazer travar o disco da máquina. Para se evitarem essas situações, por vezes colocam-se pesos provisórios sobre os painéis para fazer diminuir as contraflechas. Acrescente-se que, tanto para evitar que os discos aqueçam em excesso como para facilitar o deslizamento do disco durante o corte, são lançados pequenos esguichos de água sobre a peça, pela própria máquina, ao mesmo tempo que esta vai cortando o painel.



Figura 13 – Corte transversal de LACP (Fonte: Catoia, 2011)



Figura 14 – Corte longitudinal de LACP (Fonte: Petrucelli, 2009)

## 2.4 – REMOÇÃO / IÇAMENTO, INSPEÇÃO E ESTOCAGEM

Os painéis de LACP são normalmente içados, numa primeira fase, através de sistemas de garras e balancins presos ao cabo de aço de pontes rolantes, ou alternativamente com ganchos desde que os painéis estejam providos de alças, até um local intermediário apropriado para que sejam inspecionados (figura 15). nesse local podem-se ir empilhando os painéis, desde que não tenham sido verificados defeitos, através de um sistema de cantoneiras ligadas ao cabo de aço da ponte, ou laçando por baixo e ao redor o feixe de painéis sobrepostos com fitas ou cabos de aço. Transporta-se a pilha, até o limite de capacidade de carga da ponte rolante, e até uma zona mais afastada em relação às pistas de protensão. Daí elas serão finalmente colocadas diretamente sobre os caminhões que as levarão até a obra, ou transportadas para o local apropriado de estocagem da fábrica, com recurso de empilhadeiras. Para este propósito, quer nas fases intermédias quer na estocagem final, quando os painéis são empilhados uns sobre os outros, isso deverá ser feito com o auxílio de calços de madeira alinhados na vertical, de forma a evitar a fissuração ou quebra dos painéis. Ademais, o transporte feito por empilhadeiras deverá ser realizado cuidadosamente, de forma a evitar vibrações e balanceamentos que possam comprometer a peça.



Figura 15 – Remoção de pequeno painel de LACP (Fonte: Direitinho, 2014)



Figura 16 – Estocagem dos painéis com os calços alinhados (Fonte: Direitinho, 2014)



Figura 17 – Painéis fissurados devido a estocagem com calços desalinhados (Fonte: Petrucelli, 2009)

## 2.5 – ACABAMENTOS

As lajes alveolares em concreto protendido podem carecer por vezes de alguns acabamentos, por vários motivos. É o caso por exemplo nos recortes de pilares, ou até nas bordas dos painéis, ou quando o procedimento de içamento dos painéis acabou por danificá-los um pouco (com o sistema de garras, por exemplo), ou quando algo não correu como deveria, com a aplicação do desmoldante, e a superfície inferior do painel não ficou lisa.

Esses pequenos trabalhos de restauro/acabamento são normalmente executados através de uma calda/nata de cimento. Nestes casos os painéis com essas pequenas imperfeições são então montados sobre cavaletes, e aplica-se a referida nata de cimento com a mesma tonalidade do concreto, com uma brocha, de maneira que os painéis não fiquem manchados.

Os acabamentos por regra são tidos como trabalhos desnecessários que geram custos não previstos, pois os painéis devem sair das pistas e chegar às respectivas áreas de estocagem da fábrica em perfeitas condições.

## **2.6 – VARIAÇÕES DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO**

Nos itens anteriores descreveram-se as etapas dos principais processos industrializados de produção de LACP. Existem no entanto algumas variações sobre esses processos, seja por graus de industrialização ainda mais avançados, seja porque as condicionantes da obra não permitem a aplicação dos processos de produção habituais. Cabe aqui referir sumariamente dois desses casos a seguir.

### **2.6.1– “CARROSSEL”**

Ainda de acordo com Catoia (2011), na Europa é empregado um outro processo de produção habitualmente designado de “carrossel”, e no qual o que se movimenta são as pistas de concretagem, permanecendo fixos os equipamentos de concretagem. Assim, evita-se o transporte do concreto pela fábrica, o que permite criar um ambiente de produção mais seco e limpo. Além disso, e segundo a pesquisadora, existe uma maior facilidade de transporte interno das peças e serviços secundários, como a fixação de suportes para içamento, ou a realização de rasgos para inserção de armaduras de continuidade, que são executados na própria pista de concretagem. Desse modo, os elementos de laje fabricados com esse sistema dirigem-se à expedição ou à área de estocagem, sem a necessidade de realização de serviços adicionais, como perfurações, cortes parciais, etc.

Esse processo acaba permitindo maior economia de espaço e maior racionalização do consumo de energia usada durante a cura, que ocorre numa área específica da fábrica. A figura 18 apresenta um detalhe da pista de concretagem e do equipamento de concretagem fixo, sendo que o sentido de movimento das pistas se encontra indicado pelas setas.



Figura 18 – Sistema de produção tipo “carrossel” (Fonte: Catoia, 2011)

### 2.6.2– PRODUÇÃO EM OBRA POR IMPOSIÇÕES LOGÍSTICAS

Por vezes a própria obra pode impor dificuldades logísticas, ou outras condicionantes, que obriguem a uma modificação/variante no processo de produção, mesmo que os equipamentos produtivos usados (moldadoras ou extrusoras) possam permanecer os mesmos ou não. De todo modo, refere-se que se trata de situações onde já se está em domínios que pertencem a fronteiras entre pré-fabricação e pré-moldagem de elementos.

Seja então a situação em que, por dificuldades de acesso ao local de obra, por vezes agravadas ainda com distâncias muito grandes em relação aos pontos de fornecimento, tenha que se considerar então a produção de LACP em canteiro. Uma solução possível de ser adotada é a que se apresenta a seguir:

- Começa-se por definir uma área da obra onde se realizará a produção das LACP, área essa cujo terreno deverá ser desmatado, limpo, e nivelado (figuras 19 e 20);



Figura 19 – Limpeza e desmatamento do terreno (Fonte: Direitinho, 2014)



Figura 20 – Nivelamento do terreno (Fonte: Direitinho, 2014)

- Executam-se em seguida os leitos das pistas de protensão (figura 21);



Figura 21 – Execução dos leitos das pistas de protensão (Fonte: Direitinho, 2014)

- Faz-se a montagem das cabeceiras passiva e ativa para as pistas (figura 22);



Figura 22 – Cabeceira de pista de protensão (Fonte: Direitinho, 2014)

- Procede-se à limpeza, aplicação de desmoldante e colocação das formas laterais, moldes e guias (figura 23);



Figura 23 – Desmoldante, formas laterais, moldes e guias (Fonte: Direitinho, 2014)

- Colocação de tubos sacáveis - é uma possibilidade, existem outras- (figura 24);



Figura 24 – Tubos sacáveis (Fonte: Direitinho, 2014)

- Protensão dos cabos de pré-esforço (figura 25);



Figura 25 – Protensão dos cabos (Fonte: Direitinho, 2014)

- Concretagem e vibração/compactação (figura 26);



Figura 26 – Concretagem e vibração (Fonte: Direitinho, 2014)

- Cura;
- Desprotensão;
- Retirada dos tubos;
- Corte das cordoalhas entre painéis e retirada deles da pista.

## 2.7 – TRANSPORTE, MONTAGEM E EXECUÇÃO DA CAPA EM OBRA

O transporte das peças é normalmente feito por caminhões com um gabarito máximo de 12,5m, o que normalmente acaba condicionando o próprio comprimento dos painéis de LACP. No entanto, painéis de maiores comprimentos podem ser transportados pelos normalmente designados “transportes especiais”, que no entanto obrigam a acompanhamento do transporte por escolta de sinalização e segurança, e eventualmente à circulação da carga em horas pré-determinadas também (durante a noite, por exemplo). Durante o transporte devem ser evitadas quaisquer vibrações/ressaltos mais bruscos dos painéis, de forma a não comprometer a sua capacidade/resistência ou provocar a abertura de fendas. A descarga em obra pode ser feita diretamente para o local de posicionamento final do painel, o que nesse caso será feito por guas automóveis (“munck”), ou para zona de estocagem em canteiro, o que pode ser feito pelo próprio caminhão de transporte, se ele for provido de guincho com suficiente capacidade de carga, ou pode ser feito por empilhador ou “munck” também. Na descarga dos painéis para local de estocagem em obra, devem ser seguidos alguns cuidados que são os seguintes:

- Os painéis não devem ser apoiados diretamente sobre o solo ou simplesmente justapostos uns sobre os outros, mas sim em local plano, sobre apoios de madeira assentes no solo e que distem entre 30cm a 1,00m das extremidades dos painéis. Entre cada painel e o painel seguinte, quando empilhados, devem ser

colocados pequenos barrotes de madeira com altura constante, seguindo o mesmo alinhamento dos apoios de madeira da pilha junto ao solo. A altura das pilhas de painéis deverá variar entre 3,5m e 5m, dependendo do tipo (peso) dos painéis.

O içamento e montagem dos painéis na sua posição final na estrutura da edificação é normalmente realizado por equipamentos de elevação tipo “munck”, na ponta da lança dos quais é suspenso um perfil metálico em “I”, ligado por cabos ao gancho da máquina, perfil metálico esse de onde por sua vez partem tirantes suspensos, ao longo do comprimento do perfil, na ponta dos quais estão acopladas garras metálicas que prendem/agarram o painel de forma a levá-lo até a sua posição de serviço (figura 27).



Figura 27 – Montagem de LACP (Fonte: Araújo, 2011)

O procedimento de montagem dos painéis é de rápida execução mas exige mão de obra treinada para o efeito.

Os painéis de LACP apresentam frequentemente contraflechas com valores bem diferenciados uns dos outros, seja por questões de tolerâncias normais de projeto, fabricação dos painéis em tempos distintos, estocagem dos elementos em locais e condições ambientais diferentes, e outros. Isso faz com que em obra os painéis imediatamente adjacentes uns aos outros se apresentem desnivelados entre si (figura 28), havendo portanto que proceder o nivelamento da laje como um todo. Para tal efeito usa-se um sistemas de torniquetes executados com varões de aço rosqueado, providos de pequenos perfis de madeira, que prendem os painéis contíguos, tanto na face inferior como superior, obrigando-os a ficarem ao mesmo nível uns dos outros (figura 29).



Figura 28 – Diferença de nível entre painéis contíguos (Fonte: Araújo, 2011)

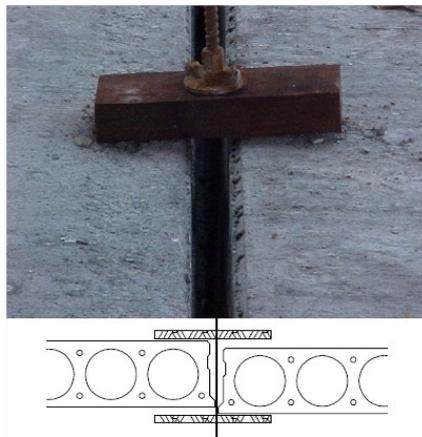


Figura 29 – Nivelamento de painéis contíguos (Fonte: Araújo, 2011)

Depois de nivelados os painéis contíguos, haverá que garantir que estes assim permaneçam para sempre, e que a laje funcione como um todo, havendo transmissão de esforços entre os painéis. Para que tal aconteça é necessário grautear as juntas entre painéis contíguos (figura 30).



Figura 30 – Grautear as chaves de cisalhamento (Fonte: Petrucelli, 2009)

Depois que o graute tenha endurecido suficientemente de forma a resistir às forças de cisalhamento que surgirão com a retirada dos torniquetes, a referida retirada pode ser executada. Chegando a esta fase da execução e montagem das lajes, duas situações podem ocorrer: 1 - LACP sem capa estrutural; 2 – LACP com capa estrutural.

### 2.7.1 – LACP SEM CAPA ESTRUTURAL

São situações mais habituais na Europa, onde são frequentemente usadas LACP de maiores alturas/espessuras, em que deixa de haver então a necessidade do uso da capa para fins estruturais. De todo modo, a aplicação deste tipo de solução requer alguns cuidados acrescidos. Assim, haverá que garantir por uma lado a perfeita aderência entre a face superior da laje e a camada de contrapiso ou de regularização ou até de acabamento que sobre ela funcionará. Para isso, deverá ser providenciada uma rugosidade acrescida nessas mesmas faces, o que pode ser obtido pelo processo que consta na figura 31.



Figura 31 – Execução de superfície rugosa durante a concretagem (Fonte: Antunes, 2011)

Além disso, essa superfície superior das lajes deverá depois ser isenta de quaisquer sujeiras, poeiras ou contaminantes, através de limpeza a jato de água, ar comprimido ou a vácuo. Simples limpeza por vassoura não é admitida como suficiente. As ligações dos painéis com as vigas, nos apoios e entre painéis de vãos contíguos, também têm que ser mais cuidadas, de acordo com a figura 32.



Figura 32 – Ligações laje/viga e laje/laje em LACP sem capa estrutural (Fonte: Elliott, 2005)

As juntas longitudinais entre painéis, na sua face lateral, também têm que ser melhoradas, para melhor transmissão dos esforços de cisalhamento, conforme a figura 33.

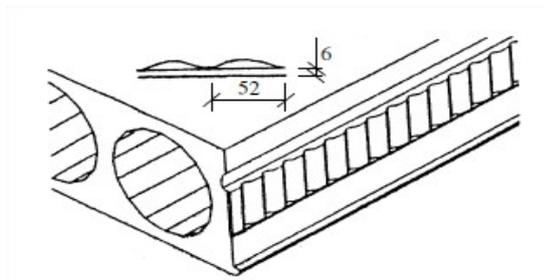


Figura 33 – Junta longitudinal com mecanismo para transferência de esforços (Fonte: Elliott, 2005)

### 2.7.2 – LACP COM CAPA ESTRUTURAL

A capa estrutural é executada com concreto moldado “in-situ”, numa espessura que na maioria dos casos varia em torno dos 5cm. Antes de se proceder a sua execução, haverá no entanto que distribuir uma tela eletrossoldada sobre os painéis, tela essa que ficará então embebida na capa, e cuja função é a de ajudar a fazer a redistribuição dos esforços para as laterais da laje e evitar a fissuração do concreto da própria capa (figura 34).



Figura 34 – Distribuição de tela eletrossoldada para posterior concretagem da capa (Fonte: Petrucelli, 2009)

A capa estrutural em concreto trabalha em conjunto com a LACP e serve para aumentar a resistência à flexão, aumentar a resistência ao cisalhamento, reduzir a armadura de protensão e para reduzir os deslocamentos laterais do pavimento (figura 35). Além disso ela garante também o nivelamento da superfície da laje para aplicação do revestimento.



Figura 35 – Execução de capa estrutural sobre a laje alveolar (Fonte: Antunes, 2011)

Também no caso de lajes com capa estrutural, haverá que garantir uma rugosidade mínima entre as LACP e a capa, para que funcionem em conjunto, e a retirada de qualquer material pulverulento, assim como a manutenção da superfície da LACP úmida sem excessos, antes da aplicação da capa, de maneira a que a LACP não retire água do concreto moldado no local.

Como a capa estrutural na maioria das vezes é executada em obra pelo contratante, e não pelo fabricante das lajes, e como se pretende que a LACP e a capa funcionem como seção composta, há necessidade de em fase de projeto se fazer um detalhamento completo de como a capa deve ser executada.

Em caso de vãos muito grandes, o efeito de retração no concreto da capa ou o provocado pelas variações térmicas obriga a execução de juntas de execução de fissuras na capa, segundo os eixos principais, ou a cada 10m.

## **2.8 – A ABNT NBR 14861:2011 E A PRESENTE DISSERTAÇÃO**

A recente norma ABNT NBR 14861:2011, “Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido – requisitos e procedimentos” é a norma nacional que deve servir de referência para a presente dissertação. No entanto, a presente dissertação tem um viés mais prático e detalhista que o da norma. Começando pelo recebimento e armazenamento dos materiais que são usados na produção das LACP, veja-se que a

norma é extremamente sintética, referindo, apenas, no que aos aglomerantes (cimentos), agregados (“britas” e areias) e à água diz respeito, que “...ao respectivo recebimento e armazenamento se aplica o disposto na ABNT NBR 14931”. Ela não é explícita no que refere ao procedimento de registro da proveniência dos materiais, e a importância que esse registro tem para os procedimentos de controle de qualidade dessas tarefas (recebimento e armazenamento), ou em relação ao registro das formas pelas quais os materiais são recebidos, ou em relação a se fazerem verificações entre o que se encomendou e o que realmente se recebeu, ou ainda em relação às condições ambientais/climáticas sob as quais esses recebimentos são efetuados, quais os procedimentos de inspeção pertinentes, o que fazer quanto à rastreabilidade de amostras colhidas no recebimento, estado de eventuais embalagens/sacos, e outros elementos que importam, visando o controle de qualidade. O mesmo tipo de questões se levantam em relação ao recebimento e armazenamento de aditivos e adições.

Em sentido contrário, a norma já é mais explícita quando refere que “...em elementos pré-moldados protendidos, os aditivos empregados no concreto ou na argamassa em contato com a armadura de protensão não devem conter ingredientes que possam provocar corrosão do aço, em particular a corrosão sob tensão, sendo proibido o uso de aditivos à base de cloretos ou quaisquer outros halogenetos....”.

A norma volta a ser extremamente sintética quando refere, em relação a algumas propriedades dos concretos usados e das LACP em si próprias que “....Aplica-se o disposto na ABNT NBR 6118 com relação à trabalhabilidade, à durabilidade, ao diagrama tensão-deformação, ao módulo de deformação longitudinal à compressão, ao módulo de deformação transversal, ao coeficiente de Poisson, ao coeficiente de dilatação térmica, à retração e à fluência.” Noutras partes a norma é um pouco ambígua ou omissa, como quando refere que “....A liberação da protensão das lajes alveolares, conforme definido em 3.6, deve ser executada com meios apropriados que evitem transmissão de choques dos fios ou cabos ao concreto e somente após comprovação de que a resistência efetiva do concreto à compressão tenha atingido o valor indicado no projeto para esta fase, não admitindo valor inferior a 21 MPa.”. Poder-se-ia questionar então o que a norma entende quanto a meios apropriados.

Por outro lado, no que diz respeito à frequência dos ensaios, é importante quando a norma refere que “- Sempre que houver alteração no proporcionamento dos materiais, ou paralisação e posterior retomada dos trabalhos, um novo ensaio deve ser realizado”. Podendo parecer óbvio, acaba sendo importante. Quase logo a seguir, e no

que diz respeito à verificação da trabalhabilidade do concreto, a norma afirma “...A verificação da trabalhabilidade deve ser feita através de ensaios de consistência.” Pensa-se que a norma poderia ser um pouco mais explícita, indicando os ensaios. Mesmo que, logo mais à frente, e a propósito do uso do processo de moldagem, no fabrico, a norma afirme que “...No processo por moldagem, a concretagem é feita por meio de máquina moldadora e o abatimento do concreto deve ser obtido conforme for estabelecido na dosagem experimental. Para a determinação do abatimento de concreto, deve ser seguida a ABNT NBR NM 67.”. Uma vez mais a norma remete para uma outra, sendo de novo bastante concisa, o que é uma prática recorrente ao longo de todo o seu texto.

No que se refere à verificação da resistência mecânica, mais à frente, a norma afirma “...Podem ser empregados métodos não destrutivos para a avaliação da resistência durante a fase construtiva, de manuseio, transporte e montagem, desde que se tenha determinada a relação entre as leituras obtidas pelo método escolhido, em corpos de prova moldados conforme a ABNT NBR 5738, com as resistências resultantes na ruptura desses mesmos corpos de prova, pelo método da ABNT NBR 5739 na mesma idade, submetidos a condições de cura iguais às dos elementos pré-moldados.” A questão que se deixa em aberto é se a norma não poderia ser mais explícita em relação aos métodos não destrutivos. Até porque, logo a seguir, ela parece querer entrar em relativa contradição quando refere que “...É vedada a utilização de métodos não destrutivos como ferramenta rotineira para fins de controle de qualidade e avaliação de resistência, em concretos de baixas idades, como para a liberação das etapas de retirada das formas e do corte das armaduras protendidas.”

Um aspecto onde a ABNT NBR 14861:2011 é bastante específica, completa, é no que diz respeito às tolerâncias dimensionais admissíveis, ao apresentar toda uma tabela a esse propósito, e ao afirmar “...As tolerâncias de fabricação das lajes alveolares de concreto protendidas devem atender às prescrições da Tabela 1.”

Dimensões		Tolerâncias (mm)
Comprimento	$L \leq 5$ m	+/- 10
	$5 \text{ m} < L \leq 10$ m	+/- 15
	$L > 10$ m	+/- 20
Espessura (a)	$a \leq 150$ mm	- 5, + 10
	$a \geq 250$ mm	+/- 15
	$150 \text{ mm} < a < 250$ mm	Interpolação linear
Espessura dos alvéolos - alma (k)		- 10, + 15
Recortes/vazios (i)		+/- 20
Posição de chapas metálicas ou furos para fixação (d)		+/- 15
Posição do cabo de protensão (e)		+/- 10
Esquadro dos cantos		+/- 5
Esquadro diagonal	$L \leq 10$ m	+/- 15
	$L > 10$ m	+/- 2 / m
Planicidade (b no plano)	$L \leq 5$ m	+/- 3 mm
	$L > 5$ m	+/- L/1000
Distorção	Largura ou altura $\leq 1$ m	$\pm 3$ mm a cada 30 cm
	Largura ou altura $> 1$ m	+/- 10 mm
Linearidade (b)		+/- L/1000
Alinhamento transversal somente da LACP (j)		+/- L/500
onde: L é o comprimento do elemento pré-moldado e demais dimensões são representadas na Figura 2.		

Tabela 1 - Tolerâncias dimensionais de fabricação de lajes alveolares (Fonte: ABNT NBR 14861:2011)

Só que, logo a seguir relativiza a importância da tabela apresentada ao referir “...É admissível a utilização na obra de elementos fora das tolerâncias definidas, desde que não comprometam o desempenho estrutural, arquitetônico ou a durabilidade da obra como um todo, sendo que tal fato deve ser comprovado pelo responsável pelo projeto estrutural.”

Continuando, e agora no que refere aos comprimentos mínimos de apoio das lajes alveolares, a norma preconiza: “O comprimento mínimo do apoio (a) da extremidade de lajes alveolares deve ser calculado segundo a equação a seguir.”

$$a = a_1 + (a_2^2 + a_3^2 + t_2^2 + t_3^2)^{1/2}, \text{ sendo } a_1 = \frac{V_d}{b_n \cdot \sigma_{Rd}}, \text{ onde:}$$

$V_d$  = valor de cálculo da reação de apoio;

$b_n$  = largura do apoio; nunca deve ser menor do 50% da largura da laje;

$\sigma_{Rd}$  = valor de cálculo da resistência à compressão do concreto, sendo:

$\sigma_{Rd} \leq 0,6.f_{cd}$ , para o caso de apoio direto concreto em concreto;

$\sigma_{Rd} \leq 0,7.f_{cd}$ , para o caso de apoio sobre fita de neoprene ou de borracha;

$\sigma_{Rd} \leq 0,8.f_{cd}$ , para o caso de apoio sobre argamassa ou sobre aço;

$f_{cd}$  = resistência à compressão de cálculo do concreto;

$a_2$  = comprimento da possível ruptura do canto do apoio, com  $\sigma_{Sd} > 0,4.f_{cd}$

$a_2 = 0$ , no caso de estruturas metálicas;

$a_2 = 25$  mm, no caso de alvenaria ou concreto não armado;

$a_2$  = cobrimento nominal de concreto, se a barra de armadura tiver diâmetro menor ou igual a 12,5 mm;

$a_3$  = cobrimento nominal mais o diâmetro da barra mais o raio interno de curvatura da barra, caso a barra de armadura tenha diâmetro maior que 12,5 mm;

$a_3$  = comprimento da possível ruptura do canto da laje alveolar, com  $\sigma_{Sd} > 0,4.f_c$

$a_3 = 0$ , no caso de fios ou cordoalhas ou barras expostos na extremidade da laje;

$a_3$  = maior valor entre o cobrimento nominal de concreto ou 10 mm, se a barra de armadura tiver diâmetro menor ou igual a 12,5 mm;

$a_3 = 15$  mm, caso a barra de armadura tenha diâmetro maior que 12,5 mm;

$t_2 = 15$  mm, para o caso de apoio em estrutura metálica ou de concreto pré-fabricado;

$t_2 = 20$  mm, para o caso de apoio em alvenaria ou de concreto moldado no local;

$t_3 = l_n/2500$ , sendo  $l_n$  o vão livre da laje alveolar entre os apoios;

$t_1$  = máxima tolerância dimensional do comprimento da laje mais a máxima tolerância dimensional da construção.

No entanto, logo a seguir, a própria norma estabelece uma recomendação bastante mais simplificada para esse comprimento mínimo de apoio das lajes, ao referir: “Recomenda-se que o comprimento mínimo de apoio ( $a$ ) seja maior ou igual a  $h/2$ , sendo  $h$  conforme a figura.... (ver figura 36 a seguir)”.

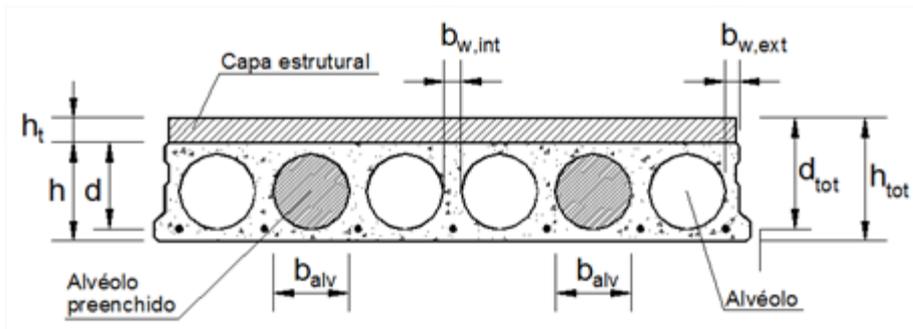


Figura 36 – Exemplo de seção transversal de laje alveolar com capa estrutural e alvéolos preenchidos (Fonte: ABNT NBR 14861:2011)

Quanto à distribuição e cobrimento para as cordoalhas de protensão, a norma refere o seguinte: “A distribuição das cordoalhas deve ser feita de modo a garantir os requisitos de cobrimento mínimo de armaduras segundo ABNT NBR 9062 e que haja simetria no seu posicionamento ao longo da seção transversal, de modo a garantir a uniformidade da força de protensão e não gerar fissuração.”...”A distância mínima entre cordoalhas deve seguir os requisitos da ABNT NBR 6118. Convém que a distância máxima entre fios ou cordoalhas não ultrapasse 400mm ou 2h (sendo h a altura da laje.”.

A norma ABNT NBR 14861:2011, apenas incide verdadeiramente, fortemente, sobre os processos de produção das lajes alveolares, a partir do seu parágrafo 11, o penúltimo.

Sobre os trabalhos preparatórios, os que precedem a execução de uma nova pista de LACP, a norma nada refere quanto aos cuidados de segurança no trabalho que devem ser tomados nesta etapa, mormente a instalações de redes metálicas de proteção, quer nas laterais quer nos topos da pista, nas proximidades das cabeceiras de amarração, e a proibição/impedimento de circulação de pessoas estranhas aos trabalhos nas imediações da pista de protensão.

Convém fazer neste instante uma observação, para referir que, ao longo da dissertação, não houve uma preocupação mais clara, especial, no que diz respeito à identificação e rastreabilidade das peças, ainda que na etapa em que as peças não foram cortadas, ou até mesmo depois de estocadas, por um simples motivo: é que, presumivelmente, é de esperar que na atividade rotineira de uma fábrica tenham que haver alterações de última hora na produção, impostas pelas obras, e nesse caso, determinados painéis de LACP, que inicialmente tenham sido produzidos para determinado cliente e para determinada obra, podem acabar sendo fornecidos para outro cliente e para uma outra obra. O que se torna obrigatório sim é a correta identificação do tipo de laje que se produziu.

No que diz respeito à etapa de concretagem das LACP, acha-se que existe toda uma série de cuidados que poderiam ter sido referidos na norma e não foram. A norma contém o título “Requisitos e Procedimentos”, e neste caso pensa-se que os procedimentos de controle de qualidade poderiam merecer um pouco mais de detalhamento. A norma nada fala quanto ao registro das condições climáticas em que a concretagem se verifica, ou em relação às LACP serem concretadas a coberto ou a descoberto. Também nada refere quanto a uma eventual verificação do perfeito funcionamento dos tubos/facas, durante o processo de moldagem, ou quanto ao perfeito funcionamento dos guia-fios durante esta etapa. É omissa também nesta parte quanto à retirada de corpos de prova para ensaios, ou quanto à verificação da correta calibração da energia de compactação transmitida pelos equipamentos. Não refere a obrigatoriedade do registro de interrupções na concretagem, tampouco quais as amassaduras em que essas eventuais interrupções se verificaram, e quais os seus motivos. Como se pode imaginar, todas essas questões são importantes para o controle de qualidade dessa etapa do processo de produção.

Quanto à etapa de cura, a norma volta a ser bem concisa, e remetendo para outra norma, quando afirma “...Um processo de aquecimento pode ser usado depois de estudo do gradiente de temperatura, atendendo às especificações de cura acelerada da ABNT NBR 9062.”

Julga-se que a ABNT NBR 14861:2011 poderia ter sido mais explícita quanto aos métodos a serem usados, ou quanto à necessidade de um intervalo máximo de tempo entre o final da execução da pista e o início do processo de cura, ou ainda quanto à necessidade de controle da uniformidade de espaçamento entre os pontos de saída de vapor, no caso da cura ser a vapor, que é um dos métodos mais usualmente utilizados, ou quanto à uniformidade de espaçamento entre os pontos de controle de temperatura da laje, controle dos seus níveis de umidade, controle das velocidades quer de aquecimento quer de arrefecimento da pista, durante o seu processo de cura, do tempo total de cura, controle da temperatura máxima durante a cura, bem como controle da duração do patamar de temperatura máxima. São todos pontos extremamente importantes para o controle de qualidade na etapa de cura das LACP.

Considera-se que a norma é suficientemente específica a respeito dos cuidados a ter durante a etapa da desprotensão das lajes.

Quanto à etapa de corte das lajes, o que a ABNT NBR 14861:2011 refere é: “É recomendável que o corte das lajes seja iniciado pela extremidade por onde foi feita a

liberação da protensão. O corte deve ser feito usando uma serra diamantada, que pode cortar a laje transversalmente, longitudinalmente ou na diagonal, conforme estabelecido em projeto. Recomenda-se que o corte das lajes seja feito após sua cura, de forma a garantir a aderência das cordoalhas ao longo de todo o comprimento da laje, inclusive nas extremidades, e evitar o escorregamento das cordoalhas. É necessário assegurar que a máquina corte as cordoalhas completamente.”. Embora traga informações bastante importantes quanto à maneira como o corte das LACP deve ser efetuado, pensa-se que ainda assim foram deixados de fora do texto da norma aspectos importantes relativos a esta etapa. Assim, nada é referido a propósito da necessidade de um período mínimo de espera entre o final da desprotensão e o início do corte, nem quanto à necessidade de se proceder a um carregamento das LACP antes do início do seu corte, nos casos em que os níveis de protensão aplicada sejam bastante elevados. Da mesma forma, não são referidos cuidados a serem levados em conta quanto à verificação das perfeitas condições de uso da serra, antes de iniciado o corte (como exemplo a perfeita fixação da serra ao eixo do equipamento de corte). Tampouco são feitas observações quanto à necessidade de uma regularidade na linha/superfície de corte produzida nas peças. Todos eles são aspectos importantes a serem tidos em conta nos procedimentos de controle de qualidade desta etapa da produção das lajes.

No que diz respeito à verificação do escorregamento de cordoalhas, a norma é bem explícita, bem detalhista.

No que diz respeito à superfície e fissuras, a norma parece deixar algum espaço para uma certa indefinição, quando diz “O concreto deve ser denso. Nenhuma fissura deve penetrar a laje. Algumas fissuras pequenas e abatimentos (deformação) do concreto podem ser aceitos se reparados, ou podem ficar sem reparo dependendo do tipo de fissura. Geralmente fissuras pequenas têm uma largura de 0,2 mm, altura  $h/3$  e comprimento  $h$ , sendo  $h$  a altura do painel. Defeitos maiores devem ser sempre inspecionados e suas implicações avaliadas pelo responsável pelo projeto estrutural.” Poderia perguntar-se, por exemplo: o concreto deve ser denso, mas quanto denso deve ser? Como avaliar a sua densidade?

E a esse respeito a norma ainda completa da seguinte forma: “As fissuras durante o processo de fabricação devem ser avaliadas conforme o controle de qualidade estabelecido pelo fabricante. Podem ser consultados manuais de referência, como indicado na Bibliografia.” Estranha-se um pouco que a norma deixe este aspecto ao cuidado de cada um dos fabricantes.

Quanto às etapas de içamento e manuseio das LACP dentro da fábrica, apesar de fornecer indicações relevantes, a norma nada diz quanto a distâncias mínimas que devem ser respeitadas em situações de proximidade a linhas de alta tensão, ou à ausência de umidade nos dispositivos de elevação nessas situações. Tampouco refere quaisquer cuidados de segurança que devem ser tidos em relação às pessoas nesses trabalhos, nomeadamente a proibição de pessoas sob as cargas. São procedimentos de controle de qualidade importantes durante a execução dessas etapas.

É nesta fase do processo produtivo, antes de serem levadas a estoque em fábrica, que devem ser tomados alguns cuidados de inspeção das peças, os quais também não são referidos no penúltimo parágrafo da norma. Assim, seria importante mencionar neste ponto a necessidade de verificação de ausência de manchas, bolhas e nichos nas peças, de executar acabamentos em recortes de pilar, de executar acabamentos em bordas de painel, acabamentos na superfície inferior dos painéis, e em situações de pequenas quebras nas arestas e em outros pontos eventualmente com necessidade de tais correções.

Já na fase de estocagem, não é referido na norma o fato de os calços de madeira a colocar para empilhamento das lajes deverem respeitar distâncias máximas em relação às extremidades das peças, para não introduzirem momentos negativos excessivos, apenas pelo efeito do peso próprio.

Por outro lado, e antes das peças serem transportadas para obra, haverá que observar se as contraflechas máximas nas peças estão conformes, o que também não é referido na norma. Todos esses aspetos são importantes para os procedimentos de controle de qualidade nessas etapas.

Relevante é o fato de que, para efeito de procedimentos de controle de qualidade, a norma para nessa etapa, ou seja, não considera etapas consequentes, como o transporte para obra, a correspondente descarça em canteiro e a montagem das LACP, ou até a execução da capa estrutural. E nessas etapas existe também uma série de procedimentos de controle de qualidade a respeitar. Poderia-se argumentar que são etapas que já não pertencem ao processo produtivo das LACP, que já são posteriores, mas a verdade é que a norma inclui no seu escopo a execução da capa estrutural. Assim sendo, considera-se que todas as etapas, incluindo essa, poderiam ser consideradas para efeito de procedimentos de controle de qualidade.

Com relação ao transporte para a obra, por exemplo, seria importante ficar registrado a quem cabe essa responsabilidade, quais os tipos de lajes transportadas,

a identificação do cliente e da obra, bem como toda uma série de dados relativos ao estado geral dos veículos transportadores (estado dos pneus, freios, luzes de sinalização do veículo, para-choques, matrícula e outros). Além disso, poderia registrar-se, em função do gabarito das peças, se é necessário transporte noturno ou não; se esse transporte noturno é efetuado, e também se esse gabarito exige acompanhamento especial com escolta de segurança e sinalização, e também se a referida escolta é efetuada. Novamente poderia verificar-se o alinhamento vertical dos calços de madeira durante o carregamento e transporte no caminhão, as distâncias máximas a respeitar entre esses calços de madeira e as extremidades das peças, se a carga é distribuída de forma equilibrada na plataforma do veículo, se o número máximo de LACP por pilha é conforme, se a carga está perfeitamente acondicionada, estabilizada e travada, se é respeitada a capacidade máxima de carga do veículo, se as peças são protegidas nas zonas de contato com correntes, cabos e afins, verificar a inexistência de peças soltas na plataforma do veículo de transporte, etc.

Ainda antes da execução da capa estrutural, em obra, existem outras etapas a considerar, nomeadamente a descarga em obra, içamento e manuseio das LACP em obra e respetiva montagem.

Em relação a essas etapas, e desconsiderando procedimentos de controle de qualidade repetidos em relação às etapas de içamento e manuseio das LACP em fábrica, ainda assim existem muitos outros procedimentos importantes a considerar. Dessa forma, haverá que verificar se os locais de descarga têm bons acessos, se eles são planos e nivelados, se existem apoios de madeira em toda a largura das LACP, se os calços de madeira têm espessura/altura constante, se não existem danos nas peças, e caso existam, se foram retificados, se existem boas condições de visibilidade para movimentação das peças, se o equipamento de elevação está perfeitamente estabilizado e nivelado, se nos procedimentos de içamento das LACP é respeitada a capacidade máxima do equipamento de elevação, se é feita a verificação da referência/identificação dos painéis para que seja seguida a sequência de montagem correta, se a movimentação das peças é feita com manobras suaves, se o acompanhamento dos movimentos horizontais das peças é feito lateralmente em relação a elas ou atrás delas, por questões de segurança, e se o alívio das correntes de segurança é feito no máximo a 10cm dos apoios.

Na etapa de montagem das LACP, a norma também não refere a necessidade das zonas de apoio estarem limpas e niveladas, a necessidade de execução de talões de nivelamento (em neoprene, argamassa ou outros materiais), a necessidade de seguir a sequência de montagem definida em projeto, a necessidade de impedir

rasgos que afetem a armadura de reforço ou as nervuras, ou que esses rasgos sejam de conhecimento do fabricante. Tampouco refere à necessidade da argamassa das juntas laterais entre painéis ser executada com agregados grossos, cuja dimensão máxima não ultrapasse os 8mm, ou a necessidade dessa argamassa ser convenientemente compactada. Além disso, o  $f_{ck,min}$  dessa argamassa deve ser de 20MPa a 25MPa, e em tempo quente e seco ela deve ser mantida úmida por um período mínimo de dois dias. Deve ser executada uma limpeza da superfície superior dos painéis através de jato de água ou ar comprimido, para eliminar quaisquer materiais que impeçam uma boa aderência com a capa estrutural. Os arranques das armaduras nas ligações laje/apoio devem ser dobrados e acorados nas LACP.

Finalmente, e no que diz respeito aos trabalhos de execução da capa estrutural, a ABNT NBR 14861:2011 descreve os correspondentes procedimentos de controle de qualidade com um bom grau de detalhamento.

## 3 – QUALIDADE

### 3.1 – CONCEITUAÇÃO

O conceito de Qualidade é dos mais distintamente e ambigualmente aplicados que se podem encontrar no cotidiano. E isso tem as suas razões, pois a qualidade pode ser aplicada em praticamente todas as atividades, produtos e serviços que existem. Outra das dificuldades é a de que o termo pode ser aplicado em contextos diversos, e para além disso, a qualidade é multidimensional no sentido de que quando alguém avalia a qualidade de um produto, de um serviço, de um bem, o faz avaliando várias de suas características, daí resultando uma percepção final global.

Assim, surge toda uma série de expressões comuns associadas ao termo, como sejam “conformidade com as exigências dos clientes”, ou “relação custo-benefício”, ou “adequação ao uso”, “valor agregado que produtos semelhantes não têm”, “fazer certo à primeira vez” e outras. Em resumo, qualidade é de alguma forma excelência de um produto, serviço ou qualquer outra entidade que se queira avaliar.

Santana (2006), citando Deming (2000), define qualidade como sendo “...atender as necessidades e, se possível, exceder as expectativas do consumidor”.

Já para Campos (2005), um produto ou serviço de qualidade é aquele que “...atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente.” Portanto, em outros termos pode-se dizer: projeto perfeito, sem defeitos, baixo custo, segurança do cliente, entrega no prazo certo, no local certo e na quantidade certa.

Por sua vez a Norma ISO 8402:1986 – Vocabulário da Qualidade – estipula que “...Qualidade é a totalidade das propriedades e características de um produto ou serviço que lhe conferem habilidade para satisfazer necessidades explícitas do cliente.”

Qualquer das definições anteriormente apresentadas já dá a entender que a qualidade para ser atingida tem que ser abordada de uma forma global, pois ela envolve qualidade intrínseca do produto ou serviço, qualidade dos processos necessários até chegar no mesmo e qualidade da organização como um todo. E implicitamente o conceito de qualidade traz consigo a noção de procedimentos de controle necessários e de medição.

### 3.2 – REVISÃO HISTÓRICA

Existem diversos contextos e formas de abordar a qualidade. Assim, Reeves e Bednar (1994) afirmam que existem registros de discussões sobre a qualidade já desde a Grécia antiga, em Aristóteles, Sócrates e Platão, para os quais o conceito estava associado a um padrão de excelência moral que deveria ser buscado pela sociedade. Nesse tempo, o critério para definir esse padrão de excelência variava de acordo com as circunstâncias em análise, e era embasado na percepção subjetiva de quem avaliava. Não é essa perspectiva que interessa aqui, nem no contexto nem na subjetividade. Interessa relacionar a qualidade com a produção.

Desde a pré-história, quando o Homem polia a pedra para a transformar em utensílios, que se pode afirmar que existe produção. No entanto a produção humana desse tempo era feita essencialmente para satisfação de necessidades próprias, não havendo comércio.

De acordo com Lauregi e Martins (2003), com o tempo certas atividades de produção foram sendo desenvolvidas para satisfazer as necessidades de outros membros da comunidade, surgindo assim os primeiros artesãos e a tentativa de uma forma organizada da produção, onde já eram estabelecidos/combinados prazos de entrega (e em função disso se estabeleciam prioridades de produção), onde já se estabeleciam especificações para os produtos e se fixavam preços para a encomenda, algumas das variáveis que hoje é habitual se considerar na atividade produtiva.

Nessa concepção artesanal da produção, o artesão era o responsável por todas as etapas, desde a concepção até a comercialização. Estabelecia-se assim uma relação direta entre o artesão, que projetava, produzia e controlava a qualidade, e o consumidor. Nesse tempo a qualidade de um produto era definida pela reputação da habilidade e do talento do artesão que o produzia. A primeira tentativa para se quantificar a avaliação da qualidade aparece ainda nesse período anterior à revolução industrial na Europa, com a instituição do sistema de guildas. Com o decorrer do tempo, mantendo sempre a ideia de excelência, a qualidade foi incorporando outras dimensões quantitativas, sendo a primeira o valor de mercado (preço).

Segundo Garvin (1992), a produção artesanal começa a entrar em decadência com a Revolução Industrial, na Europa, no séc. XIX. O advento da criação da máquina a vapor, em 1764, iniciou o processo de substituição da força humana pela força da máquina. Grandes transformações se processaram nos sistemas produtivos, e os artesãos perderam a sua autonomia no processo, deixando suas oficinas e passando a ser incorporados nas fábricas, transformando-se em trabalhadores comuns. O

trabalhador ainda continua sendo responsável pela qualidade do produto, pois continua sendo possível associar um ao outro, mas quem assume as rédeas do controle de qualidade passam a ser os mestres, capatazes, encarregados e supervisores, que respondem perante o capitalista. Esse sistema em que os supervisores/encarregados acumulam não apenas a responsabilidade pela produção (volume/produtividade) como pelo controle de qualidade perduraria até ao início do sistema fabril. Só mais tarde, com o desenvolvimento desse sistema apareceria a figura do inspetor da qualidade. Durante essa fase e até ao início do séc. XX, o preço aparece muito (em excesso) como parâmetro ligado com a avaliação quantitativa da qualidade de um produto. Era como se a qualidade fosse apenas o menor preço com que o produto podia ser colocado no mercado. O foco era apenas aumentar a produtividade reduzindo preços. Essa questão do preço como parâmetro de qualidade ainda permanece um pouco.

Segundo Lauregi e Martins (2003), Eli Whitney foi o precursor, em 1790, de uma outra dimensão de algum modo quantitativa associada à qualidade, e que é a padronização (de componentes) - essa dimensão viria a ser retomada e ampliada mais tarde, no início do séc. XX, com a produção em massa -, quando conduziu a produção de mosquetes com peças intercambiáveis. Deu-se assim o início do registro por meio de desenhos e croquis, dos produtos e processos fabris, surgindo a função de projeto de produto, de processo, de instalação de equipamentos e outros. Ainda segundo o autor, em 1910, Henry Ford, com a sua linha de produção seriada de automóveis, revoluciona os métodos e processos de produção até então existentes. Surge assim a produção em massa, caracterizada por grandes volumes de produtos finais, e onde era essencial o referido conceito da padronização de componentes. De acordo com Garvin (1992), a produção em massa de Ford levou à necessidade de uma sistemática formal de inspeção, iniciando-se assim, no que refere à qualidade, a “era da inspeção”.

Acontece que quase em simultâneo com a produção seriada de Ford, pelo final do séc. XIX e início do séc. XX, a produção industrial sofreu uma forte influência da chamada “administração científica”, método desenvolvido por Frederick W. Taylor, em que se faziam estudos exaustivos dos movimentos dos trabalhadores, de maneira a eliminar qualquer movimento supérfluo, maximizando/otimizando desse modo a produtividade, que era o foco. A questão é que o método não teve o cuidado de aliar o foco da produtividade à qualidade, o que acabava gerando um elevado número de defeitos, e elevados custos para controle de qualidade do produto. Assim, as empresas viram-se obrigadas a criar grandes departamentos centrais de inspeção ou de controle de qualidade, que reuniam todos os inspetores antes distribuídos pelos

vários departamentos de produção. E essa inspeção incidia sobre o produto final, ou seja, tinha um caráter corretivo. O que esses departamentos essencialmente faziam era separar produtos bons de produtos defeituosos, o que não resolvia o problema dos custos associados às peças com defeitos, embora evitasse que encomendas com anomalias chegassem aos clientes. Tornava-se portanto necessário dar um novo avanço sobre os processos de controle de qualidade, reduzindo os custos de inspeção e retrabalhos.

Esse avanço surgiu no início da década de 30 do século XX, através dos avanços na teoria estatística produzidos por um conjunto de engenheiros, físicos e estatísticos que trabalhavam para as indústrias bélica e de telefonia dos EUA. Entre eles se destacava W.A. Shewhart, com a sua obra “Economic Control of Quality Manufactured Product” (GARVIN, 1992). Pode-se dizer que começa aí a “era do Controle Estatístico da Qualidade”. Segundo Shewart, a variabilidade era um fato concreto na indústria e ela seria entendida por meio dos princípios da probabilidade e estatística. O problema, portanto, não era a variabilidade em si mesma, mas sim os limites a partir dos quais a variabilidade devia ser considerada anormal. Shewart formulou técnicas estatísticas para determinação desses limites, o que facilitava a detecção de processos fora de controle, ou a ocorrência de eventos anormais na produção. Essas técnicas resultavam nos chamados gráficos de controle de processos. Grant e outros (1994), aliás, atribuem a Shewart o desenvolvimento das bases teóricas do modelo de qualidade total, no seu trabalho sobre controle estatístico de processos. Como membro do grupo de engenheiros da companhia telefônica norte-americana Bells, pesquisando indicadores e padrões para quantificar qualidade, Shewhart introduziu análise amostral e de variância ao processo de controle de qualidade. A partir dessas investigações, o significado de qualidade permaneceu associado à idéia de redução da variância por meio de controle estatístico do processo. A Segunda Guerra Mundial trouxe à indústria bélica americana a necessidade de construir enormes quantidades de produtos militares, o que fortaleceu a difusão do controle estatístico da qualidade. Como tempo as técnicas estatísticas ganharam espaço nas demais indústrias americanas, e depois nas europeias.

Com o final da guerra as prioridades mudaram. Havia toda uma carência de produtos por parte da sociedade civil, e o prioritário passou a ser os prazos entrega, em detrimento da qualidade. Daí que no final da década de 40 do século XX, muitas empresas tenham suspenso o controle estatístico da qualidade dos seus procedimentos. Ao mesmo tempo, deu-se início ao esforço de reconstrução do Japão, patrocinado pelos EUA.

De acordo com Garvin (1992), a partir da década de 1950, houve uma separação de rumos no que à qualidade diz respeito, entre a sociedade ocidental e o Japão. Enquanto as indústrias ocidentais partiram em direção à “Garantia de Qualidade”, os japoneses partiram diretamente para a “Gestão Estratégica da Qualidade por toda a Empresa”. Na Garantia da Qualidade, a dita qualidade passou de algo restrito à produção fabril para uma disciplina com implicações mais amplas e viradas também para o gerenciamento. A preocupação básica passou a ser a coordenação de toda a cadeia de produção dentro da empresa, desde a fase de projeto até o mercado, com a contribuição de todos os grupos funcionais da organização, em especial os projetistas, para prevenir as falhas de qualidade, por meio de programas e sistemas da qualidade. A Gestão Estratégica da Qualidade só chegaria ao Ocidente perto do início da década de 1970, perdurando até hoje. A Gestão Estratégica da Qualidade marca o início do envolvimento, do comprometimento, da Alta Administração na implantação da qualidade, incorporando o conceito agora também da lucratividade, mas vista sob o ponto de vista do cliente, e exigindo a inclusão deste último no processo de planejamento estratégico.

Por outro lado o Japão, ainda mais fortemente envolvido com os produtos militares durante a Segunda Guerra Mundial, com o fim dessa guerra sofreu um choque ainda mais exagerado na conversão do seu esforço produtivo em direção aos produtos civis, tendo que enfrentar o problema da rejeição internacional em relação à sua produção por falta de qualidade. Nessa época, início da década de 1950, dois americanos estudiosos da qualidade, que haviam se dedicado também fortemente aos métodos de controle estatístico da qualidade, Deming e Juran, foram convidados pela União Japonesa de Cientistas e Engenheiros a efetuar um conjunto de visitas e palestras, versando os princípios da qualidade. Foi realizada uma campanha nacional no país destinada a promover esses princípios. Essa campanha prosseguiu depois, através de cursos de treinamento e formação de grupos de estudos, seminários, publicações periódicas para engenheiros, gerentes e supervisores, para além da criação de incentivos como o prêmio Deming, destinado a empresas que estivessem implementando programas da qualidade, e a trabalhadores envolvidos no processo. Através de todo esse conjunto de esforços, o movimento pela qualidade acabou se difundindo pelo Japão, incorporando novas práticas e técnicas ao processo de controle da qualidade, e assumindo características próprias que o levaram mais tarde a diferenciar-se dos próprios trabalhos iniciais de Deming e Juran.

De acordo com Yashimoto (1992), a recuperação japonesa após a Segunda Guerra Mundial foi ainda mais potencializada por outra guerra, a da Coreia. Assim, as

compras maciças que as forças norte-americanas foram obrigadas a efetuar deram um forte impulso às indústrias japonesas e excelentes condições para investirem na produção, na produtividade e na qualidade. De tal modo que, durante a década de 1960, já se fazia sentir a concorrência, e pode-se mesmo afirmar que no meio da década de 1970 os japoneses haviam ultrapassado o Ocidente na batalha pela qualidade. Só então este fato fez despertar a atenção de vários empresários do mundo ocidental, em especial norte-americanos, para os trabalhos desenvolvidos pelos Doutores Deming e Joseph Duran, e para as abordagens de outros investigadores de referência como Philip B. Crosby. Os japoneses já iam então mais adiantados, pois enquanto Deming começara por enfatizar o papel dos engenheiros e gerentes de produção no controle de qualidade, a União Japonesa de Cientistas e Engenheiros estendeu essa função a todos os gerentes e supervisores, ministrando cursos e treinando-os no uso da estatística para controle da qualidade. À medida que o programa pela qualidade foi-se desenvolvendo no Japão durante os anos 60 e 70, não só os supervisores mas inclusive os trabalhadores de chão de fábrica eram treinados e estimulados a participar de grupos de estudo, para discutir problemas da qualidade e formas de os resolver. Esses grupos seriam mais tarde designados de círculos de controle da qualidade (CCQ), e assumiram a função de conscientizar os funcionários sobre a necessidade de apontarem defeitos e quais as suas formas de prevenção, e de os treinar no uso instrumental estatístico para controle de qualidade.

Segundo Pinto e Carvalho (2006), as transformações nas áreas da qualidade e da produtividade, no final do século XX e início do século XXI, foram motivadas pela intensa competição entre as organizações, dentro dos seus países e fora deles, e também pela diminuição das barreiras comerciais, com a criação de grandes blocos econômicos, pela diminuição do crescimento econômico mundial e pela exposição dos produtos e serviços a um consumidor mais exigente e esclarecido.

Desse modo, as estratégias de qualidade consolidaram-se como arma para a vantagem competitiva entre as organizações. O uso e adaptação de conceitos, métodos e técnicas japonesas de gerenciamento da qualidade, favoreceram o desenvolvimento de processos de gestão estratégica da qualidade em várias empresas no mundo.

Esquemáticamente a evolução histórica da qualidade pode ser apresentada conforme a figura 37.

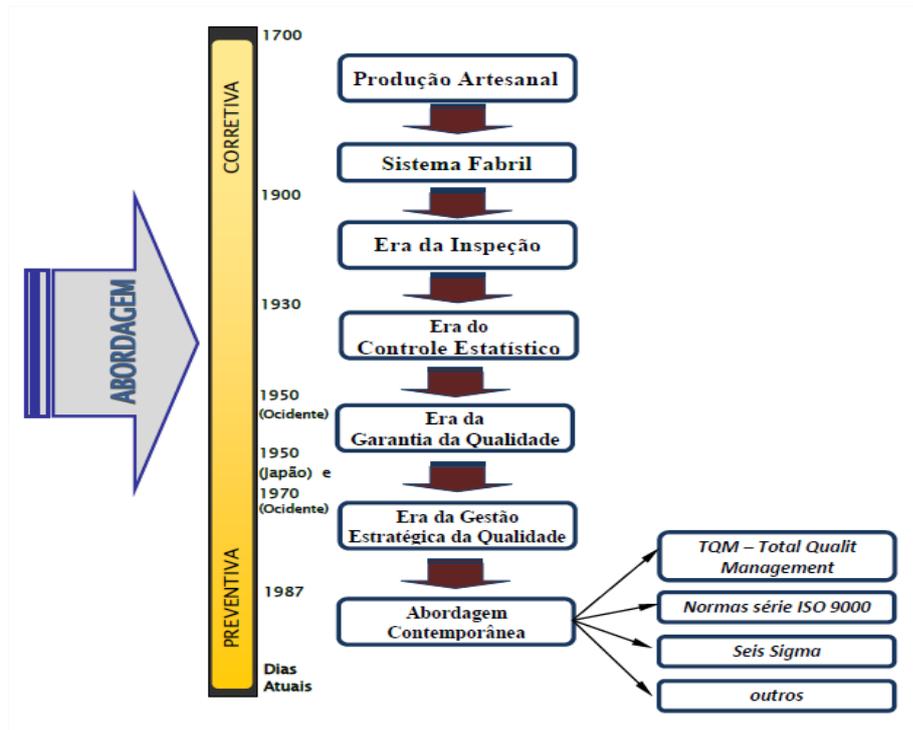


Figura 37 – Esquema simplificado da evolução histórica da qualidade (Fonte: Bergami, 2009)

### 3.3 – A QUALIDADE E A CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA

Dadas as características já atrás referidas do tradicional atraso do setor em relação a outras indústrias, o movimento da qualidade da construção brasileira surge apenas no início da década de 1990, como resultado de um conjunto de vários fatores que vão desde a internacionalização (abertura) da economia do país, passando pela recente implementação, na época, das normas ISO 9000, que se dá em 1987, e pela instituição de programas da qualidade como o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade (PBQP), em 1991.

Assim, de acordo com Paiva e Salgado (2003), e após vários anos de trabalho de uma comissão técnica formada por representantes de diversos países, foi publicada a primeira versão das normas para sistemas da qualidade, a série de normas ISO 9000, que foi mundialmente editada em 1987, e traduzida e implementada três anos depois no Brasil, em 1990. A ISO 9000 é um conjunto de normas internacionais que fornecem critérios para a avaliação de procedimentos de garantia da qualidade e gestão da qualidade em uma organização, e entre a organização e seus clientes ou público. Segundo Thomaz (2001), essa série de normas é adaptada e publicada em 1990 pela ABNT, ficando clara para o empresariado do setor a

conceituação abrangente de gestão empresarial da qualidade. Pode-se afirmar que as normas ISO 9000 ajudam a instituição a demonstrar ao cliente seu compromisso com a qualidade, o que significa que todos os produtos ou serviços prestados, segundo determinado processo, apresentarão as mesmas características e o mesmo padrão de qualidade. O cliente, por sua vez, terá mais confiança de que a empresa é capaz de gerar produtos ou serviços que atendam eficazmente suas necessidades e expectativas.

Por outro lado, no ano de 1991, o governo brasileiro cria o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade (PBQP), com o intuito de difundir os novos conceitos de qualidade, gestão e organização da produção. Esse programa no entanto só viria a ser aplicado na construção civil em 1998, com a criação em Dezembro desse ano do PBQP-H, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade na Construção Habitacional, que englobava apenas a área de construção habitacional. No ano 2000, sendo estabelecida a necessidade de ampliação de seu escopo, o programa passou a ser chamado de Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), que desde então engloba também as áreas de saneamento e infra-estrutura urbana.

Entretanto, o movimento pela qualidade no setor foi se desenvolvendo por si próprio, a partir de 1994, através de um programa de capacitação de empresas construtoras em gestão da qualidade, voltado para pequenas e médias empresas. A partir de 1996, diversas empresas passaram a adotar sistemas de gestão da qualidade de acordo com o SiQ-C e outros programas, dentre eles a ISO 9001.

Segundo Maldaner (2003), desde então os programas de melhoria de qualidade como os das normas ISO 9000, PBQP-H, PNQ (Plano Nacional da Qualidade), dentre outros, têm sido amplamente difundidos nas empresas de construção civil brasileiras. Através desses programas, o empresariado do setor vislumbra conquistar e proporcionar competitividade através da melhoria da qualidade nos produtos e nos processos empresariais como um todo. De fato, os empresários do setor no país rapidamente se aperceberam das vantagens em implantar sistemas de gestão da qualidade dentro das suas empresas, e certificá-las com respeito a normas da qualidade aceitas internacionalmente, neste caso as ISO 9001. Além do ganho de visibilidade frente ao mercado, abre-lhes caminhos para internacionalização, atuação em mercados mais exigentes, ou fornecimento para clientes que queiram comprovar a capacidade que a organização tem de garantir a manutenção das características de seus produtos. A normatização ISO 9000 é um conjunto de três normas, e refere-se aos elementos do Sistema da Qualidade que devem ser implementados na

organização. Desta família destaca-se a ISO 9001, que trata dos requisitos para este sistema de gestão. No Brasil a versão ISO 9001 chama-se ABNT NBR ISO 9001.

Segundo Fraga (2011), juntamente com a ISO 9001:2008, as empresas construtoras estão adotando a certificação do PBQP-H, que atende aos requisitos da norma mas que possui um desses requisitos relacionado especificamente a projetos, com especificidades para a construção civil. Pelo fato do programa PBQP-H ser semelhante à NBR ISO 9001:2008, as construtoras acabam solicitando uma pós auditoria para obter os dois certificados, e isso é aceito, pois se a empresa possui o PBQP-H, automaticamente ela também estará atendendo aos requisitos da ISO 9001.

Por outro lado, e ainda de acordo com o autor, o SIAC (Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil) é um sistema do PBQP-H que tem como objetivo avaliar a conformidade de Sistemas de Gestão da Qualidade em níveis adequados às características específicas das empresas do setor de serviços e obras atuantes na Construção Civil, tendo por finalidade contribuir para a evolução da qualidade nesse setor. Assim, foi criado um documento visando estabelecer os itens e requisitos do Sistema de Qualificação de Empresas de Serviços e Obras, válido para empresas construtoras que atuem no subsetor de edifícios, o chamado SiQ-Construtoras.

É importante referir que o PBQP-H fundamenta-se na ISO, por ser uma referência internacional amplamente reconhecida, mas que no entanto a ISO, sendo muito genérica e podendo ser implantada em qualquer setor, não permite garantir que a construtora obtenha qualidade na construção do imóvel. Assim, e para resolver esse problema, a coordenação do PBQP-H decidiu estabelecer serviços e materiais que deveriam ser obrigatoriamente controlados pelas empresas, garantindo, desta forma, a qualidade do produto da construção civil.

A ISO não possui níveis de certificação (o PBQP-H possui), mas exige a implantação de todos os requisitos para solicitação de auditoria, já o SIAC possui os níveis de avaliação. No programa PBQP-H a própria empresa estabelece uma lista de serviços que deverão ser controlados (mínimo de 25 serviços), e esses níveis estão relacionados com a percentagem de controle de serviços alcançados. Esse controle é feito através de registros com fichas de inspeção que são elaborados para a auditoria. O Sistema propõe a evolução dos patamares de qualidade do setor em quatro níveis: D (Declaração de Adesão), C, B e A, conforme a figura 38.

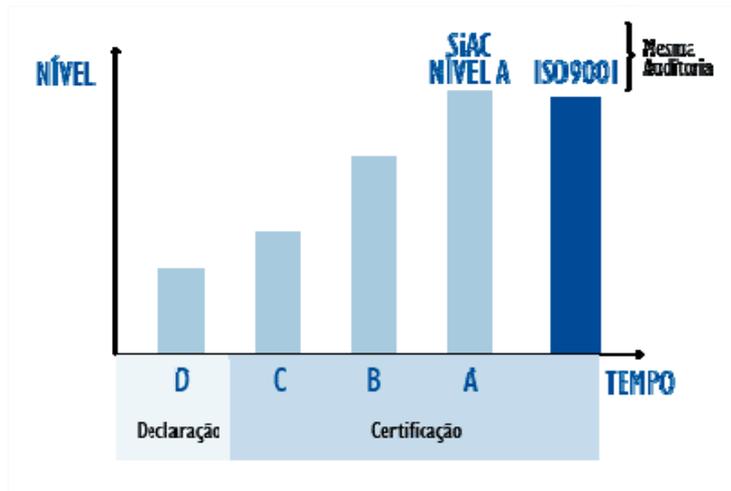


Figura 38 – Evolução da qualidade no PBQP-H (Fonte: Fraga, 2011)

- Nível A = 100% de atendimento dos requisitos
- Nível B = 77% de atendimento dos requisitos
- Nível C = 66% de atendimento dos requisitos
- Nível D = 26% de atendimento dos requisitos

Enquanto o prazo de validade da certificação ISO dentro da empresa é de três anos, no SIAC vence em apenas um ano, para uma nova auditoria. Trata-se de uma certificação evolutiva, ou seja, à medida que são implantados os requisitos, solicita-se nova auditoria, até concluir a implantação, através da certificação nível A. O SIAC desenvolveu o programa para ser aplicado às empresas com especialização em execução de obras, não podendo ser aplicado aos setores de projetos e serviços de engenharia. A busca pela certificação passou a ser um grande objetivo dentro das construtoras, pois além de ganhar credibilidade no mercado, existe uma outra grande vantagem relacionada com as vendas junto às instituições de crédito (uso no poder de compras). Essa vantagem se relaciona com o Programa da Carta de Crédito para aplicação do FGTS (Fundo de Garantia do Tempo de Serviço), onde o cliente (a empresa) apenas pode usufruir desse benefício quando se tratar de uma empresa certificada com o programa PBQP-H.

Pode-se portanto afirmar que os construtores brasileiros estão dando cada vez mais atenção aos programas de qualidade, não só por iniciativa própria como pela exigência cada vez maior dos clientes em relação ao produto final, e também por causa da pressão pela redução dos custos e dos prazos dos empreendimentos. Essa vantagem competitiva está caindo numa primeira fase para o lado das empresas de maior porte, com maiores recursos financeiros e administrativos para investimento na implantação dos programas de qualidade no seu seio.

É de referir também que essa diferenciação pela qualidade exige do setor da construção um esforço maior que noutras indústrias, por algumas particularidades inerentes ao setor. A esse propósito Yazigi (1999) refere que a construção civil possui características singulares que dificultam a implantação dos sistemas de qualidade, que são:

- ✓ a construção é uma indústria nômade;
- ✓ cria produtos únicos e quase nunca seriados;
- ✓ não é possível ou é bastante difícil aplicar a produção em série, com produtos passando por operários fixos. Pelo contrário, a produção é centralizada, com operários móveis em torno de um produto fixo;
- ✓ o setor utiliza mão de obra intensiva e pouco qualificada, de caráter eventual e com baixa motivação, alta rotatividade e baixas possibilidades de promoção;
- ✓ realiza grande parte de seus trabalhos sob intempéries;
- ✓ o produto é geralmente único na vida do usuário;
- ✓ são empregadas especificações complexas, muitas vezes conflitantes e confusas;
- ✓ as responsabilidades são dispersas e pouco definidas;
- ✓ o grau de precisão com que se trabalha na construção civil é, em geral, muito menor do que em outras indústrias, qualquer que seja o parâmetro que se contemple: medidas, orçamento, prazo, resistência mecânica e outros.

Para concluir esse ponto deve-se referir também que, paralelamente ao PBQP-H, que é um programa em nível nacional, existem também programas regionais com os mesmos propósitos, como é o caso do PMQP-H (Programa Mineiro da Qualidade e Produtividade no Habitat), que foi desenvolvido em 2003 pelo governo de Minas Gerais juntamente com a iniciativa privada em busca da modernização tecnológica, organizacional e gerencial da cadeia produtiva das obras públicas, por meio de adesão gradativa ao sistema da qualidade. O objetivo deste último é promover o desenvolvimento econômico e social através da melhoria da qualidade das obras contratadas pelo Governo de Minas Gerais, considerando o fortalecimento do mercado mineiro e o desenvolvimento de novas tecnologias.

### **3.4 – A QUALIDADE E OS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO NO BRASIL**

Embora as empresas produtoras de pré-fabricados de concreto também possam usar as mesmas certificações de qualidade que as do setor da construção civil em geral e no país, interessa neste item da pesquisa destacar o que o sub-setor da

pré-fabricação em concreto apresenta de diferencial em relação à construção em geral.

Assim, o Selo de Excelência ABCIC é um programa de qualidade específico para as indústrias de pré-fabricados de concreto. O programa teve início em 2003 com o objetivo de fixar a imagem do setor com padrões de tecnologia, qualidade e desempenho adequados às necessidades do mercado. A Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC) acabaria lançando oficialmente, em Abril de 2004, o Selo Excelência ABCIC de Pré-fabricados de Concreto.

De acordo com Medeiros (2004), com o crescimento e a maior disseminação do sistema, o selo passa a dar maior segurança e confiabilidade aos pré-fabricados, uma vez que para conseguir a certificação, as empresas passam por um processo de análise de desempenho técnico e empresarial, medido por indicadores pré-estabelecidos.

Segundo Oliveira (2004), o selo vai além dos programas de qualidade de produto, pois a empresa que entra no processo passa por uma rigorosa análise que vai desde a produção até à satisfação do cliente. Dentre os critérios do selo está o atendimento às normas técnicas de pré-fabricados e de matérias-primas (areia, aço, concreto, etc.), registros regulamentares, segurança do trabalho, projetos, atendimento ao cliente, questões ambientais e outros. Por outro lado, as empresas esperam que o selo auxilie na implantação de melhorias em seus processos de produção e de gestão, uma vez que o programa define diretrizes a serem seguidas, amplamente discutidas e compartilhadas pelas melhores empresas do mercado. As empresas que se candidatam ao selo devem passar pelas seguintes etapas: - Pré-avaliação por um avaliador credenciado; - Avaliação inicial de credenciamento de acordo com o nível - I, II ou III – pretendido pela empresa (cada nível corresponde à satisfação de um conjunto de requisitos que serão descritos mais a frente); - Avaliações periódicas para confirmar a manutenção do funcionamento do programado selo ABCIC na empresa; - Verificação anual da satisfação dos clientes por meio de pesquisa junto a contratantes de obras entregues no período de 12 meses anteriores à avaliação.

De acordo com a própria Associação Brasileira da Construção Industrializada em Concreto, ABCIC (2007), as empresas que solicitem a sua adesão ao selo de excelência passam por um processo de certificação que compreende as seguintes etapas:

- ✓ A empresa define quais fábricas serão credenciadas e disponibiliza seus dados para possibilitar a classificação por tipos de produto, obras e volumes de produção;

- ✓ Com base nessas informações, a empresa recebe uma proposta de atendimento;
- ✓ Caso haja interesse, a empresa pode passar por uma visita de pré-avaliação. Neste caso, é realizado um diagnóstico de todos os processos da fábrica com base nos critérios de avaliação do selo;
- ✓ Com base no diagnóstico, são propostas ações para que a empresa atenda as exigências para seu credenciamento. Durante a visita são também explicadas as formas de avaliação de todos os itens do Selo e sanadas todas as dúvidas;
- ✓ Visita de avaliação inicial. Nela são analisados todos os requisitos do selo e estabelecida uma pontuação. Caso a pontuação atinja mais de 850 pontos de um máximo de 1000 pontos possíveis, a planta de produção será recomendada para credenciamento;
- ✓ Os resultados de todas as avaliações são enviados a uma comissão, que aprova o credenciamento de cada empresa;
- ✓ Para manter o selo, a fábrica deve passar por avaliações de manutenção (duas por ano), com periodicidade variável, de modo a garantir a manutenção de todos os processos no período. O processo pode ser esquematizado conforme a figura 39.

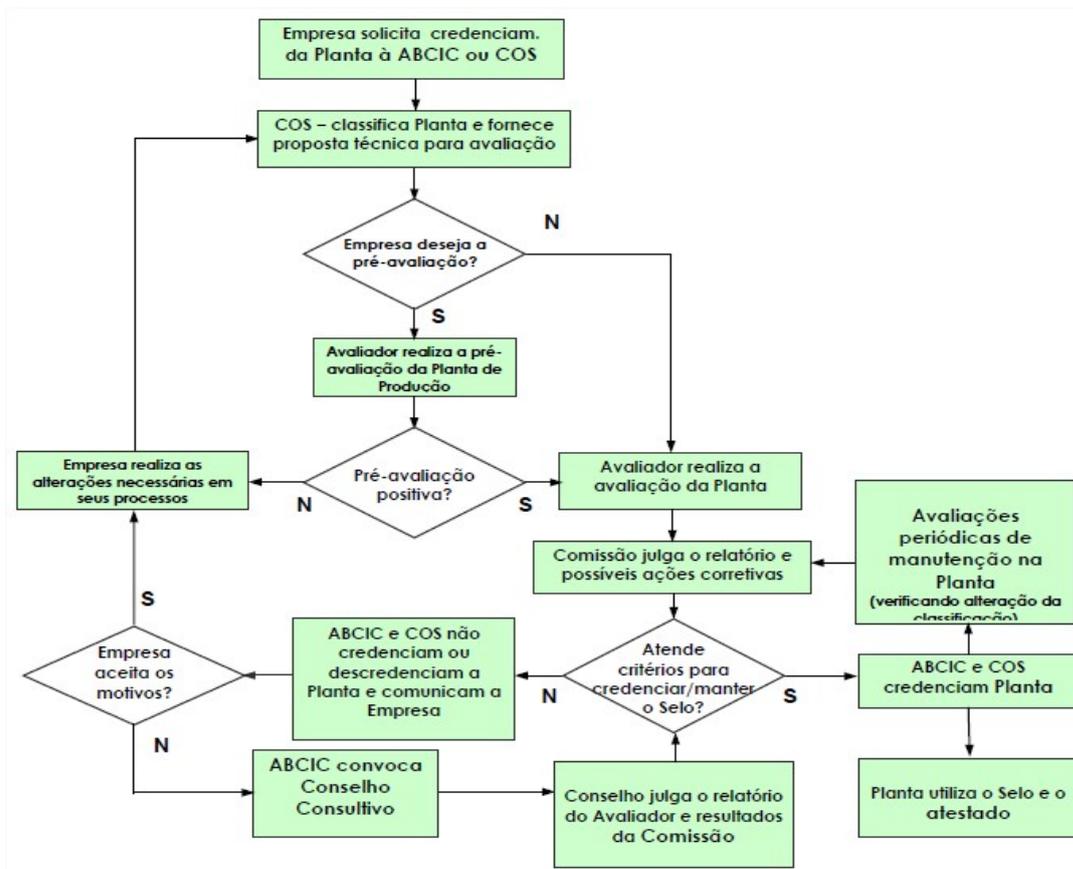


Figura 39 – Fluxograma dos processos principais do sistema de gestão do Selo Excelência ABCIC (Fonte: ABCIC, 2007)

A documentação pertinente ao sistema de gestão do selo de excelência é a seguinte:

- ✓ Regimento Interno do Sistema (R.01) – tem por objetivo regulamentar as atividades para credenciamento de uma planta de produção com o Selo de Excelência ABCIC. Como objetivo suplementar, estabelece ainda a regulamentação do processo de manutenção do selo ou descredenciamento de uma planta de produção anteriormente credenciada;
- ✓ Regimento da Comissão de Credenciamento e Conselho Consultivo (R.02) – estabelece as diretrizes gerais para composição e funcionamento da Comissão de Credenciamento (CCRED) e do Conselho Consultivo (CCONS) do Selo de Excelência ABCIC, de acordo com o previsto no Regimento Interno do sistema (R.01);
- ✓ Regimento do Avaliador (R.03) – estabelece as diretrizes gerais para atividades de seleção e credenciamento de avaliadores e para a realização das avaliações em plantas de produção;
- ✓ Critérios para Classificação de Plantas de Produção (N.01) – descreve, de maneira geral, os critérios para classificação de plantas de produção em relação à complexidade de avaliação para obtenção do Selo Excelência ABCIC;
- ✓ Requisitos para Avaliação de Plantas de Produção (N.02) - estabelece os critérios padronizados (requisitos) para avaliação de plantas de produção na obtenção do Selo Excelência ABCIC;
- ✓ Critérios para Emissão do Atestado e Uso do Selo (N.03) – estabelece os critérios para emissão do atestado de credenciamento ou para publicação do Selo Excelência ABCIC pelas empresas credenciadas, tanto em documentos específicos relacionados à planta de produção, como em material publicitário ou de divulgação;
- ✓ Manual de Operação do Sistema (MOS) – descreve o sistema de gestão do Selo Excelência ABCIC, de maneira que todos os processos operacionais relacionados às atividades dos agentes gestores sejam claramente definidos e obedecidos, garantindo a credibilidade do Selo.
- ✓ O documento N.02 – estabelece três níveis de exigência (Nível I, II e III), e à medida que o nível aumenta, aumentam também as exigências estabelecidas. Os requisitos estabelecidos para os três níveis estão descritos nas figuras 40.

Requisitos	Nível I Req. específicos	Nível II Req. específicos complementares	Nível III Req. específicos complementares
<b>Materiais</b>			
Recebimento de materiais em geral	X	X	X
Receb. de aço para conc. Armado/protendido	X	X	X
Recebimento de agregados para concreto	X	X	X
Recebimento de cimento	X	X	X
Recebimento de concreto usinado	X	X	X
Recebimento de insertos	X	X	X
Recebimento de aparelhos de apoio	NA	X	X
Recebimento de aditivos para concreto	NA	X	X
Recebimento de tirantes	NA	NA	X
Preserv. de aço para conc. armado/ protendido	X	X	X
Preservação de insertos/ elementos metálicos	X	X	X
Preservação de agregados para concreto	X	X	X
Preservação de cimento	NA	X	X
Preservação de envasados	NA	X	X
Controle da água de amassamento	NA	X	X
<b>Produção</b>			
Traços para o concreto	X	X	X
Produção e transporte do concreto	X	X	X
Controle do concreto produzido	X	X	X
Execução de fôrmas	X	X	X
Execução de ligações e detalhes	X	X	X
Execução de armação passiva	X	X	X
Execução de armação protendida	X	X	X
Cobrimento da armadura	X	X	X
Execução da concretagem	X	X	X
Verificação do elemento pf (pré-fabricado)	X	X	X

Figura 40. a) – Requisitos para certificação no Selo Excelência ABCIC para os níveis aplicáveis (Fonte: ABCIC, 2007 )

Requisitos	Nível I Req. específicos	Nível II Req. específicos complementares	Nível III Req. específicos complementares
<b>Montagem</b>			
Serviços complementares na obra	NA	X	X
Armazenamento de elementos pf	X	X	X
Transporte e manuseio de elementos pf	X	X	X
Acabamento dos elementos pf	X	X	X
Identificação dos elementos pf	X	X	X
Locação das fundações	X	X	X
Montagem e ligação dos elementos pf	X	X	X
Serviços complementares na obra	X	X	X
Verificação da montagem dos elementos pf	X	X	X
<b>Projetos</b>			
Elaboração de projetos	NA	X	X
Desenvolvimento de projetos	NA	NA	X
Especificações de projetos para a produção	X	X	X
Especificações de projetos para montagem	X	X	X
Controle de projetos	X	X	X
<b>Gestão e Apoio</b>			
Registros regulamentares	X	X	X
Controle de documentos	X	X	X
Controle de registros	X	X	X
Definição de funções e cargos	NA	X	X
Atribuições e responsabilidades	NA	X	X
Planejamento - produção	NA	X	X
Planejamento - obra e montagem	NA	NA	X
Comercial	NA	X	X
Aquisição	NA	X	X
Controle de equipamentos	NA	X	X
Competências de funcionários	NA	X	X
Trein. em proc. produtivos, gestão e apoio	NA	X	X
Análise de desemp. da planta de produção	NA	NA	X
Ações de melhoria	NA	NA	X
<b>Segurança e Saúde</b>			
Exames médicos	X	X	X
Fornecimento e uso de EPI	X	X	X
Treinamento em segurança	X	X	X
Equipe especializada em segurança	X	X	X
Identificação de perigos	NA	X	X
Controles operacionais - perigos	NA	X	X
Comissão de prevenção de acidentes	NA	NA	X
Controles operacionais	NA	NA	X

Figura 40. b) – Requisitos para certificação no Selo Excelência ABCIC para os níveis aplicáveis (Fonte: ABCIC, 2007 )

Requisitos	Nível I Req. específicos	Nível II Req. específicos complementares	Nível III Req. específicos complementares
<b>Atendimento ao Cliente</b>			
Pesquisa de satisfação	NA	X	X
Assistência técnica	NA	X	X
Pesquisa de satisfação - durante atendimento	NA	NA	X
Comunicação com o cliente	NA	NA	X
<b>Gestão Ambiental</b>			
Identificação de impactos ambientais	NA	NA	X
Controle dos impactos	NA	NA	X
Análise da legislação ambiental	NA	NA	X
Treinamento em gestão ambiental	NA	NA	X

Figura 40. c) – Requisitos para certificação no Selo Excelência ABCIC para os níveis aplicáveis (Fonte: ABCIC, 2007)

### 3.5 – A QUALIDADE E AS LACP NO BRASIL

A bibliografia ligada à qualidade em LACP no Brasil, e ao contrário do que sucede noutras regiões do globo, é quase inexistente e de natureza pontual, no sentido em que se aborda a qualidade apenas sob perspetivas bastante específicas, normalmente associadas aos focos das pesquisas realizadas pelos autores. Muito provavelmente isso é devido também ao fato de a própria norma específica de LACP, a NBR 14861:2011, ser de publicação bastante recente. Tal fato justifica, aliás, não haver na norma um capítulo específico dedicado ao controle de qualidade em LACP, sob o ponto de vista fabril.

Petrucelli (2009) aponta alguns aspetos de qualidade em LACP que dizem respeito a projeto, quando refere a propósito da paginação os seguintes cuidados: - os painéis não podem apresentar folgas entre si; - prever folga de 1 cm nos recortes junto aos pilares pré-moldados e no mínimo 2 cm nos pilares moldados no local; - evitar o corte longitudinal nas lajes (caso isso ocorra, ajustar a medida para que a faixa de laje apresente cordoalhas simétricas e fazer o corte no alvéolo); - evitar posicionamento lado a lado de lajes recortadas longitudinalmente; - evitar recortes para pilares em lajes recortadas longitudinalmente; - evitar recortes no centro para encaixe de pilares; - para faixas de lajes até 1/3 do valor da largura do painel, utilizar concreto moldado no local; - para recortes maiores que 2/3 da largura do painel, avaliar a necessidade de reforço e apoio no pilar. Quanto aos aspetos da qualidade ligados à produção, a autora começa por referir a importância de que os funcionários tenham em mãos o detalhamento das peças para que se faça um pré-corte nas lajes com as medidas do projeto para direcionar a formação de fissuras devido ao grande volume que sofre retração, facilitando-se com esse procedimento o corte final das lajes, quando da

liberação da protensão. Mais à frente na pesquisa, e a propósito da liberação da protensão nos painéis, afirma que esta só se deve verificar quando atingida a resistência de projeto no concreto, cujo valor depende do tipo de cura e de suas características. A resistência do concreto para liberação deve ser respeitada, pois seu valor é de extrema importância para que não haja escorregamento de cordoalhas e também para que não se tenha problemas com tração nas peças.

Petrucci (2009) refere-se ainda, no que diz respeito a armazenamento e estocagem, à importância de se evitar isso por longos períodos de tempo em áreas descobertas, pois as peças sofrem variações de temperatura por estarem diretamente expostas ao calor do sol e às chuvas, acarretando em um aumento da contraflecha devido ao fenômeno da fluência (o que pode dar origem a fissuras ou deformações excessivas).

Já Antunes (2011), citando o manual da FIB (FIB, 2000), refere as dimensões mínimas que as chaves de cisalhamento devem apresentar para que assegurem o trabalho em conjunto dos painéis de LACP adjacentes. Assim, afirma "...as chaves de cisalhamento devem possuir uma abertura mínima de 30 mm, profundidade de 10 mm e altura mínima de 40 mm, e a parte inferior da junta deve ser fechada a fim de impedir a perda do graute de preenchimento (figura 41). Outra recomendação é que as aberturas entre as lajes alveolares, posicionadas lado a lado, não permitam que ocorra ruptura por tração, devida ao cisalhamento no concreto moldado no local."

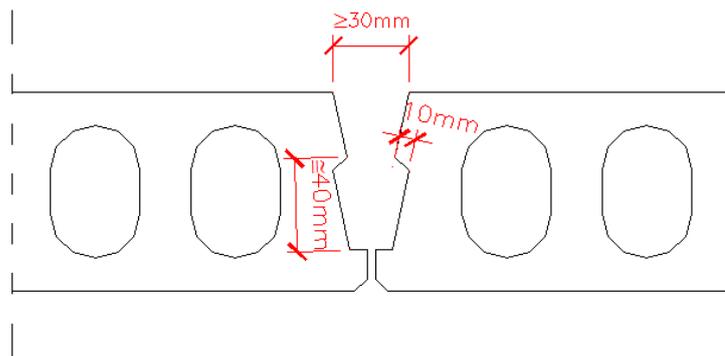


Figura 41 – Disposições construtivas para as chaves de cisalhamento (Fonte: Antunes, 2011)

Na falta de bibliografia brasileira sobre o assunto, Fernandes (2007) enumera na sua pesquisa uma série de cuidados para assegurar a qualidade das LACP, e que o pesquisador cita partindo de bibliografia estrangeira (FIB/CEB-FIP). Assim, tem-se: quando um determinado lote de elementos é produzido, devem ser extraídos corpos de prova do concreto utilizado, para realização dos ensaios de resistência média nas

datas de liberação da pista; em relação aos agregados, também devem ser coletadas amostras regularmente, para conferir sua granulometria e possíveis alterações; a água também deve ser analisada em relação à existência de sais nocivos ou outros compostos que afetem a reação química com o cimento, podendo gerar compostos incompatíveis com o concreto ou o aço.

Para o caso particular das LACP, Fernandes (2007) apresenta um conjunto de recomendações retiradas de literatura internacional, e que são as que constam na figura 42.

Aspecto mudar a tabela de acordo com o fib	Controle para elementos pré-fabricados	Controles particulares para lajes alveolares
<b>1 Materiais Componentes do Concreto</b>		
Agregado Graúdo / Agregado Miúdo	x	x
Água / Cimento / Aditivos	x	x
Aço	x	x
<b>2 Processo de produção</b>		
Dosagem do concreto	x	x
Protensão	x	x
Compactação do concreto	x	x
Cura	x	x
<b>3 Produto</b>		
<b>a) compressão</b>		
Ruptura de Corpos de Prova moldados	x	
Ruptura de Corpos de Prova extraídos (testemunho)	x	x
Ensaio não destrutivo		x
<b>b) tração</b>		
Ruptura de Corpos de Prova moldados	x	
Ensaio de lajes		x
Densidade do concreto		x
Escorregamento das cordoalhas		x
Ensaio de carga (cisalhamento)		x
Dimensões	x	x
Controle de fissura	x	x
<b>5 Construção no local</b>		
transporte	x	
Equipamento para montagem		x
Condições de apoio	x	x
Juntas e ligações	x	x
Controle de fissura	x	x

Figura 42 – Aspectos a serem considerados no controle de qualidade (Fonte: Fernandes, 2007 *apud* FIB/CEB-FIP, 1992)

Fernandes (2007) divide ainda os procedimentos de qualidade em LACP em função da fase do ciclo de vida do produto. Assim, o autor faz uma separação entre procedimentos de qualidade adequados em fase de projeto, e procedimentos de qualidade adequados em fase de produção.

Segundo ele os procedimentos de qualidade em fase de projeto destinam-se a garantir determinados requisitos como sejam:

- Escorregamentos: o escorregamento dos fios ou cabos de protensão é crítico em LACP, donde se torna necessário tomar algumas precauções, sendo a mais

importante delas não cortar as lajes antes que estas tenham atingido a resistência mínima de projeto para retirada da protensão. Caso contrário haverá escorregamento dos fios ou cabos em todo o comprimento da zona de transmissão de esforço de protensão, pois o concreto não será capaz de restringir mecanicamente a movimentação do aço. Deve-se medir o embutimento visível dos fios ou cabos de aço ao ser retirada a protensão, para se ter uma noção do comprimento de transmissão e de quanto se deve limitar esse embutimento;

- Resistência ao cisalhamento: a resistência ao cisalhamento deve ser verificada regularmente como requisito de aferição de qualidade, seja por meio de ensaios destrutivos ou não destrutivos;

- Ancoragem dos fios e cabos de protensão: o comprimento de ancoragem dos cabos de protensão está diretamente relacionado com a extensão da zona de transferência de protensão;

- Fissuras: deve ser verificada visualmente a existência de fissuras, especialmente na região das nervuras, na região de corte das peças, e na face superior, nas primeiras idades. Em geral são admissíveis fissuras com aberturas iguais ou menores que 0,2 mm;

- Tolerâncias dimensionais: devem ser verificadas segundo as dimensões principais das peças (comprimento, largura e espessura), como empenamentos longitudinais, transversais e esquadro dos elementos;

De acordo com Fernandes (2007), os procedimentos de qualidade em fase de produção têm a ver com a fiscalização e a organização adequada do processo produtivo, para que se evitem falhas de execução ou de fabricação de um determinado produto, neste caso as LACP. Seguindo essa forma de controle, diversos itens devem ser acompanhados e previstos durante a produção das LACP. Com relação à produção, deve-se no entanto fazer notar que todos os fatores importantes que possam afetar a qualidade final do produto devem estar definidos na fase de projeto. Os principais aspectos a serem considerados em relação à qualidade do produto final, quando definindo as seções transversais para lajes alveolares, são:

- Nervura e espessura do flange: para dimensões mínimas, diferentes aspectos, como as propriedades de mistura do concreto, tamanho do agregado, compactação do concreto e resistência ao cisalhamento, devem ser levados em consideração;

- Configuração, cobrimento do concreto e número de cabos protendidos: deve ser considerada uma espessura mínima para se atingir um adequado isolamento

acústico do concreto, levando em consideração quaisquer tolerâncias dimensionais possíveis;

- Forma dos núcleos (alvéolos): a forma dos núcleos é determinada pelo sistema de produção. Para lajes extrudadas a forma é aproximadamente semi-circular ou oval, sendo que para lajes fabricadas por formas deslizantes os núcleos são geralmente escantelados

A espessura do flange, a forma dos núcleos e o cobrimento do concreto para os cabos protendidos também têm influência na resistência ao fogo da LACP.

Fernandes (2007) refere, citando Elliott (2005), que devem ser tiradas as medidas de cada nervura entre alvéolos, com paquímetro, e posteriormente anotadas essas medidas no elemento submetido a ensaio, ou numa folha onde conste o número do elemento, a posição de cada nervura e sua largura. O mesmo procedimento deve ser realizado para os flanges superiores e inferiores dos alvéolos. Essas medidas servirão para auxiliar a análise do elemento ensaiado e certificar se a ruptura teve início na nervura ou no flange de menor espessura.

O acompanhamento por encarregados e gerentes de produção é importante em todas as fases, uma vez que cada espessura de laje pode receber uma força de protensão diferente de outras, maior ou menor número de fios ou cordoalhas, e um tempo para retirada da protensão e corte dos elementos diferenciados entre cada lote.

A figura 43 mostra de forma resumida os procedimentos de projeto e de fábrica ao se desenvolver um elemento de laje alveolar.

Requisitos de projeto de ELAPCs visando a qualidade	
Dimensões	Projeto: verificar tolerâncias dimensionais: altura, espessura de cada nervura, espessura total das nervuras, espessura da mesa superior e inferior e posicionamento dos fios ou cabos; Em fábrica: comprimento dos suportes disponíveis
Fissuras	Não deve haver formação de fissuras na zona de transferência de protensão, principalmente se ocorrer por resistência ao cisalhamento; fissuras com até 0,2 mm de abertura e relação comprimento versus profundidade de até 3, são permitidas desde que não sejam em ambientes quimicamente agressivos.
Ancoragem de fios e cabos	Projeto: determinar diâmetros, disposição e quantidade de fios e cabos; força de protensão; data de desprotensão; resistência do concreto para desprotensão. Em fábrica: conferir embutimento dos cabos; fissuras que sejam paralelas às posições dos cabos; lascas ou partes soltas próximas aos cabos e às bordas.
Lascas e estouros de partes	Verificar em todo elemento a existência de partes lascadas, soltas ou estufadas e desprendidas dos fios ou cabos
Resistência ao cisalhamento	Ensaio de verificação destrutivos e não-destrutivos regulares por lotes de produção.

Figura 43 – Requisitos de projeto para fabricação de LACP (Fonte: Adaptado de FIB/CEB-FIP, 1992)

Algumas partes de um sistema de qualidade são de natureza preparativa e preventiva, isto é, projeto, produção e planejamento, enquanto outros controlam a

qualidade dos materiais, a manufatura e o processo de construção e o produto final. No Brasil essas partes têm sido abordadas de uma forma dispersa, esporádica, relativamente desconexa, não global, não integrada, meramente como pequenas partes incluídas em trabalhos de pesquisa com outros propósitos.

## 4 – GESTÃO DA QUALIDADE NA PRODUÇÃO DE LACP

### 4.1 – CONCEITOS PRÉVIOS NECESSÁRIOS

Antes de desenvolvermos o sistema e o seu funcionamento, é necessário abordar alguns conceitos, mesmo que essa tarefa não seja levada ao limite, pois parte-se do pressuposto que alguns conceitos de tão usados no cotidiano não carecem de explicação.

✓ **Sistema** - Capra (1996) define sistema como um todo integrado cujas propriedades das partes não são propriedades intrínsecas, mas só podem ser entendidas dentro do contexto do todo. Ou seja, é uma “entidade” maior, composta por várias partes, que funcionam em conjunto, na persecução de um objetivo, que não pode ser compreendido se apenas for considerada cada uma das suas partes.

✓ **Sistema de Gestão** – Partindo da definição de sistema, pode-se portanto afirmar que um sistema de gestão é um conjunto de atividades que permita, de forma coordenada, atingir uma política e um conjunto de objetivos previamente traçados, e em relação a um domínio de atuação ou a uma temática.

✓ **Sistema de Gestão da Qualidade** – Das definições anteriores resulta naturalmente que um sistema de gestão da qualidade seja um sistema de gestão para dirigir e controlar uma organização, no que diz respeito à qualidade dos seus produtos ou serviços, ou seja, assegurar que eles satisfaçam as necessidades dos usuários (clientes, consumidores) e as respectivas expectativas.

✓ **Certificação** – De acordo com Figueira (2009), é o procedimento pelo qual uma terceira pessoa/entidade dá garantias de que o produto, processo ou serviço da organização está em conformidade com os requisitos especificados.

A certificação permite um grande conjunto de vantagens às organizações, que vão desde uma melhoria da sua organização interna, uma melhoria da sua imagem e posição competitiva, com o acesso a clientes e mercados que de outro modo não conseguiria, um aumento da motivação interna na empresa, aumento da produtividade e redução de custos, aumento da eficiência dos processos, e logicamente um aumento da satisfação e da confiança dos clientes em relação aos produtos e serviços da empresa.

✓ **Controle de qualidade** – Segundo a ISO 9000:2005, é a parte da gestão da qualidade orientada para a satisfação dos requisitos da qualidade.

- ✓ **Inspeção** - Implementação de um procedimento formal, que normalmente está documentado sob a forma escrita, de forma que os resultados obtidos fiquem registrados, para permitir à entidade gestora avaliar a operacionalidade das infra-estruturas e tomar medidas corretivas apropriadas. Trata-se de uma avaliação da conformidade por observação e juízo, acompanhados de forma apropriada por medições, ensaios e comparações.
- ✓ **Conformidade** – Segundo a ISO 9000:2005 é a satisfação de um requisito.
- ✓ **Não conformidade** – Segundo a ISO 9000:2005 é a não satisfação de um requisito.
- ✓ **Especificação**– De acordo com a ISO 9000:2005, é o documento que estabelece requisitos, seja para atividades seja para produtos.

## 4.2 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

De acordo com as definições anteriores, conclui-se que cada empresa tem o seu próprio sistema de gestão, no entanto os sistemas de gestão da qualidade surgiram como resultado natural da globalização do mercado, com clientes cada vez mais informados e exigentes, e uma concorrência cada vez maior entre as empresas. O sistema de gestão da qualidade existe dentro da organização para garantir que ela produza de forma consistente, repetida, sistemática, com qualidade.

Os sistemas de gestão da qualidade atravessam as empresas de uma forma horizontal, trespassando todos os departamentos da organização. No entanto, esta pesquisa, não deixando de fora aspectos conexos, está especialmente focada na produção, e em todo o caminho que é percorrido dentro da organização desde o recebimento das matérias primas, seu armazenamento, sua manipulação, fabrico do produto LACP, seu armazenamento e transporte, e execução em obra. Assim, dividimos esse caminho em três grandes fases que são:

**Pré-fabrico**– envolve as atividades de receção dos materiais (matérias primas para as LACP), seu armazenamento e preparação, o fabrico do próprio concreto e o transporte do concreto desde a central de usinagem até a pista de protensão. A este propósito, refira-se como observação que algumas das matérias primas ou intermediárias na produção das LACP são já produtos acabados de outras indústrias, mas a análise da pesquisa não vai até esse nível de detalhe. Interessa essencialmente o que se passa em matéria de produção, desde que os materiais chegam à fábrica e até que o produto LACP esteja executado/montado/colocado em obra.

**Fabrico** – aqui entende-se como fase de fabrico aquela que apenas começa após o início da extrusão/moldagem, e que vai até a estocagem dos elementos de LACP na fábrica.

**Pós-fabrico** – esta fase engloba as atividades de transporte dos elementos LACP para o canteiro, eventual estocagem em canteiro, e montagem e execução das lajes em obra (ou seja, inclui a execução da capa estrutural já em canteiro).

Como o processo de fabricação das LACP já foi explicado quando da revisão bibliográfica, não será feita essa explicação de novo, apenas serão focados determinados cuidados específicos ligados aos procedimentos de controle da qualidade.

No entanto, o processo fabril em si mesmo terá de ser considerado de novo, separado por partes e detalhado, analisado em termos de processos, de materiais, de pessoas, de equipamentos, de instalações, para que no final seja possível desenvolver metodologias e ferramentas de controle de qualidade, que permitam entregar ao cliente produto com desempenho e requisitos de qualidade expectáveis. O desenvolvimento dessas ferramentas, no entanto, só terá efeito se houver posteriormente um engajamento de todos os intervenientes dentro da organização.

Convém acrescentar que os sistemas de qualidade das empresas não são estáticos no tempo; eles sofrem melhorias periódicas, para além de que o sistema de qualidade que vigora no momento está em permanente avaliação.

No Brasil existe um sistema de garantia da qualidade em relação a pré-fabricados de concreto, já referido anteriormente, o Selo Excelência ABCIC. No entanto não existe o equivalente em relação a fábricas que produzam especificamente LACP.

Em relação à certificação, convém distinguir a certificação de produto da certificação de sistema. Assim, e de acordo com a ISO 9001:2008, a certificação de sistemas é o reconhecimento formal da qualidade de uma estrutura, de uma organização. De modo particular, a obtenção da certificação da qualidade por parte da empresa demonstra que ela gera e tem implantado um sistema de gestão em conformidade com as boas práticas de gestão e com os princípios da gestão da qualidade. Outra coisa diferente é a certificação de produto. Assim, a certificação de produto é o reconhecimento de que esse produto está em conformidade com os requisitos definidos pela respetiva norma aplicável. No entanto, para a certificação dos produtos, as empresas têm que dispor de um sistema de controle do seu processo

produtivo, incluindo medidas de controle de qualidade, prevenção e correção de anomalias.

Para que uma empresa tenha implantado um sistema de gestão da qualidade, ela necessariamente tem que ter uma organização de trabalho, com documentação para poder gerir os processos, tem que ter os seus equipamentos calibrados, tem que ter pessoal qualificado e registros adequados.

Por fim, importa afirmar que a certificação não é obrigatória nem garante o sucesso de uma empresa; no entanto, fornece-lhe uma melhoria da sua imagem perante os seus clientes e mercados, aumentando a confiança deles no seu sistema e a respetiva satisfação.

### **4.3 – O PRÉ-FABRICO DAS LACP**

#### **4.3.1 – MATERIAIS, ESTOCAGEM E PREPARAÇÃO PARA FABRICAÇÃO**

As principais categorias de materiais necessárias à fabricação de LACP são: o ligante, que neste caso é o cimento, os agregados, que por sua vez ainda se subdividem em agregados graúdos (as chamadas “britas” ou pedras) e agregados miúdos (as chamadas areias), a água, os aditivos e/ou adjuvantes e o aço. Por sua vez, o ligante, os agregados, os adjuvantes ou aditivos e a água misturam-se de forma a obter um material intermediário no produto final, que é o concreto, e cujas características físicas e mecânicas influenciam fortemente a qualidade das LACP.

##### **4.3.1.1 – CIMENTO**

O cimento é um material inorgânico finamente moído que, convenientemente amassado com água, forma uma pasta que, devido a reações de hidratação, faz pega, endurece e permanece mecanicamente resistente e estável, tanto ao ar como na água, e em condições normais de aplicação. A qualidade de um cimento depende da matéria-prima, do processo de fabricação e do equipamento nele empregado.

Para pré-fabricados em geral, inclusive nas LACP, no Brasil, o cimento mais utilizado é o ARI, que é um cimento Portland de alta resistência inicial e que permite ao concreto atingir grandes resistências logo nas primeiras horas de pega, o que para o fabrico de LACP é essencial, visto que o seu ciclo completo de produção ronda em torno das 24 horas, com a conseqüente necessidade de renovação das pistas de protensão. Segundo Fernandes (2007), a granulometria é um aspecto importante nos

grãos de cimento, quando o clínquer passa pelo processo de moagem, uma vez que aquela define a velocidade das reações de hidratação. O cimento CP V – ARI tem suas especificações descritas na ABNT NBR 5733:1991. Apesar de proporcionar uma cura mais rápida no concreto e resistências iniciais maiores, este acaba atingindo resistências finais inferiores às dos concretos fabricados com cimentos do tipo CP II e CP III. A rápida pega inicial dos concretos fabricados com cimento CP V – ARI deve-se à elevada capacidade de hidratação desse cimento. Esse aspecto deve ser tomado em conta, especialmente quando se trabalha com elementos de pequenas espessuras, uma vez que havendo rápida hidratação também existe uma rápida exotermia, o que pode provocar a abertura de micro-fissuras no concreto devidas à retração. Esse efeito pode ser diminuído por adição de fibras ou aditivos específicos que façam diminuir o calor de hidratação.

O fornecimento de cimento, dependendo do tipo de utilização, pode ser feito em sacos ou a granel. Quando é feito em sacos, o seu transporte costuma ser realizado por carretas comuns, mas no caso de plantas de pré-fabricados em geral e LACP em particular, o fornecimento costuma ser feito a granel, e nesse caso o transporte é feito em caminhões cisterna. Esses caminhões cisterna são providos de um sistema de mangueiras, as quais são acopladas a grandes silos, e o cimento é transportado para o interior deles onde é armazenado. Se por alguma razão se utilizam cimentos de diferentes tipos, cada cimento deve ser estocado em separado, em silo próprio. Esses silos costumam ter capacidade igual ou até superior a 100 toneladas de cimento cada.

Na estocagem do cimento, o principal cuidado que deve ser tido é quanto ao controle do seu grau de umidade, para que não endureça. Por esse motivo, os silos são providos de dispositivos que procedem ao recirculamento e arejamento do cimento no seu interior. Além disso, também possuem dispositivos de pesagem do cimento, com grande precisão.

#### **4.3.1.2 – AGREGADOS**

A ABNT NBR 9935:1987 define agregado como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de concretos e argamassas. Os agregados podem ser classificados quanto à sua origem, dimensões ou densidade aparente. Para este efeito, interessa mais as duas primeiras classificações.

Quanto à origem, os agregados podem ser classificados como de origem natural, artificial ou provenientes de reciclagem de concretos ao final da vida útil. Os de origem natural são aqueles que podem ser encontrados já fragmentados na natureza, sob a forma de partículas provenientes do esboroamento de rochas naturais, ou podem ser obtidos por britagem dessas rochas (quebra dos fragmentos de rocha natural em partículas de menores dimensões por passagem em “mandíbulas” mecânicas). Os artificiais são obtidos industrialmente. Quanto às dimensões, eles podem ser divididos em dois grandes grupos, os chamados agregados gráudos ou grossos e os agregados miúdos ou finos. Muitas vezes, embora isso não corresponda com exatidão à realidade, os agregados grossos costumam ser designados de “britas” ou “pedras”, e os agregados finos de “areias”.

Como principais finalidades no concreto, servem para conferir resistência mecânica (provenientes de rocha) e para reduzir o preço, visto que constituem 70% a 80% do concreto, em volume, e são mais baratos que o cimento. Como outras funções acessórias, servem ainda para reduzir a retração na pasta de cimento, aumentar a resistência do concreto ao desgaste e melhorar a trabalhabilidade.

De acordo com Coutinho (1999), e de forma sintetizada, as propriedades dos agregados com maior influência no comportamento do concreto, tanto no estado fresco quanto no endurecido são: - Massa volumétrica; - Granulometria; - Porosidade; - Resistência mecânica (sobretudo nos agregados grossos) e características da superfície das partículas.

Segundo Coutinho e Gonçalves (1988), a granulometria, a seguir à resistência mecânica, é das propriedades dos agregados que mais preponderância têm nas características do concreto, e os autores definem 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 peneira, ordenados de forma decrescente, da malha mais larga para a malha mais fechada, e pesando de seguida o material retido em cada peneira. Torna-se fundamental assegurar que a composição do concreto seja definida de modo que agregados e ligante atinjam a máxima compacidade, ou seja, quanto maior a compacidade, maior será a resistência do concreto.

De acordo com a *National Precast Concrete Association*, NPCA (2011), e 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: - Partículas que dão origem a reações 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.

Os agregados, sejam grossos ou finos, costumam ser transportados a partir das pedreiras, centrais de britagem ou leitos dos rios, para as plantas de pré-fabricados, em caminhões ou carretas simples, de capacidades volumétricas variáveis, mas que grosso modo vão desde os 3 m<sup>3</sup> até em torno dos 10 m<sup>3</sup> a 12 m<sup>3</sup>.

Na grande maioria dos casos, os agregados depois de recebidos são estocados/armazenados em baias ao ar livre, nas centrais de concreto, sendo esse um dos quesitos que pode influenciar significativamente as propriedades dos concretos que deles resultem (umidade excessiva por via da água das chuvas). Na verdade, a umidade dos agregados pode influenciar fortemente o fator/relação água/cimento no concreto, um dos seus parâmetros mais importantes, e portanto deverá ser controlada com alguma precisão.

#### **a) AGREGADOS GRAÚDOS**

Os chamados agregados graúdos, que entram na composição da mistura de concreto, compreendem as britas e cascalhos, seixos rolados, godos e pedregulhos. A ABNT NBR 7211:2009 classifica como agregados graúdos os materiais minerais atrás referidos, cujos grãos passam na peneira de malha quadrada de 152mm de abertura e em que pelo menos 95% ficam retidos na peneira de abertura 4,8mm. Em termos de terminologia corrente da construção, e em função dos respetivos tamanhos dos grãos, são depois sub-classificados como brita nº 0, brita nº 1, brita nº 2, brita nº 3, brita nº 4 e brita nº 5. Embora essa percentagem possa variar ligeiramente, o percentual de agregados graúdos, em volume, e num concreto corrente, anda em torno de 40%.

Em relação aos agregados graúdos, e no sentido de se obter um concreto com uma boa compacidade (para aumentar a resistência mecânica do concreto), um fator que importa destacar é a dimensão máxima do agregado graúdo. Segundo o NPCA (2011), não deve exceder cerca de 20% da menor dimensão da peça (neste caso a LACP) a concretar, e cerca de 75% do recobrimento livre entre a armadura de protensão e a superfície do produto.

O transporte e estocagem dos agregados graúdos, já dentro das instalações fabris, é feito de forma semelhante à dos agregados miúdos, quanto a caminhões e

suas capacidades. Uma vez mais é fundamental, por causa da relação/fator água/cimento do concreto, controlar a umidade desses agregados, nas baias de estocagem. Além disso, devem estar isentos de qualquer tipo de impurezas, especialmente as orgânicas.

Os percentuais variam em função das espessuras das LACP, mas em termos genéricos pode-se afirmar que são utilizados em fábrica três tipos de britas, quanto às dimensões: - brita 1, de 8mm-12mm, brita 1, de 4mm-8mm (bago de arroz) e brita 2 (12mm-20mm).

## **b) AGREGADOS MIÚDOS**

A ABNT NBR 7211:2009 define areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm. Os percentuais podem variar ligeiramente, em função da espessura das LACP, de modo que os agregados finos, neste caso as areias, representam em volume cerca de 40% em volume, do concreto. Ainda dentro da categoria das areias (agregados miúdos), e em função das respectivas granulometrias, a ABNT NBR 7211:2009 subdivide-as em areias muito finas, finas, médias ou grossas. Uma característica fundamental das areias para o desempenho dos concretos com elas fabricados é o seu módulo de finura. Em pré-fabricados costumam ser usados dois tipos de areias: as areias lavadas (módulo de finura próximo de 2,85) e as areias finas (módulo de finura próximo de 1,94).

Não indo a um grau de detalhe excessivo, pode-se afirmar resumidamente que as características das areias que mais influenciam as propriedades dos respectivos concretos se dividem em dois grandes grupos: propriedades físicas e propriedades químicas. As propriedades físicas ainda se sub-dividem em dois grupos: 1- as características geométricas e granulométricas (forma e tamanho das partículas); 2 – as características mecânicas (resistência mecânica).

A forma das partículas influencia a trabalhabilidade do concreto, o seu ângulo de atrito interno, a sua compactação e, em última análise, todas as propriedades do concreto que dependem da quantidade de água de amassadura. Por outro lado, a granulometria (tamanho) influencia fortemente a compactação do concreto e todas as características dele que dependem da compactação. A granulometria da areia se traduz na distribuição percentual dos seus grãos, em termos da respectiva massa e sua retenção, por sucessivas peneiras de malha quadrada de aberturas cada vez

menores. Se pressupõe que todos os grãos da areia em causa têm a mesma massa volumétrica. Os ensaios que servem para determinar a granulometria se designam por ensaios de peneiração. A representação gráfica da granulometria dá origem à curva granulométrica do material, da qual se pode extrair a dimensão máxima da areia, a sua dimensão mínima e o seu módulo de finura.

Quanto às características mecânicas das areias, interessam essencialmente a sua resistência mecânica e a resistência mecânica da ligação areia-cimento.

A areia natural é extraída de leitos de rios, várzeas, depósitos lacustres e mantos de decomposição de rochas. Passa depois por processos de lavagem e crivação. Só são aceites em fábrica as areias previamente lavadas e isentas de impurezas. Areias provenientes de praias ou dunas não são normalmente aceites na fabricação de concretos pré-fabricados, seja por serem demasiadamente finas, seja pelo alto teor de cloreto de sódio. Existem também as areias obtidas por britagem de rocha, normalmente de partículas mais angulares.

As principais consequências da existência de impurezas em uma areia podem ser sintetizadas do seguinte modo: - a matéria orgânica pode impedir a pega do cimento; - a argila pode fazer diminuir consideravelmente a resistência mecânica da mistura de concreto, por impedir a ligação entre o agregado, neste caso a areia, e os produtos resultantes da hidratação do cimento; - a presença de partículas finas, friáveis e moles, pode exigir quantidades de água de molhagem exageradas, e reduzir tanto a resistência mecânica do concreto como outras propriedades; - os teores de sais são limitados por norma, e a exigência varia conforme seja concreto simples, armado, e pré-fabricado, visto que provocam alterações na pega e no endurecimento do concreto e o deterioram, através da sua meteorização, reagindo com o cimento e argamassas.

### **c) UMIDADE NOS AGREGADOS**

De acordo com o NPCA (2011), a medição e controle do teor de humidade presente nos agregados é fundamental na produção de um concreto com boa qualidade.

O manual indica que os agregados finos (areias) podem acumular até 10% de humidade, em peso, nas suas superfícies, enquanto os agregados graúdos podem acumular até 3%, em peso, nas respectivas.

O resultado prático da não consideração disso nas proporções da mistura do concreto poderá ser um impacto sobre a trabalhabilidade e relação A/C, que é de

fundamental importância na fabricação das LACP. Nesse caso deve-se então ajustar as proporções de dosagem, de modo a compensar esse teor de umidade. Por outro lado, agregados excessivamente secos podem aumentar a necessidade de água, dada a sua absorção durante a mistura.

Idealmente, para concretos pré-fabricados, o agregado deverá ser mantido em um estado saturado com superfície seca (*SSD – saturated surface dry*), apresentando-se saturado com água no interior, mas seco na superfície.

Assim, uma monitorização cuidadosa do teor de umidade dos agregados irá reduzir a necessidade de retificação da dosagem na produção do concreto.

De forma simples, considera-se importante que as fábricas de LACP apresentem um programa/procedimento que regule a quantidade de umidade da superfície dos agregados, promovendo sempre que necessário, o ajustamento da dosagem definida para o concreto.

#### **d) ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DOS AGREGADOS – OUTROS CUIDADOS**

Além de alguns cuidados já referidos em itens anteriores, e se armazenados em baias, estas devem ter a altura suficiente para evitar a mistura e contaminação cruzada de agregados de naturezas e classes diferentes (figura 44). Além disso, haverá que manter o cuidado de não permitir a passagem de quaisquer cargas, nomeadamente as rodas dos caminhões de transporte, sobre as partículas dos agregados, de maneira a evitar a fratura das respectivas partículas. Se armazenados em baias, deve haver o cuidado de executar na sua base uma camada de concreto endurecido de 10cm a 15 cm de espessura (uma pequena laje), de forma que, ao serem puxados os agregados para o “*skip*”, eles não venham misturados com terras e outras impurezas dos solos de fundação. Essa pequena laje na base das baias deve ter uma inclinação tal que providencie o escoamento e drenagem de quaisquer águas (chuvas e outras). Em termos gerais, pode-se afirmar que os agregados devem ser armazenados em locais limpos, sólidos e bem drenados, e o seu transporte deve ser executado de modo a impedir a sua contaminação e minimizar uma eventual deterioração.



Figura 44 – Armazenamento/estocagem de agregados graúdos (Fonte: Direitinho, 2014)

#### 4.3.1.3 – ÁGUA

Segundo Coutinho e Gonçalves (1988), todas as águas potáveis e as que se apresentem isentas de cheiro e sabor podem ser utilizadas na amassadura de um concreto pré-fabricado. Essa regra geral permite que não haja especiais precauções ao se utilizar água da rede pública de abastecimento. No entanto, cuidados têm que ser tomados quando as características citadas não se verificam.

A água tem um papel fundamental nas características do concreto. Se ela é em quantidade muito reduzida, se obtém um concreto muito seco, o que torna difícil a obtenção de uma compacidade aceitável, por causa do elevado atrito entre as partículas (impossibilita a sua arrumação perfeita). Para Moreira (2009), uma quantidade insuficiente de água compromete a trabalhabilidade do concreto, sendo então necessário usar aditivos plastificantes ou superplastificantes.

É importante destacar que não se deve usar água contendo quantidades prejudiciais de óleos, ácidos, sais, material orgânico ou outras substâncias que possam afetar de forma prejudicial as propriedades do concreto fresco ou endurecido, nomeadamente o seu tempo de pega. No concreto pré-fabricado, é absolutamente proibida a utilização de águas salgadas, por efeito da corrosão das cordoalhas de protensão.

A água de amassadura executa três funções essenciais:

- 1 - hidratação do cimento;
- 2 - molhagem dos inertes (em função da granulometria das partículas);

3 - definição da trabalhabilidade do concreto (através da lubrificação e diminuição do atrito interno entre os inertes).

O excesso de água pode provocar um enfraquecimento das ligações introduzidas pelo cimento, afetando a resistência do concreto e a sua durabilidade.

Como fator expedito de relacionamento da água com a dosagem de cimento, tem-se o chamado fator água/cimento (A/C). Os concretos usados na produção de LACP utilizam baixas relações água/cimento, normalmente da ordem dos 0,3 a 0,4; se o processo de fabrico for por extrusão, esse valor ainda é mais baixo, utilizando-se um concreto de *slump* praticamente zero.

#### 4.3.1.4 – ADIÇÕES E ADITIVOS

##### a) ADIÇÕES

Adições são os materiais inorgânicos, finamente divididos, que se podem adicionar aos constituintes do concreto, em proporções superiores a 5%, com a finalidade de melhorar certas propriedades ou para adquirir características especiais.

Existem dois tipos de adições:

1 - as quase inertes (Tipo I): como exemplos o filer calcário e as pozolanas;

2 - adições hidráulicas latentes (Tipo II): como exemplos a escória de alto forno, a pozolana natural, as cinzas volantes e a sílica ativa.

Segundo Moreira (2009), as adições à base de pozolanas são os mais utilizados em concretos pré-fabricados, por diminuírem possíveis reações do agregado com o ligante, além de aumentar a impermeabilidade do concreto no estado endurecido.



Figura 45 – Armazenamento/estocagem de aditivos em silos de material polimérico  
(Fonte: Direitinho, 2014)

## **b) ADITIVOS**

Aditivo é todo o material ou substância adicionado durante a amassadura do concreto, em quantidade que não exceda 5% da massa de cimento, com o fim de modificar as propriedades do concreto, quer no estado fresco, quer no estado endurecido. Como se pode ver pela própria definição, não estão incluídas nos aditivos as substâncias minerais moídas que se juntam ao concreto, como pozolanas, escórias e outras, e que são adicionadas em proporções muito superiores a 5%, de maneira a atuarem significativamente nas propriedades do cimento Portland.

A classificação dos aditivos é usualmente feita de acordo com o efeito dominante nas propriedades do concreto. Os efeitos mais comuns que se procuram obter com o uso de aditivos são a melhoria da trabalhabilidade do concreto, a diminuição da sua permeabilidade, o aumento ou a diminuição da velocidade de pega, e a prevenção ou inibição da corrosão das armaduras.

Existe uma diversidade muito grande de aditivos, mas os mais usados nos concretos pré-fabricados são:

a) Plastificantes e Superplastificantes – A aplicação dos aditivos plastificantes e superplastificantes têm quatro objetivos: reduzir a quantidade de água no concreto; aumentar a sua consistência; melhorar a trabalhabilidade do concreto e otimizar a quantidade de cimento. De acordo com Costa e Applenton (2002), os plastificantes provocam em geral uma redução de água da ordem de 5% a 15% no concreto,

enquanto os superplastificantes possibilitam reduções de água muito superiores, da ordem de 25% a 35%;

b) Introdutores ou incorporadores de ar – provocam a incorporação de microbolhas de ar de tamanho controlado, que se mantêm estáveis no estado endurecido, proporcionando uma melhor trabalhabilidade do concreto, bem como ótimos desempenhos relativamente à durabilidade e resistência aos ciclos de gelo/degelo;

c) Acelerador/retardador de pega – são produtos utilizados para acelerar e retardar a pega do concreto, respetivamente.

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 objetivo 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 usam, juntamente com os superplastificantes, aceleradores de pega, permitindo acelerar o endurecimento do concreto, desenvolvendo rapidamente resistências iniciais sem que as resistências finais sejam negativamente afetadas.

#### 4.3.1.5 – AÇO DE PROTENSÃO

Segundo Fernandes (2007), em LACP e no Brasil aplica-se normalmente como armaduras à tração (protensão) cordoalhas de protensão de sete fios, na parte inferior das lajes (figura 46). É possível aplicar aço de protensão nas duas faces da laje, porém não é uma situação comum. Os fios podem ser protendidos isoladamente ou de forma simultânea. A protensão em simultâneo garante maior homogeneidade da força de protensão aplicada.



Figura 46 – Protensão simultânea do feixe de fios (Fonte: Fernandes 2007, *apud* Ferreira 2007)

Ainda de acordo com Fernandes (2007), cordoalhas e fios de protensão no Brasil são produzidos por uma única siderúrgica, o que para consumos baixos pode dificultar o acesso a todas as bitolas especificadas em projeto ou pelo fabricante. Ademais, no país, existe tradicionalmente a tendência na construção civil de se abastecer primeiro o exterior, posto que as siderúrgicas são multinacionais que privilegiam o mercado externo (mundial). No entanto o Brasil produz aços quer de pré-tensão quer de pós-tensão, sendo que para esta pesquisa apenas nos interessam os primeiros, pois são os que se usam nas LACP.

Os fios de protensão seguem os requisitos da ABNT NBR 7482:1983, da ASTM- A 421 e da BSI – 2691. O módulo de elasticidade do aço utilizado é de 210 MPa (figura 47).



Figura 47 – Aço de protensão em bobines (Fonte: Direitinho, 2014)

De acordo com o fabricante, a perda de tensão por relaxação nos fios, após 100 horas a 20°C, e quando submetidos a um carregamento inicial correspondente a 80% da carga máxima de ruptura, é de 8,5% para os fios de relaxação normal (RN) e de 3,5% para os fios de relaxação baixa (RB).

Para o caso das cordoalhas de três e sete fios, são atendidos os requisitos constantes da ABNT NBR 7483:2004. As cordoalhas são fabricadas apenas com aços de relaxação baixa (RB) (figura 48).



Figura 48 – Cordoalhas de três e sete fios para protensão (Fonte: Fernandes 2007, *apud* ARCELOR-MITTAL 2007)

A figura 49 especifica os tipos de fios produzidos no Brasil e suas principais características e propriedades.

Tipo	Diâmetro nominal (mm)	Área nominal (mm <sup>2</sup> )	Área mínima (mm <sup>2</sup> )	Massa média (kg/km)	Tensão mínima de ruptura		Tensão mínima (1% alongamento)		Along. na ruptura (%)
					(MPa)	(N/mm <sup>2</sup> )	(MPa)	(N/mm <sup>2</sup> )	
CP 145 RB L	9,0	36,6	62,9	500	1450	145	1310	135	6,0
CP 150 RB L	8,0	50,3	49,6	395	1500	150	1350	135	6,0
CP 170 RB E	7,0	38,5	37,9	302	1700	170	1530	153	5,0
CP 170 RB L	7,0	38,5	37,9	302	1700	170	1530	153	5,0
CP 170 RN E	7,0	38,5	37,9	302	1700	170	1450	145	5,0
CP 175 RB E	4,0	12,6	12,3	99	1750	175	1580	158	5,0
CP 175 RB E	5,0	19,6	19,2	154	1750	175	1580	158	5,0
CP 175 RB E	6,0	28,3	27,8	222	1750	175	1580	158	5,0
CP 175 RB L	5,0	19,6	19,2	154	1750	175	1580	158	5,0
CP 175 RB L	6,0	28,3	27,8	222	1750	175	1580	158	5,0
CP 175 RN E	4,0	12,6	12,3	99	1750	175	1490	149	5,0
CP 175 RN E	5,0	19,6	19,2	154	1750	175	1490	149	5,0
CP 175 RN E	6,0	28,3	27,8	222	1750	175	1490	149	5,0

L = liso; E = entalhado (conferre maior aderência ao concreto)

Figura 49 – Fios para protensão produzidos no Brasil (Fonte: Fernandes 2007, *apud* ARCELOR-MITTAL 2007)

A figura 50 mostra os tipos de cordoalhas produzidas no Brasil, conforme as características descritas anteriormente.

Tipo	Diâmetro nominal (mm)	Area nominal (mm <sup>2</sup> )	Area mínima (mm <sup>2</sup> )	Massa média (kg/km)	Carga mínima de ruptura		Carga mínima (1% alongamento)		Along. na ruptura (%)
					(kN)	(kgf)	(kN)	(kgf)	
Cord. CP 190 RB 3x3,0	6,5	21,8	21,5	171	40,8	4080	36,7	3670	3,5
Cord. CP 190 RB 3x3,5	7,6	30,3	30,0	238	57,0	5700	51,3	5130	3,5
Cord. CP 190 RB 3x4,0	8,8	38,3	37,6	304	71,4	7140	64,3	6430	3,5
Cord. CP 190 RB 3x4,5	9,6	46,5	46,2	366	87,7	8770	78,9	7890	3,5
Cord. CP 190 RB 3x5,0	11,1	66,5	65,7	520	124,8	12480	112,3	11230	3,5
Cord. CP 190 RB 7x9,5	9,5	55,5	54,8	441	104,3	10430	93,9	9390	3,5
Cord. CP 190 RB 7x12,5	12,7	101,4	98,7	792	187,3	18730	168,6	16860	3,5
Cord. CP 190 RB 7x15,2	15,2	143,5	140,0	1126	265,8	26580	239,2	23920	3,5

RB = relaxação baixa

Figura 50 – Cordoalhas de três e sete fios para protensão (Fonte: Fernandes 2007, apud ARCELOR-MITTAL 2007)

Segundo Van Acker e Elliott (2007), as cordoalhas de três fios não são recomendadas para a fabricação de LACP por possuírem pouco entrelaçamento dos fios, o que diminui o atrito mecânico na interface da pasta cimentícia com o aço.

O aço usado em protensão é muitas vezes fornecido em bobinas, devendo estas ter um diâmetro tal que quando desenroladas os cabos não apresentem qualquer deformação. Uma boa prática é que o diâmetro das bobinas seja no mínimo igual a 200 vezes o diâmetro do fio mais espesso do cordão.

Existe uma maior preocupação quanto à corrosão nos cabos de aço de protensão, pelo reduzido diâmetro dos fios e pelo fato do aço estar sujeito a tensões mais elevadas.

Tendo em consideração a maior sensibilidade à corrosão dos aços de protensão, estes devem ser protegidos contra esta mesma corrosão durante o seu transporte e armazenamento. Devem ser armazenados e instalados em locais cobertos e secos, e deve-se impedir o seu contato com o solo. Sempre que o período de armazenamento seja superior a um mês, deverá ser efetuada uma inspeção visual antes da sua aplicação, conferindo estado do aço.

#### 4.3.1.6 – O CONCRETO

##### a) FABRICAÇÃO DO CONCRETO

Os concretos usados na fabricação de LACP aproximam-se das características dos concretos de alto desempenho. Devem apresentar maior compacidade, maior

impermeabilidade, serem menos suscetíveis às ações prejudiciais de agentes físicos e químicos, serem mais duráveis e terem resistências mecânicas melhoradas em relação aos concretos usuais usados na construção civil. Têm como característica própria o fato de apresentarem menores relações água/cimento (da ordem dos 0,3 a 0,4), o que conduz a menores valores do seu *slump*, sendo que o concreto usado em processos de extrusão requer concretos de *slump* próximo de zero. Estritamente no que ao processo de fabrico diz respeito, ele é bem semelhante ao usado em outros concretos usinados.

De acordo com Almeida (2005), o concreto de alto desempenho nada mais é do que uma evolução histórica dos concretos tradicionais. Trata-se de uma mistura de brita, areia, cimento e água, à qual são incorporados alguns aditivos químicos e adições minerais. É o material mais promissor em termos de vida útil mais ampliada para o concreto, e que requisita menos despesas potenciais com manutenção e eventual recuperação.

Ainda segundo o autor, o incremento progressivo do uso do concreto de alto desempenho, de resistências cada vez maiores, vem de encontro aos principais desafios encontrados atualmente no setor de pré-fabricados, de obtenção de desforma rápida, maior rotatividade na produção, *just-in-time*, mínima estocagem e atendimento de prazos cada vez mais curtos. Nos últimos anos se vêm fazendo algumas experiências com concreto auto-adensável no domínio dos pré-fabricados, mas é um material que ainda não está disseminado.

Os concretos usados na fabricação de LACP aproximam-se das características dos concretos de alto desempenho. Devem apresentar maior compacidade, maior impermeabilidade e serem menos suscetíveis às ações prejudiciais de agentes físicos.

As indústrias de pré-fabricados em geral, e as fábricas de LACP em particular, têm centrais próprias para fabrico de concreto usinado. São equipamentos mecânicos bem mais sofisticados que os usados na construção civil em geral, e de maior porte. Podem existir algumas variações quer no equipamento de mistura propriamente dito quer nos dispositivos que o abastecem. O mais comum são centrais misturadoras cilíndricas/hemisféricas horizontais, abastecidas por silos e baias. As baias podem estar dispostas em série umas em relação às outras, cada uma contendo o seu tipo próprio de agregado, ou dispostas em estrela, com a misturadora numa posição concêntrica em relação às baias. O cimento é estocado em silos, com dispositivos de pesagem internos de bastante precisão, e conduzido para dentro do tambor da misturadora por tubulações normalmente designadas por “sem-fim”.

Por outro lado os agregados são previamente pesados em balança e conduzidos para um balde/caçamba designado na gíria por “skip”, que se encontra acoplado a um sistema de roldanas/cabos metálicos nas laterais, que em conjunto com um motor içam o balde até este despejar o material dentro da misturadora. O sistema de pesagem dos inertes tem também bastante precisão. São dispositivos que são controlados eletronicamente. É dessa cabine e por meio desse sistema sofisticado que o operador controla também a quantidade de água da mistura e a dosagem de aditivos e adições no concreto que se produz. Os tempos de mistura também são controlados eletronicamente, mas pode haver necessidade de pequenos períodos de acréscimo, em função da velocidade da caçamba de transporte do concreto pronto/usinado a jusante.

A figura 51 apresenta um esquema possível para a central de produção de concreto de uma fábrica de LACP.

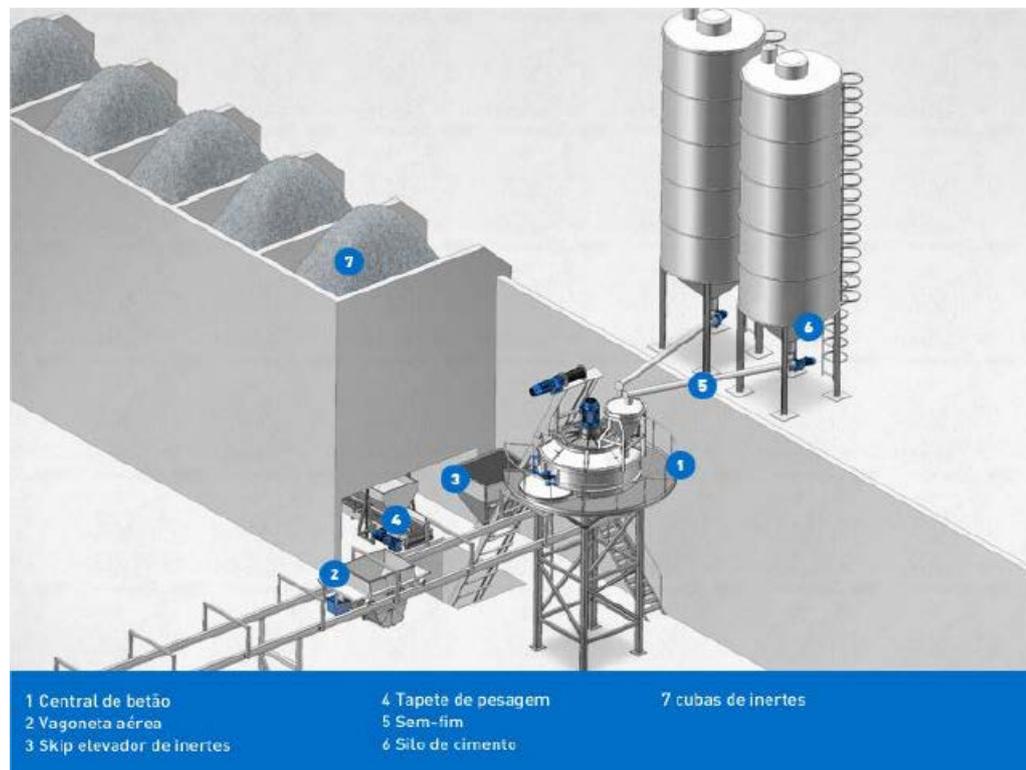


Figura 51 – Esquema de central de concreto (Fonte: Ilmar, 2014)

Importante acrescentar que é registrada numa impressora acoplada ao sistema eletrônico da cabine de comando a composição de cada mistura de concreto efetuada, através de uma série de botões de um painel eletrônico de comando numa cabine onde se encontra o operador da central, o que é importante por uma questão de rastreabilidade das misturas efetuadas.

Nos itens anteriores foi destacado já de forma sintética a importância do uso dos materiais com a qualidade e as características requeridas na composição de um concreto, no entanto essas características de qualidade intrínsecas dos componentes da mistura e respectivos procedimentos de controle do recebimento e armazenamento não são suficientes para a obtenção de um concreto de boa qualidade. Para isso contribuem também dois processos essenciais, que são a dosagem e a mistura dos constituintes do concreto.

Normalmente as empresas de pré-fabricados e especificamente as de LACP têm departamentos de controle tecnológico de concreto próprios, responsáveis por estudar as suas próprias composições, de acordo com as características de desempenho para cada tipo de laje que pretendam produzir. É normal que cada fabricante possua as suas próprias composições e dosagens. A este respeito aliás a ABNT NBR 14861:2011 especifica que é admitida dosagem experimental segundo os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 1265:2006, e que a verificação da dosagem e características dos constituintes do concreto segue esta última norma referenciada. A composição de concretos é no entanto um assunto que sai do âmbito desta pesquisa.

Nos itens a seguir serão descritas as propriedades do concreto mais importantes, que devem ser inspecionadas e controladas, e as medidas de controle necessárias.

✓ **Dosagem**– Deve-se destacar que algumas das principais características de um concreto pré-fabricado para produção de LACP, como a resistência à compressão e à tração, a trabalhabilidade e a homogeneidade, dependem não apenas da proporção entre os diversos materiais, mas sobretudo da relação água/cimento do concreto. Assim, concretos com uma elevada relação água/cimento ( $a/c$ ), onde a quantidade de cimento é insuficiente, apresentam-se como pouco trabalháveis, e com tendência à segregação (separação) dos seus componentes.

Além disso, têm elevados valores de porosidade e são portanto muito permeáveis. As suas resistências mecânicas são baixas, e os concretos são mais facilmente atacáveis por agentes externos (químicos, nomeadamente). Já os concretos com um baixo valor de  $a/c$ , com uma quantidade excessiva de cimento, apresentam-se como excessivamente coesivos, e mostram dificuldades de moldagem e de compactação.

A relação água/cimento ( $a/c$ ) determina-se pela razão entre a dosagem de cimento e a dosagem efetiva de água (diferença entre a quantidade total de água

presente no concreto fresco e a quantidade de água absorvida pelos agregados). Na fabricação de LACP usam-se genericamente concretos “secos”, com valores aproximados do fator a/c de 0,3 a 0,4, ou até mais baixos no caso do processo de fabrico ser o de extrusão. Nesse caso o concreto é tão seco que o seu slump é de aproximadamente 0 (zero). A importância do valor da relação a/c para as características resistentes do concreto é visível no gráfico da figura 52, a seguir. Importa referir que apesar de todo o controle eletrônico sofisticado das modernas centrais de concreto, continua sendo importante a experiência do operador, nas suas inspeções visuais, quanto à consistência adequada para um concreto.

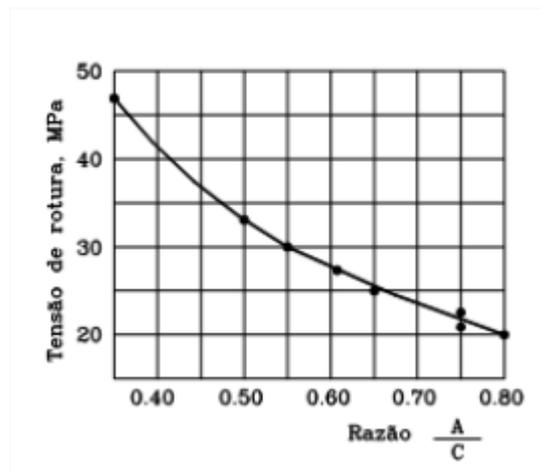


Figura 52 – Variação da tensão de ruptura à compressão do concreto com a relação A/C (Fonte: Cunha, 2011, *apud* Coutinho e Alves, 1988)

Observa-se que quando a relação a/c duplica, a resistência mecânica dos concretos cai para menos da metade donde, torna-se necessário limitar o valor a/c a valores baixos para obter concretos com uma boa resistência mecânica e de boa qualidade. O problema da trabalhabilidade para concretos com essas baixas relações água/cimento resolve-se então adicionando aditivos plastificantes ou superplastificantes à mistura.

Embora na maioria das vezes a dosagem, quer dos inertes graúdos (“britas ou pedras”) quer dos inertes finos, seja feita por peso, isto não é obrigatório. Hoje em dia existem equipamentos com esteiras e conta-giros que permitem a dosagem por volume desses materiais. O conta-giros emite um sinal para a central, a qual em função do número de giros e do tipo de agregado determina o volume do agregado dosado.

✓ **Mistura** – O objetivo fundamental da mistura dos componentes de um concreto é o de que este no final se apresente como uma “massa” homogênea, a qual depois

de endurecida se apresenta praticamente impermeável, muito pouco porosa e com boas características mecânicas para resistir às solicitações para as quais foi projetada. Essas exigências quando o concreto é produzido usinado e para utilização em elementos pré-fabricados de concreto são ainda maiores, daí que o controle do concreto seja mais rigoroso, e os dispositivos industriais de mistura do concreto sejam bem mais sofisticados.

Assim, as fábricas de LACP socorrem-se de betoneiras misturadoras de grande capacidade, na maioria das vezes de tambor cilíndrico horizontal, munidas de pás rotativas (figura 53). Tudo na mistura se processa com um controle rigoroso, desde a dosagem dos agregados, água, cimento, aditivos e adições, velocidade/energia de rotação das pás, tempo de mistura, etc. O que varia de fábrica para fábrica é muitas vezes a natureza dos agregados, dada a necessidade de serem encontrados nas proximidades do local de instalação da fábrica, para que o seu custo não se torne demasiado elevado. Essas betoneiras permitem a observação direta dos materiais durante o processo de mistura, para que qualquer falha possa ser corrigida imediatamente por um operador atento e experiente (a quantidade de água da mistura, por exemplo). Apesar do processo de mistura ser bastante automatizado, isso continua sendo necessário. Esses equipamentos têm planos de inspeção e limpeza periódicos, conforme seu fabricante, o que é fundamental para a produção de concretos de boa qualidade.



Figura 53 – Betoneira misturadora de central produtora de concreto usinado (Fonte: Cunha, 2011)

✓ **Tempo de amassadura** – O tempo de amassadura deverá ser o necessário e suficiente para que o concreto se apresente homogêneo. Esse tempo de amassadura é definido automaticamente, através da central de comando eletrônica, em função da dosagem e dos materiais previamente definidos para cada amassadura. Apesar disso

deve ser permitida a inspeção visual do concreto, para correção de qualquer anormalidade.

✓ **Trabalhabilidade** – Pode-se definir a trabalhabilidade de um concreto como a capacidade que ele apresenta em se misturar, ser lançado, compactado e acabado. De acordo com Neville (1995), não existe um ensaio específico e adequado para determinar diretamente a trabalhabilidade de um concreto. No entanto, inúmeras tentativas foram e têm sido feitas para se conseguir relacionar a trabalhabilidade do concreto com alguma das suas grandezas físicas facilmente determináveis. Acaba que dos ensaios que indiretamente determinam a trabalhabilidade do concreto se destaca o ensaio de abaixamento do cone de Abrams, vulgarmente chamado de “*slump test*”, e que determina a consistência do concreto, a qual está relacionada com a trabalhabilidade.

✓ **Segregação e exsudação** – Em termos genéricos, a segregação é a separação dos componentes do concreto ainda fresco, de maneira que este deixa de apresentar características de homogeneidade. Segundo Cunha (2011), existem basicamente duas formas de segregação. A primeira delas é característica dos concretos mais secos, e afirma-se pela separação dos materiais finos, para cima, dos materiais grossos, que permanecem na parte inferior, e é devida principalmente a deficientes processos de mistura e dosagem do concreto, ou a procedimentos de concretagem com alturas excessivas de camada, ou ainda por vibração excessiva do concreto (figura 54). A segunda forma de segregação acontece quando existe uma nítida separação da água e da nata de cimento, para cima. Esse tipo de segregação é conhecido por exsudação, que é uma forma particular de segregação em que a água da mistura tende a elevar-se à superfície do concreto recentemente lançado.

Essa exsudação dá origem depois a problemas variados no concreto, como sejam o enfraquecimento da aderência entre a pasta e os agregados, ou o aumento da permeabilidade do concreto, aparecimento de canais e fissuras resultantes do movimento da água, e outros. Não existem ensaios normalizados para medir a segregação em um concreto, pelo que a forma mais eficaz de evitar ainda é uma observação cuidada do concreto ainda no seu estado fresco. Resumindo, a segregação e a exsudação podem ser reduzidas por meio de um maior controle dos procedimentos de dosagem e mistura, assim como por meio de um cumprimento correto dos métodos de concretagem e vibração do concreto.



Figura 54 – Exemplo de segregação (Fonte: Cunha, 2011, *apud* Flores *et al.*, 2010))

#### **b) TRANSPORTE DO CONCRETO ATÉ AS PISTAS DE PROTENSÃO**

A fase de transporte do concreto desde a central até as pistas de protensão é onde, dentro da organização que foi estabelecida para o processo em análise, se considera que termina a fase de **pré-fabrico** das LACP.

O transporte do concreto desde a central até as máquinas, nas pistas (extrusora ou moldadora), é sempre feito por caçambas. No entanto esses sistemas de transporte podem ser completamente distintos. Assim, destacam-se quatro sistemas alternativos de transporte:

- ✓ Transporte da caçamba por ponte rolante desde a central de concreto até a máquina, na pista;
- ✓ Transporte da caçamba por trator, via terrestre;
- ✓ Transporte da caçamba sobre trilhos, via terrestre, puxada por vagonetas;
- ✓ Transporte da caçamba via aérea por trilhos (sistema “fly”). Dentre esses sistemas, o último deles é o mais caro, mas por outro lado permite velocidades de transporte muito superiores, cerca de cinco vezes maiores, em relação aos restantes, o que pode ser fundamental na resolução de gargalos logísticos no processo.

#### **4.4 – ENSAIOS PARA CONTROLE DE QUALIDADE NO CONCRETO**

O controle de qualidade no concreto é fundamental e necessário para o controle de qualidade nas LACP, desde logo pelo fato do concreto ser o seu principal constituinte, porém não é suficiente. Existem múltiplos fatores que influenciam a

qualidade de entrega das LACP, e toda uma série de outros procedimentos de controle são necessários, especialmente procedimentos para controle de qualidade no processo.

O concreto apresenta-se em dois estados bem distintos em qualquer elemento, e nas LACP também, em estado fresco e em estado endurecido. Cada um deles requer os seus próprios ensaios para controle de qualidade.

#### 4.4.1 – ENSAIOS NO CONCRETO FRESCO

A consistência de um concreto no seu estado fresco se destaca entre as propriedades mais relevantes a serem controladas. Ela está muito diretamente correlacionada com a trabalhabilidade do concreto, anteriormente referida. Para cada um dos principais tipos de LACP produzidas (extrudadas ou moldadas), existem determinados tipos de valores adequados para a consistência do concreto utilizado, e que são especificados em projeto. Segundo Helene (2005), a consistência do concreto pode ser definida como a maior ou menor capacidade do concreto em se deformar sob ação da sua própria massa. Ainda de acordo com o autor, a ABNT NBR NM 67 (1998), define o método de ensaio, pela normalização brasileira, para determinação da consistência do concreto fresco, através do abatimento do tronco de cone (figura 55).



Figura 55 – Ensaio pelo método do abatimento do tronco de cone, para medir a consistência do concreto fresco (Fonte: Helene, 2005)

A ABNT NBR 7223:1992 define cinco classes de consistência para o concreto fresco, e que são as apresentadas na figura 56.

CONSISTÊNCIA	ABATIMENTO (mm)	TOLERÂNCIA (mm)
Muito baixa (quase seca)	0 a 30	± 5
Baixa plasticidade	30 a 80	± 10
Plástica	80 a 100	± 10
De plástica a fluida	100 a 200	± 20
Líquida	≥ 200	± 30

Figura 56 – Classes de consistência para o concreto fresco (Fonte: ABNT NBR 7223:1992)

As LACP, independentemente do tipo de equipamento de produção usado (extrusora ou moldadora), requerem uma consistência muito baixa (quase seca) para os respectivos concretos no seu estado fresco. A extrusora mais ainda, trabalhando com concretos com um abatimento quase nulo.

O ensaio mais difundido para a avaliação da consistência de um concreto fresco é o “*slump test*”, ou ensaio de abaixamento do cone de Abrams. O ensaio mede a consistência e a fluidez do concreto, permitindo que se verifique a uniformidade. A sua principal função é fornecer uma simples metodologia de verificação do fabrico de um concreto homogêneo. O abaixamento do cone é medido pela diferença entre a altura do molde e a altura do ponto mais alto do concreto que abateu.



Figura 57 – Ensaio de abaixamento do cone de Abrams (Fonte: Cunha, 2011 apud Gomes e Pinto, 2008/2009)

A obtenção de um concreto com consistência e trabalhabilidade adequadas não depende exclusivamente 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 anomalias anteriormente descritas, como a exsudação, segregação, ou um aumento do abatimento. A trabalhabilidade e a consistência dependem de uma seleção e dosagem adequada dos materiais, e muitas vezes do uso de aditivos e adições.

Uma propriedade do concreto fresco bastante ligada à consistência e à trabalhabilidade é a coesão. A falta de coesão da mistura de concreto pode conduzir à

desagregação do concreto no estado fresco, alterando a sua composição física e a sua homogeneidade. O concreto ideal é aquele que apresenta coesão, consistência e trabalhabilidade adequadas. Pode avaliar-se a coesão do concreto batendo no final do ensaio do cone de Abrams sobre a superfície lateral do provete de concreto. Um concreto com boa coesão abate gradualmente, conservando a forma (figura 58), ao contrário de um com coesão insuficiente, que fissa/fende, desagrega-se e abate de forma irregular (figura 59).

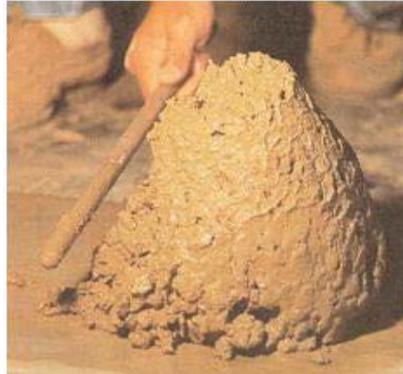


Figura 58 – Concreto coeso (Fonte: Helene e Terzian, 1993)

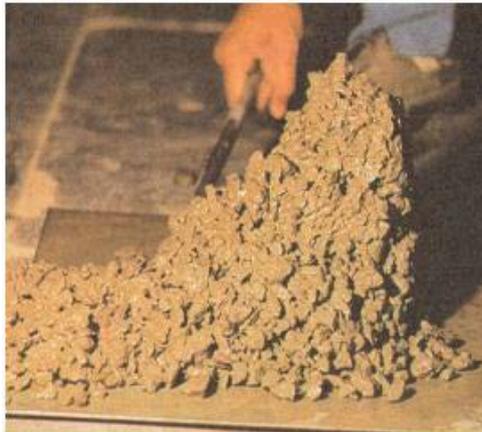


Figura 59 – Concreto pouco coeso (Helene e Terzian, 1993)

Para os concretos frescos usados em LACP existem outros ensaios complementares para caracterização e controle de qualidade, mas com relevância menor, como os ensaios para determinação do grau de compactabilidade, massa volumétrica e teor de ar.

#### **4.4.2 – ENSAIOS NO CONCRETO ENDURECIDO**

O ensaio para determinação da resistência à compressão do concreto continua sendo o mais importante entre os ensaios no concreto endurecido. No caso dos

concretos usados para fabricação de LACP, interessa determinar essa resistência aproximadamente ao final de 24 horas após a fabricação, pois corresponde aos tempos de ciclo de produção das LACP em pista.

As normas brasileiras orientam diversas etapas necessárias para se determinar corretamente a resistência à compressão dos concretos. A norma ABNT NBR NM 33 (1998) define os procedimentos para a coleta das amostras, definindo volumes de concreto a serem coletados para a realização das moldagens dos corpos de prova. A ABNT NBR 5738 (2007) define os procedimentos para a moldagem e cura dos corpos de prova, que podem ser realizados por imersão em água ou em câmara úmida, com condição de temperatura e umidade relativa do ar controladas. Os corpos de prova devem ser cilíndricos, sendo mais comumente utilizados no Brasil os de 10cm de diâmetro por 20cm de altura, e os de 15cm de diâmetro por 30cm de altura. O ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos deve seguir os procedimentos da ABNT NBR 5739 (2007), que define os tratamentos que podem ser empregados no topo dos corpos de prova, a velocidade de carregamento, a umidade dos corpos de prova, entre outras condições de ensaio que possam influenciar nos resultados (figura 60).

No caso das LACP, ao final de 24 horas, e por imposições de norma, os corpos de prova devem apresentar resistências mínimas à compressão superiores a 21 MPa, idealmente de 25Mpa a 30Mpa. No entanto, muitos fabricantes trabalham com valores entre 30MPa a 35 MPa, para que as pistas possam ser desprotendidas com segurança, sem escorregamento das cordoalhas.



Figura 60 – Ensaio de ruptura à compressão (Fonte: Direitinho, 2014)

Outros ensaios também usados em concretos endurecidos são os ensaios de resistência à flexão, de corpos de prova, os ensaios de resistência à tração por

compressão diametral, determinação da massa volumétrica do concreto endurecido, ou ensaios de penetração da água sob pressão.

## **4.5 – CONTROLE DO CONCRETO USINADO EM FÁBRICA**

Não há tantos anos assim que o controle da qualidade do fabrico do concreto era muito fraco, sendo que o que se fazia muitas vezes era um controle do concreto já depois de feito. Existiam regras de qualidade para a produção do concreto, mas quase nada era quantificado. Havia por exemplo uma omissão praticamente completa no que diz respeito à periodicidade com que os ensaios e as inspeções deveriam ser efetuados. A inspeção da usinagem do concreto é uma parte essencial de um conjunto de controles que devem ser feitos para que as peças, neste caso as LACP, possuam níveis de qualidade e conformidade adequados. Existe um grande número de variáveis capazes de alterar substancialmente as características do concreto usinado, pelo que se justifica a preocupação sobre o controle desse processo de usinagem do concreto, de forma a satisfazer as especificações exigidas e esperadas pelo cliente. Importa no entanto referir que se os vários cuidados que são necessários ter após esta fase de usinagem do concreto, designadamente durante o seu transporte, moldagem, compactação e condições de cura durante as primeiras horas, não forem tomados, de nada servirá a atenção dedicada aos procedimentos de qualidade durante o fabrico do concreto.

### **4.5.1 – CONTROLE DA DOSAGEM DO CONCRETO**

A correta dosagem do concreto é algo fundamental para obter um produto de qualidade. Assim, torna-se imprescindível que a fábrica esteja equipada de maneira a que seja possível obter uma dosagem uniforme dos materiais constituintes do concreto, influenciando a produção de um concreto de alta qualidade, com as proporções corretas.

Habitualmente, numa fábrica de LACP, a dosagem dos materiais é completamente automatizada, conseguindo-se definir esse processo com uma qualidade praticamente constante. No entanto, isso não dispensa a presença de trabalhadores qualificados, e cada dosagem precisa ficar devidamente documentada. Assim, o Coordenador de Qualidade da fábrica é responsável por:

- ✓ verificação das composições registradas em relação às composições previstas (quantidades medidas em peso ou em volume);

- ✓ conferir o cumprimento da relação água/cimento especificada;
- ✓ controle contínuo do teor de umidade dos agregados, promovendo se necessário a retificação da fórmula de dosagem.

#### **4.5.2 – CONTROLE DA MISTURA DO CONCRETO**

Nas centrais de concreto, a mistura para cada combinação de agregados, cimento, água e aditivos ou adições é feita na betoneira misturadora. É fundamental que a mistura seja homogênea, havendo por exemplo necessidade de garantir a inexistência de fenômenos de segregação. Para isso, é necessário proceder à inspeção visual da mistura, pelo operador da central de concreto, que deverá ser um trabalhador qualificado e com uma certa experiência. Compete ao setor da qualidade garantir:

- ✓ a inspeção visual da consistência da mistura, certificando-se de que esta é a adequada e está em conformidade com a aparência normal, sem haver segregação, exsudação, etc.;
- ✓ proceder à medição da temperatura do concreto fresco, verificando o limite mínimo de 5°C ou outro limite que seja definido.

#### **4.6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O FABRICO E O CONTROLE DO CONCRETO**

O controle do processo de fabrico do concreto é imprescindível para que se possa obter LACP com elevados padrões de qualidade. O conjunto de procedimentos de controle desse processo tem por objetivo fazer com que os concretos produzidos sejam de acordo com as especificações de projeto e apresentem os correspondentes desempenhos. Os dois subprocessos essenciais dentro do fabrico do concreto são a dosagem dos materiais e a respetiva mistura, os quais, nas fábricas de LACP, são praticamente automatizados. Essa automatização por si só quase garante um natural controle da qualidade do concreto produzido. Os principais fatores influenciadores nas propriedades do concreto são os seus materiais constituintes (agregados, cimento, água e aditivos e/ou adições), a exatidão na dosagem, sobretudo na determinação da relação água/cimento, e os procedimentos de mistura.

Importa referir que produzir um concreto de boa qualidade não é um processo complexo, pois os materiais que constituem esse concreto são exatamente os mesmos que os que estão presentes num concreto de má qualidade. A diferença entre

os dois está então na existência ou não de um programa de controle de qualidade eficaz.

#### 4.7 – O FABRICO DAS LACP

Na hora que começa o **fabrico** das LACP, da forma que o conceito de fabrico foi estabelecido na dissertação, ou seja, na hora em que o concreto chega através da caçamba à máquina extrusora ou moldadora, para que esta inicie a execução da concretagem da pista, já uma série de procedimentos de controle de qualidade tiveram que ser executados antes, além daqueles descritos nos itens anteriores e que tinham mais a ver com os materiais e o fabrico do concreto em si mesmo, mais o seu transporte até a pista de protensão.

Assim, teriam que ser executados os seguintes **cuidados de controle de qualidade**:

- ✓ verificação da inexistência de materiais estranhos na pista de protensão;
- ✓ verificação da inexistência de desmoldante e outros materiais estranhos impregnados nos cabos e cordoalhas de protensão;
- ✓ verificação se o número e a bitola dos cabos de protensão são os especificados em projeto;
- ✓ verificação se o posicionamento dos cabos de protensão está de acordo com o especificado em projeto, ao longo da pista;
- ✓ verificação da instalação de proteções nas cabeceiras e nas laterais da pista, antes de iniciada a aplicação da protensão;
- ✓ verificação da interrupção de qualquer tipo de tráfego juntos às pistas durante a aplicação da protensão;
- ✓ verificar se o nível de protensão aplicado nos cabos e cordoalhas foi o indicado em projeto.

Já **durante a execução/moldagem das LACP**, outros **cuidados de controle de qualidade** devem ser mantidos, tais como:

- ✓ verificação da inexistência de fissuras no concreto;
- ✓ verificação da inexistência de ondulações na superfície superior da LACP;
- ✓ verificação das dimensões da LACP definidas em projeto, com tolerâncias dimensionais de acordo com a tabela 1 anteriormente apresentada;
- ✓ verificação do correto e perfeito funcionamento dos “guia-fios”, à medida que se dá a progressão do equipamento de extrusão ou moldagem (garantia de recobrimentos de projeto);

- ✓ verificação se a energia de compactação exercida pela máquina sobre o concreto da LACP está corretamente calibrada;
- ✓ verificação de que as “facas” oscilatórias (no caso de moldadora) estão operando em perfeitas condições;
- ✓ verificar se a velocidade do pórtico ou sistema alternativo de transporte do concreto está calibrado com a velocidade de progressão da máquina, de maneira a impedir interrupções na produção/moldagem;
- ✓ verificar se foram retirados os corpos de prova de concreto para ensaios de resistência à compressão.

Após a execução/moldagem da pista de LACP e durante o processo de **cura do concreto** devem ser tomados os seguintes **procedimentos de controle de qualidade**, tomando como **referência o processo de cura a vapor**:

- ✓ verificação do completo envolvimento da pista de LACP pela lona de proteção;
- ✓ verificação do tempo máximo de espera de duas horas até o início do aquecimento por vapor da pista de LACP;
- ✓ verificação do posicionamento uniforme dos pontos de saída de vapor ao longo da pista de LACP;
- ✓ verificação do posicionamento uniforme dos pontos de medição de temperatura ao longo da pista de LACP;
- ✓ verificação do correto incremento de temperatura ao longo do processo de aquecimento (recomenda-se uma taxa de incremento máxima de 20°C/h);
- ✓ verificação da temperatura máxima durante o processo de cura a vapor (recomenda-se uma temperatura máxima de 70°C);
- ✓ verificação do intervalo de tempo de manutenção da temperatura máxima (recomenda-se um intervalo de manutenção de temperatura máxima de seis a oito horas);
- ✓ verificação da correta taxa de arrefecimento da pista de LACP (recomenda-se uma taxa de arrefecimento máxima de 30°C/h).

Antes de se proceder à desprotensão das LACP, devem ser assegurados os seguintes procedimentos de controle de qualidade:

- ✓ verificação de que os corpos de prova de concreto retirados da pista de LACP foram submetidos a condições de cura semelhantes ao do concreto da LACP;
- ✓ verificação de uma tensão mínima de resistência à compressão nos corpos de prova de 30MPa a 35Mpa.

No **corte e alívio da protensão** das pistas de LACP, devem ser executados os seguintes **procedimentos de controle de qualidade**:

- ✓ verificar se o disco da serra está convenientemente fixado no seu eixo e na estrutura do dispositivo de corte;
- ✓ fazer uma verificação periódica do tipo de corte efetuado pelo dispositivo de serra, para avaliar se a sua forma se mantém regular;
- ✓ LACP com elevados níveis de protensão devem ser previamente carregadas com uma carga significativa, antes de efetuar o corte, para evitar fissuras na parte superior da peça, ou danificar a lâmina de corte da máquina;
- ✓ os cortes nas LACP devem ser profundos o suficiente para cortarem os fios/cordoalhas inferiores, mas não mais profundos do que 6mm acima na face inferior da peça;
- ✓ Verificar se as tensões de resistência à ruptura por compressão, nos corpos de prova retirados, excede o valor mínimo absoluto de 25MPa;
- ✓ Impedir cortes longitudinais nos painéis nas suas zonas maciças (nervuras). Quaisquer cortes longitudinais deverão passar pelos alvéolos e de acordo com o previsto em projeto;
- ✓ O corte das peças apenas poderá começar depois de decorrido um período mínimo de uma hora após o término do processo de cura das peças (suponha-se cura a vapor).

Nas operações de **retirada/içamento dos painéis de LACP** das pistas, devem-se ter os seguintes procedimentos de controle de qualidade:

- ✓ usar dispositivos de elevação que, ao serem fixados nas peças (exemplificando: as chamadas “garras”), não danifiquem as arestas e superfícies laterais;
- ✓ içar a peça o mais próximo possível do seu centro de gravidade;
- ✓ evitar vibrações excessivas das peças até ao local de estoque em pátio;
- ✓ a movimentação da ponte rolante deve ser suave, sem causar impacto, evitando-se trincas, fissuras ou mesmo quebra do canto das peças;
- ✓ os grampos mordedores, ou outros dispositivos de fixação para elevação das peças, deverão distar das extremidades do painel a ser içado um mínimo 30 cm e um máximo de 100 cm, ou de acordo com o especificado em projeto;
- ✓ verificar se o guincho da ponte rolante está na mesma prumada do centro de gravidade da laje;
- ✓ impedir absolutamente qualquer presença de pessoas sob cargas suspensas;

- ✓ no caso de movimentação de peças em zonas com alta tensão, respeitar as distâncias mínimas a esses pontos, de acordo com a tabela da figura 61;

<b>VOLTAGEM (V)</b>	<b>DISTÂNCIA DE SEGURANÇA (m)</b>
0 A 13000	3
13000 A 50000	4,5
50000 A 200000	6
200000 A 350000	7,5
350000 A 500000	10,5

Figura 61 – Distâncias mínimas a pontos de alta tensão (Fonte: Direitinho, 2014)

- ✓ não usar cabos úmidos ou metálicos em situações de proximidade a pontos de alta tensão. Substituí-los por dispositivos de poliéster ou polipropileno, para melhor isolamento/isolamento.

**Depois das peças prontas**, existe ainda um conjunto de **procedimentos de controle de qualidade** que devem ser executados e que são os seguintes:

- ✓ verificação do valor máximo admissível de escorregamento das cordoalhas;
- ✓ verificação dos limites máximos de contraflecha previstos em projeto;
- ✓ verificação da ausência de manchas, bolhas e nichos nas peças;
- ✓ medição dos comprimentos laterais das peças (serão toleradas diferenças máximas de 5mm, por questões de praticidade);
- ✓ medição das diagonais das peças (serão toleradas diferenças máximas de 5mm, por questões de praticidade).

Durante o processo de **carregamento e estocagem** das peças, são necessários alguns **procedimentos de controle de qualidade**. Assim, tem-se que:

- ✓ o içamento, carregamento e transporte das peças, ao seu local de estocagem no pátio da fábrica, deve ser feito com os devidos cuidados, de forma a não se introduzir na peça esforços não previstos no cálculo, nomeadamente torções;
- ✓ observar um perfeito alinhamento dos calços de madeira entre as LACP sobrepostas de cada pilha, na vertical (variando entre um mínimo de 30cm e um máximo de 100cm de distância à extremidade das peças);
- ✓ verificação do perfeito nivelamento do local de estoque, para impedir a inclinação da pilha;
- ✓ verificar o limite máximo de lajes estocadas em cada pilha, de acordo com a sua espessura/altura e comprimento/vão, segundo as especificações de projeto;

- ✓ verificar o tempo máximo de estocagem das lajes, por efeito de contraflecha, de acordo com o especificado em projeto.

**Cuidados de controle de qualidade adicionais, em várias fases do processo, e ainda não referidos anteriormente:**

- ✓ quando dos procedimentos rotineiros de limpeza da pista para aplicação do desmoldante, deverá ser verificado previamente se a superfície metálica da pista, em chapa, que serve de “cama” às LACP, não se encontra danificada pela passagem do disco de serra. Se for esse o caso, as falhas deverão ser preenchidas com solda, e posteriormente lixadas e desbastadas, de forma que a superfície fique perfeitamente lisa;
- ✓ verificar se a superfície da pista que serve de “cama” para as LACP não apresenta zonas enferrujadas. Se for esse o caso, eliminar essas zonas por aplicação de lixadeira elétrica;
- ✓ verificar a inexistência de indícios de óleo, graxas ou desmoldante nos cabos de protensão/cordoalhas. Caso existam, eles devem ser limpos com solventes apropriados, a fim de não comprometer a aderência dos cabos ao concreto;
- ✓ limpar e lubrificar os cones de ancoragem e as cunhas, antes de cada utilização. Esses dispositivos devem também ser periodicamente analisados, para se detectar trincas que possam comprometer seu desempenho;
- ✓ nunca usar emendas nos fios ou cordoalhas dentro da peça;
- ✓ verificar se decorreram menos de 40 minutos entre o final da mistura e a aplicação do correspondente concreto nas LACP;
- ✓ verificar o perfeito funcionamento da máquina, seja extrusora ou moldadora, antes do início da execução da pista de LACP, através de *check-list* fornecida pelo fabricante;
- ✓ executar diariamente todos os procedimentos de manutenção e cuidados de utilização previstos pelo manual de manutenção da máquina, fornecido pelo fabricante;
- ✓ verificação prévia da inexistência de oxidação nas armaduras de protensão que serão utilizadas;
- ✓ providenciar uma área específica da fábrica para pequenos trabalhos de reparação do aspecto superficial das peças que se tornem eventualmente necessários. Os operários encarregados desse tipo de trabalho devem ter um perfil detalhista.

## 4.8 – O PÓS-FABRICO DAS LACP

O **pós-fabrico** das LACP, começa com a atividade de transporte das LACP da fábrica para canteiro de obras, estocagem das LACP em canteiro, montagem das LACP e eventual execução de capa estrutural.

Durante a fase de **carregamento dos caminhões, transporte para obra e descarga**, alguns **cuidados de controle de qualidade devem ser executados**, tanto de caráter mais genérico quanto de caráter mais específico, tais como:

- ✓ Verificar o respeito pelos gabaritos máximos de caminhão (comprimento e largura);
- ✓ Estudar o roteiro de transporte no sentido de evitar estradas de grandes declives (possibilidade de escorregamento da carga);
- ✓ Verificar a adequabilidade geral dos veículos de transporte, no que as condições de segurança dizem respeito. Assim, devem-se verificar: o estado dos pneus (mínimo de 10mm de profundidade nos sulcos dos pneus, evitar o uso de pneus recauchutados, os quais não devem apresentar fissuras entre a carcaça e a banda de rodagem); verificar a inexistência de vazamentos de ar no sistema de frenagem, e realizar um teste do sistema de frenagem com o caminhão parado; verificar o sistema de sinalização luminosa do veículo (luzes frontais, de mudança de direção e traseiras, incluindo as de frenagem); estado do para-choque dos veículos e da placa de matrícula;
- ✓ Verificar o estado de limpeza da carreta e a inexistência de objetos soltos sobre ela;
- ✓ Verificar se as pilhas de LACP estão convenientemente apoiadas, amparadas e fixas (“amarradas”), na fase de início do transporte;
- ✓ Verificar o limite máximo de carga para os caminhões (22 t para caminhões de dois eixos, 28 t para caminhões de três eixos);
- ✓ Assegurar sistemas que não permitam que as lajes escorreguem para a frente, em uma situação de frenagem brusca durante o trajeto;
- ✓ Respeitar um número máximo de LACP empilhadas umas sobre as outras. Assim, sugere-se: um número máximo de 6 LACP sobrepostas umas nas outras, para LACP até 20cm de altura; um número máximo de 4 LACP sobrepostas, para LACP de espessuras superiores;
- ✓ A carga e descarga das LACP sobre a carreta deve ser feita de forma equilibrada, de maneira a se evitarem esforços de torção que possam conduzir ao tombamento da carga e/ou veículo, e danos físicos de qualquer espécie;

- ✓ Dispor os apoios das LACP seguindo o alinhamento das alças das peças apresentado em projeto, sendo que os calços entre as peças devem observar o mesmo alinhamento.



Figuras 62 e 63– Carregamento de LACP (Fonte: Pagliaroni, 2008)

Tanto quanto possível, deve ser evitado o estoque de LACP em obra, optando pela montagem imediata, e por motivos tão diversos como pela diminuição de espaço físico e interrupção nos caminhos de circulação que isso acarreta, seja a operários, seja a máquinas, maior possibilidade de danos nas peças por choques decorrentes de atividade em canteiro, aumento das contraflechas das peças em caso de tempo de armazenamento excessivo, etc.

No entanto, no caso disso ser inevitável, ainda assim devem ser tomados alguns procedimentos de controle de qualidade tais como:

- ✓ Dispor as peças em terreno plano, regular e estável, evitando-se a introdução de esforços adicionais nas peças, como a torção;
- ✓ Dispor as peças protendidas de mesma idade em uma mesma pilha, de forma a evitar diferenças de contraflecha entre as peças;
- ✓ Usar calços de madeira planos e de boa qualidade em toda a largura da pilha de LACP, de maneira que as peças sejam suportadas uniformemente ao longo dessa largura;
- ✓ Usar o tipo de calço inferior padronizado, adequado à transmissão de esforços ao solo, de acordo com o tipo (espessura) de laje que está sendo armazenada;
- ✓ Garantir o alinhamento da pilha de LACP.

Na fase de **icamento e montagem das LACP em obra**, alguns **procedimentos de controle de qualidade** também se fazem sentir necessários. Assim, tem-se:

- ✓ Verificar a identificação de cada painel de laje para que ele seja içado e montado na sequência correta;
- ✓ Verificação de possíveis danos nas peças, ocorridos durante a fase de transporte para canteiro de obra (os tipos mais usuais de danos são fissuras, quebras nas arestas vivas das lajes, especialmente cantos);
- ✓ Os pontos de içamento devem distar no máximo até 1m das extremidades, para que as peças não fiquem sujeitas a momentos negativos significativos durante o processo, pois não são projetadas para tal;
- ✓ Quando forem usados ganchos de elevação, devem ser usadas correntes de segurança, as quais não devem ser aliviadas até que a laje esteja a uma distância de 10cm dos seus apoios em obra;
- ✓ Se o içamento não for efetuado pelo fabricante das LACP, este deve fornecer ao pessoal de obra, que for responsável por este trabalho, uma listagem com um roteiro de procedimentos para elevação e montagem das LACP;
- ✓ Verificar se há boas condições de visibilidade para movimentação das peças;
- ✓ Proibida a presença de pessoas sob as LACP suspensas;
- ✓ Quando em movimento horizontal, as LACP devem ser acompanhadas pelos respectivos montadores, sempre de lado ou atrás, nunca à frente da LACP;

Na fase de **montagem dos painéis**, devem ser procedidos os seguintes **cuidados de controle de qualidade**:

- ✓ As zonas de apoio de cada painel de LACP na estrutura devem estar limpas e niveladas; se não estiverem niveladas, deve-se proceder à execução de “talões de nivelamento”, para cada painel, com argamassa, neoprene, materiais plásticos ou “taliscas” de aço grauteadas na sua face inferior;
- ✓ Seguir a sequência de montagem dos painéis estipulada em projeto;
- ✓ Garantir o nivelamento entre painéis sucessivos de LACP através do chaveteamento;
- ✓ Garantir uma extensão mínima de apoio, na extremidade de cada painel de LACP, correspondente a 25% da largura do apoio (na viga ou outro elemento de estrutura);
- ✓ Os desníveis de cota, entre extremidades adjacentes de dois painéis consecutivos, na face inferior dos painéis, não deve exceder 1/1000 do respetivo vão; em todo o caso, esse desnível de cota ainda deve ser inferior ao máximo de 15mm;
- ✓ Impedir a execução de quaisquer rasgos nos painéis de laje, sem o conhecimento do fabricante, especialmente se afetarem armadura de reforço ou

nervuras do painel. Apenas pequenos rasgos que afetem unicamente os alvéolos são permitidos;

- ✓ Nas zonas de ligação longitudinal entre painéis, devem ser usadas argamassas ou concretos cuja dimensão máxima do agregado não exceda os 8mm;
- ✓ As argamassas ou concretos dessas zonas de ligação devem ser convenientemente compactadas/os, e os respectivos corpos de prova devem ter uma tensão mínima de ruptura à compressão de 20MPa, preferencialmente 25MPa;
- ✓ Em condições de tempo muito seco e temperaturas elevadas, manter os pavimentos úmidos durante pelo menos dois dias, para evitar a secagem e retração demasiado rápida das ligações longitudinais entre painéis, com a consequente fissuração nessas zonas.

Durante as fases de **execução da capa estrutural e nivelamento**, devem ser tomados os seguintes **cuidados de controle de qualidade**:

- ✓ Garantir um mínimo de 30mm de espessura para a capa estrutural;
- ✓ Se a LACP for sujeita a carregamentos dinâmicos ou de vibração, deve ser embebida na capa de vibração uma malha de aço de reforço e redistribuição dos esforços;
- ✓ A camada de nivelamento final deve ter uma espessura mínima de 5mm até 15mm, e pode ser executada com concreto auto-adensável, ou nivelada por processos manuais ou mecanizados;
- ✓ Os corpos de prova do concreto da capa estrutural devem apresentar uma resistência mínima de ruptura à compressão de 30MPa;
- ✓ sempre que possível as juntas longitudinais entre os painéis e a capa estrutural devem ser concretadas separadamente;
- ✓ Para funcionar como laje composta, as juntas longitudinais devem ser concretadas incompletas, deixando uma espessura/profundidade de 20mm por preencher, no sentido de melhorar a ligação entre o concreto dessas zonas e o da capa estrutural.

## 5 – DISCUSSÕES COMPLEMENTARES

### 5.1 - O IMPACTO DO LAYOUT DA FÁBRICA NO CONTROLE DE QUALIDADE

O layout da fábrica é um assunto de extrema importância, ao qual grande parte das vezes não é dada a suficiente importância. Perguntas como: onde deve ficar a zona de estoque/armazenamento/recepção dos agregados e do cimento? Qual a melhor posição para a central de produção de concreto? Por quê? E como devem ficar as pistas de protensão em relação a essas duas partes anteriores da fábrica? E a zona de estocagem, onde fica? Por que motivos? São perguntas para as quais não é feita a reflexão necessária, muitas vezes, o que acaba tendo um forte impacto no negócio e na qualidade do processo, do produto e do serviço.

A escolha do layout da fábrica de LACP deveria começar logo na fase da compra do terreno. O terreno para uma fábrica dessas idealmente deveria ser o mais plano possível, e com uma relação adequada de grandezas entre as várias partes da fábrica. A parte de estoque de produto da fábrica deveria ter uma área que no mínimo fosse igual à área de fabricação, mas o ideal seria na realidade que a área de estoque fosse cerca de três vezes maior que a área de produção. Ao invés disso, tem-se infelizmente instalada no Brasil uma quantidade significativa de fábricas em terrenos desnivelados de origem, com áreas “recortadas”, e onde as áreas destinadas a estoque são insuficientes.

Uma outra decisão que teria que ser levada mais fortemente em consideração seria a validade de se investir na cobertura da parte relativa ao recebimento dos agregados, por causa da variação do seu grau de umidade (chuvas), que pode impactar fortemente as características resistentes e de trabalhabilidade do concreto produzido. Isso não é levado em consideração na maioria dos casos, sendo costume as áreas de recepção dos agregados serem descobertas. O problema, como se verá, e o qual se repete ao longo da esmagadora maioria de tomadas de decisão, é de visão empresarial imediatista. O foco está apenas no lucro ou na poupança de curto prazo, quando pelo contrário se deveria pensar em termos de toda vida útil da fábrica.

A questão da colocação da central de concreto também é importante. Obrigatoriamente, por inerência do processo, terá que ficar próxima da zona de recebimento (abastecimento) dos agregados e cimento, mas ao mesmo tempo

também o mais próxima possível das pistas de protensão, para minimizar os tempos de transporte do concreto produzido até as pistas, o que se pode tornar um gargalo. Haverá também que se refletir, em função do tipo de produtos produzidos pela fábrica e dos respectivos volumes de produção, se uma central de concreto apenas será suficiente ou se haverá necessidade de uma segunda, tendo em conta que em média uma central de concreto tem uma capacidade de fornecimento de  $30\text{m}^3$  a  $35\text{m}^3$  de concreto por hora.

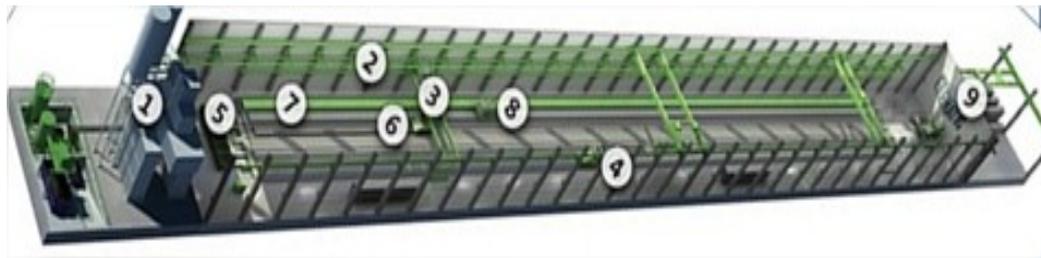
O tipo de sistema de transporte do concreto até as pistas de produção é outra decisão importante a ser tomada, não apenas em termos do seu custo inicial, mas muito sobretudo em função da capacidade de resolver problemas de abastecimento das linhas de produção. Soluções que à primeira vista possam ser tidas como caras, poderão ser obrigatórias.

O posicionamento das pistas de protensão é fundamental, seja entre si, seja em relação a zonas de produção de outros produtos que a empresa possa fabricar, seja em relação à central de concreto, ou seja em relação às áreas de estocagem de produto é fundamental. Dentro do possível, as pistas de protensão devem ser alinhadas no sentido do comprimento e em sequência, tendo a montante as centrais de produção de concreto, e a jusante as zonas de estocagem de produto, e o mais próximas de ambas que se puder. Existem em território nacional fábricas no qual este assunto não foi pensado convenientemente, e após tomada de decisão empresas fabricantes, quer de LACP quer de outros produtos, acabaram ficando com as suas zonas produtivas alinhadas no sentido da largura, com necessidade de mudança das máquinas de um lado para o outro, o que tem acarretado obrigatoriamente situações de interrupção da produção e problemas logísticos graves, que se tornam passivos para a fábrica durante toda sua vida.

As zonas de estocagem de produto, por sua vez, devem seguir sempre que possível no comprimento as pistas de protensão das LACP, e o mais próximas possível destas. Devem ter áreas suficientemente dimensionadas para estoque. Além disso devem permitir um fácil acesso e manobra para os caminhões de carga, tanto na entrada como na saída. Questões relativas a problemas de raios de curvatura de manobra, sobretudo na saída dos caminhões para as vias de circulação, bem como a facilidade de acesso a elas, devem ser tomados em consideração na definição do layout de fábrica.

Uma solução hipotética para um layout adequado de fábrica exclusivamente de LACP é ter um terreno desenvolvido no sentido do comprimento, com possibilidade de

instalação de dois pórticos, lado a lado, ou então duas pontes rolantes funcionando a altura/cotas diferentes uma da outra, com a zona de recebimento e armazenamento/estocagem dos inertes à frente do terreno, imediatamente junto da central de concreto, depois o mais próximo possível as pistas de protensão, seguidas do pátio de estocagem intermediária de produto, e da saída/expedição direta para canteiro de obra ou para estocagem final (pátio) em fábrica. No entanto outros *layout's* são possíveis e adequados, dependendo das condições do local. A figura 64 apresenta um desenho esquemático possível para layout de fábrica.



#### LEGENDA:

- 1 – Dosagem e mistura ; 2 – Transporte de concreto**
- 3 – Distribuição de concreto ; 4 – Preparação de pista**
- 5 – Aplicação de protensão ; 6 – Moldagem/Extrusão**
- 7 – Cura ; 8 – Corte ; 9 – Estocagem intermédia até estocagem em pátio**

Figura 64 – Desenho esquemático possível para layout de fábrica (Fonte: adaptado de [www.elematic.com](http://www.elematic.com) )

## 5.2 – EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS

A escolha dos equipamentos e acessórios adequados impacta na qualidade do produto final, não só a escolha do equipamento principal (extrusora ou moldadora), como de outros equipamentos e acessórios que auxiliam no processo de produção.

Em relação à escolha entre extrusora e moldadora, tem muito a ver com o tipo de mercado que a fábrica vai eleger como o seu mercado-alvo. Assim, se a escolha do empresário for a de fornecer sobretudo edifícios comerciais ou industriais com LACP de grandes vãos e cargas relativamente significativas, provavelmente o mais indicado seja a escolha de um equipamento de extrusão, onde a sua forma de alvéolos circulares e menor quantidade de concreto em nervuras por  $m^2$  de laje é a mais indicada para situações onde o momento fletor é o esforço condicionante nos pavimentos do edifício.

Já pelo contrário, se o mercado alvo da empresa for os edifícios residenciais de vãos de pequeno porte, e com carregamentos relativamente pouco significativos, a escolha mais correta sob o ponto de vista técnico será uma máquina moldadora, cujas LACP têm uma maior quantidade de concreto em nervuras, em virtude da forma alongada dos seus alvéolos, tornando-se assim ideais para responder a situações onde o esforço cortante nas lajes é o condicionante dos pavimentos. As máquinas extrusoras, e para seções equivalentes, gastam ainda um pouco menos de cimento que as moldadoras, fator a ter em conta, mas por outro lado fornecem LACP com um acabamento mais rugoso, o que pode significar mais necessidade de aplicação de revestimentos de superfície em argamassas. Evidentemente que depois a escolha também deve obedecer a critérios de preço (a máquina extrusora é mais cara), mas esses aspectos técnicos não podem ser desconsiderados. As máquinas extrusoras apresentam também custos de manutenção superiores.

Mas a escolha dos equipamentos que impactam na qualidade do produto, do processo e do serviço não se restringem às máquinas extrusoras ou moldadoras. Assim, haverá que decidir em optar por qual o sistema de transporte do concreto mais adequado à produção, entre os quatro principais sistemas anteriormente descritos. É certo que o mais caro é o sistema “fly” de transporte via aérea em trilhos, mas que é também o que permite maiores velocidades e capacidade de abastecimento/transporte, e conseqüentemente aquele que melhor resolve qualquer gargalo em termos de capacidade de resposta.

A escolha da central de concreto e do seu sistema abastecedor por baias em estrela ou por grandes caçambas em série munidas de esteiras na parte inferior é outro ponto a considerar (figura 65 e figura 66).

Ainda existe a escolha de equipamentos de auxílio para definição do comprimento de corte das LACP, a laser (mais caros mas que levam a uma qualidade bem superior), ou convencionais (mais baratos). Existem situações de unidades no país que usam processos de medição por trena, o que não é admissível para o grau de qualidade que se pretende no produto LACP.

As próprias pistas de protensão hoje em dia podem ser consideradas como um equipamento, em relação ao qual os gestores podem tomar as suas decisões mais apropriadas. A situação quase obrigatória, de executar leitos de pistas de protensão concretados em fábrica, revestidos por uma chapa metálica na sua superfície superior, sobre a qual é então concretada a pista, já não é obrigatória. Hoje em dia existem leitos para pistas de protensão autoportantes metálicos, fabricados por módulos, que

permitem rápidas montagens, desmontagens e transporte para local diferenciado de obra/produção, e que oferecem a mesma qualidade que os leitos de concreto tradicionais, revestidos superiormente por chapa metálica. Aí a escolha será ditada em função de critérios mais de caráter econômico do que técnicos, pois ambas as soluções equivalem-se em termos de planicidade.



Figura 65– Esteira rolante e baias de alimentação da central de usinagem  
(Fonte: Direitinho, 2014)

Os próprios equipamentos de movimentação de LACP em estoque, e de carregamento dos caminhões para expedição para o cliente, oferecem alternativas com capacidades de tempos de resposta perfeitamente diferenciadas. Embora não haja conhecimento da sua utilização no Brasil, onde o normal ainda é o transporte das LACP para colocação em posição final em pátio e carregamento dos caminhões para entrega ao cliente por empilhadores tradicionais, no Reino Unido, por exemplo, já existem soluções em que “super-empilhadores” carregam caminhões de uma só vez, movimentando em uma única vez duas pilhas de laje, as quais totalizam 2,5m de largura pelo comprimento total de carga do caminhão.

Um outro exemplo de equipamento/dispositivo que ajuda a melhorar a qualidade de acabamento (neste caso a rugosidade que se admita necessária) das LACP, é uma espécie de cilindro de pés de carneiro, sob a forma de tambor, e que pode ser acoplado na parte traseira, quer de extrusoras quer de moldadoras, provocando pequenos sulcos de apenas alguns milímetros de profundidade no concreto ainda fresco, os quais aumentam a rugosidade da superfície superior das LACP. O dispositivo, de fabrico nacional, está sendo testado.

Um outro dispositivo que foi desenvolvido com o intuito de melhorar o acabamento da superfície inferior das LACP e que acabou sendo incorporado nas

máquinas é um aparato que vai deixando cair uma minúscula película de água, quase pingando apenas, na sua parte frontal. À medida então que a máquina progride, a película de água assim criada, sobre o desmoldante, ajuda a dar um melhor acabamento à superfície inferior da LACP produzida, ao mesmo tempo que auxilia no deslizamento da máquina.



Figura 66– Caçamba de alimentação de extrusora/moldadora (Fonte: Direitinho, 2014)

Embora não se trate de um equipamento no sentido estrito do termo, mas algo de maior porte que ajuda na resolução de problemas logísticos na fábrica, destaca-se que na Bélgica já existe em prática uma solução para ajudar a minimizar as necessidades de estoques em LACP, em que se trabalha com várias pistas de protensão em simultâneo, e onde se faz o seguinte: produz-se uma pista de LACP projetada para suportar determinado nível de carregamento, uma outra para suportar um outro nível de carregamento diferente e assim sucessivamente. Tendo três ou quatro pistas de LACP então produzidas, procede-se à desprotensão, mas não ao corte dessas pistas. Só se começa a cortar as pistas de LACP à medida que as encomendas vão chegando, já com definição dos comprimentos de painel e das cargas resistentes necessárias. Isso reduz significativamente a necessidade de áreas de estoque.

Para concluir, ressalta-se que sejam quais forem os equipamentos e dispositivos, e para que estes cumpram a sua função de fornecer maior qualidade ao produto LACP, eles carecem de um cuidadoso plano de inspeção, manutenção e vistoria, que seja efetivamente realizado/cumprido. A ausência do cumprimento desses planos não apenas impacta na qualidade do produto como, dependendo dos casos, pode impactar fortemente nos custos (de avarias, reparações e outros). A título de exemplo, pode referir-se que a falta de verificação periódica da folga entre as pás

rotativas do tambor de uma central misturadora de concreto e as superfícies laterais do tambor cilíndrico pode dar origem a que, no caso de folga excessiva, um agregado de maior granulometria fique alojado entre a pá e o tambor, e ao rodar a pá danifique totalmente o sensor de umidade do concreto.

### 5.3 – O DESAFIO DA MUDANÇA DE MENTALIDADE

A mudança de mentalidade é certamente o maior dos desafios da Qualidade, e não é exclusivo do setor dos pré-fabricados, muito menos do segmento das LACP, é um assunto demasiado importante para o setor da construção civil.

Embora a Qualidade e a Gestão da Qualidade sejam domínios que já muito percorreram no seu caminho, nomeadamente tendo começado conceitualmente por ser apenas um conjunto de rotinas de inspeção final dos produtos, no sentido de avaliar a sua conformidade ou não para as funções a realizar ou satisfazer, e tendo evoluído para um conceito de Qualidade, que passou a ser tida muito mais como um conjunto de atividades preventivas, no sentido de impedir ou prevenir o aparecimento dos próprios erros (filosofia zero erros, da produção enxuta), até se chegar ao conceito da Qualidade Total, nenhuma dessas ferramentas e nenhuma das filosofias que lhe está subjacente é válida sem haver uma mudança da mentalidade dos próprios gestores das produções, neste caso das LACP.

Tendo abordado este assunto com vários consultores com conhecimento bastante alargado das situações, foi confirmado por eles que ainda nos tempos atuais o “empresário-padrão” continua privilegiando antes de tudo o lucro ou a poupança imediata, em vez de considerar o total da vida útil da produção. Ou seja, no fundo os gestores querem a Qualidade, mas grande parte das vezes não estão dispostos a pagar o seu custo inicial. E isso pode ser exemplificado por situações concretas, quais sejam:

- Na esmagadora maioria das situações, mesmo que para atender ao seu mercado-alvo o mais adequado fosse optar pela aquisição de uma extrusora em contraponto com uma moldadora, o referido empresário acaba adquirindo esta última, por ter um custo inicial de investimento mais baixo. No entanto a extrusora consome menos  $m^3$  de cimento por  $m^2$  de laje, o que gera menos passivo ambiental.

- Uma parte significativa dos terrenos onde estão instaladas fábricas de LACP foram escolhidos pelo seu custo inicial de investimento, e não por questões de logística;

- Os sistemas de transporte do concreto, desde as centrais de mistura até as pistas de protensão, é escolhido na maioria dos casos em função do seu custo de instalação, e não da produtividade que oferece;

- Por vezes opta-se pela não instalação de uma segunda central de concreto, não porque ela não fosse necessária e justificável em função da demanda, mas por questões de empate de capital;

- Muitas fábricas acabam não investindo em acessórios dos mais variados tipos, que lhes permitiriam atingir desempenhos maiores de Qualidade no seu produto, apenas por uma questão de poupança imediata.

Outras vezes a questão da mudança de mentalidade não passa em exclusivo por questões econômicas, mas por deficiência no fluxo de informação dentro da empresa, por uma “compartimentação” dentro dela. Como exemplo ilustrativo tem-se o seguinte: em grande parte dos casos, quando existe uma patologia ou uma falha no concreto produzido para uma laje, se for perguntado o porquê da situação ao laboratorista ele reduz a situação a uma questão de valor suficiente ou não de tensão de ruptura dos corpos de prova desse concreto à compressão, quando existem muitos outros fatores envolvidos, desde trabalhabilidade adequada, grau de umidade dos agregados, procedimentos de cura, e tantos outros. Ou seja, cada departamento da empresa valoriza os aspetos que mais lhe dizem respeito, ignorando os restantes.

#### **5.4 – CONTROLE COMO PALAVRA-CHAVE DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE LACP E GESTÃO DA QUALIDADE**

A presente dissertação é organizada mantendo como foco sempre o **processo de produção fabril** das LACP. Nessa perspectiva o enfoque não reside tanto nos processos de projeto, embora já tenha sido visto que estes estão, evidentemente, conectados com a produção. Existe no entanto uma palavra-chave que regula todos os processos de produção fabril de LACP e a gestão da qualidade desses processos. Essa palavra é **controle**. Controle de materiais, controle de mão de obra, controle de tempos, controle de aspetos econômicos, ambientais, sempre controle.

Nessa perspectiva, embora não caiba aqui desenvolver com o suficiente detalhe todos esses temas, torna-se evidente que todos os aspectos que contribuam para esse controle acabam contribuindo para a qualidade produtiva fabril das LACP. Cabe então referir de forma muito sumária os aspectos que contribuam para uma redução de desperdícios, e sustentabilidade.

A pessoa responsável pela produção na unidade fabril, ou em última análise responsável pela sua gestão global, deve desenvolver e munir-se de **ferramentas práticas** que lhe permitam ter, a cada instante, um controle eficaz dos desperdícios, impactos ambientais do processo fabril e gestão das equipes de trabalho.

No que se refere aos materiais, tempos e dinheiro empregados, esse controle acaba passando inevitavelmente pela comparação entre o previsto e o realizado, entre o teórico e o efetivamente gasto. Ferramentas tão simples quanto as folhas de excel podem e devem ser usadas para tais propósitos, quando por qualquer motivo a unidade fabril não disponha de sistemas informatizados de gestão da produção mais modernos e capazes (e também mais caros).

## 6 – VISITA A FÁBRICA E ENTREVISTA

Foi feita então no âmbito da presente pesquisa a visita a uma fábrica de LACP, na região de Ribeirão Preto. A unidade em questão foi especificamente escolhida em função de informações que haviam sido fornecidas por um outro “*player*” de mercado, atuando em uma outra vertente, e com grande conhecimento desse mercado. Esse outro “*player*” havia apontado a fábrica em questão como modelo do que seria uma instalação fabril de LACP com um *layout* corretamente planejado, o que veio a se confirmar.

É importante no entanto referir um dado relevante em relação à empresa visitada, que a difere da grande maioria das empresas fabricantes de LACP: mais de 60% da produção da empresa é produção própria, ou seja, a empresa atua não apenas como fornecedora para promotores imobiliários e construtores, como ela mesma constrói também os seus próprios empreendimentos. Isso pode permitir-lhe ter uma posição um pouco diferente das suas concorrentes, visto que o escoamento de grande parte da sua produção está à primeira vista garantido, desde que os empreendimentos que promove tenham sucesso comercial.

Quando o industrial vende as LACP a varejo, fica muito mais dependente do cliente, no que diz respeito ao controle de qualidade. Isso porque não controla o tempo que as LACP acabarão por ficar aguardando no pátio da fábrica, o que pode causar sérios problemas de contraflecha. Se produz essencialmente para si próprio, ele pode controlar muito mais a coordenação entre os prazos de entrega com os “*timings*” de produção, com os consequentes benefícios de qualidade. Ou seja, este é um claro exemplo de que a parte comercial (forma como o produto é vendido) afeta a qualidade da produção e acaba afetando a própria logística da fábrica (área para estocagem).



Figura 67– Vista geral da fábrica visitada (Fonte: Direitinho, 2014)

No caso da unidade fabril visitada (figura 67), as preocupações com o impacto do terreno sobre o Layout da fábrica, e conseqüentemente sobre as questões logísticas dessa fábrica, foram ao ponto de que os seus sócios haviam inicialmente adquirido um outro terreno para instalação da unidade, cuja configuração não era a mais adequada, e deram assim início ao processo de planejamento para implantação das instalações. Só que, cerca de oito meses depois, já prestes a iniciar a respectiva implantação, decidiram revender essa parcela de terreno inicialmente adquirida, em função de lhes ter surgido a oportunidade de adquirir um terreno com as condições de topografia, acessos e outras, próximas às ideais. Julga-se que uma minoria de empresários teria o arrojo de tomar uma decisão semelhante a essa, em face dos custos já tomados para o projeto, e acabariam por tomar o “passivo” de um *layout* inadequado. O terreno atual das instalações efetivas da fábrica, além de ser praticamente plano, permite-lhes entre outros aspectos ficar a 500m aproximados de uma via de faixa dupla, a Rodovia Anhanguera.

Além disso, segundo o entrevistado (um dos sócios), antes de partir para a implantação da fábrica, ainda na fase de planejamento, os dois sócios fizeram um périplo por um conjunto de países europeus, entre os quais Itália e Alemanha, para se aperceberem do “estado da arte” do setor na Europa, na época. Chegaram à conclusão de que eventualmente seria difícil de aplicar no Brasil o nível de desenvolvimento de formas que observaram, ou até o grau de automação que encontraram nesses países. Encararam a experiência como um aprendizado, segundo ele, e depois tentaram fazer uma conjugação dessa realidade visitada com os próprios problemas e a realidade com que eles sócios já se defrontavam no Brasil, numa outra fábrica que lhes pertencia, não exclusivamente produtora de LACP, mas de estruturas

pré-fabricadas em concreto no geral, na região de Franca. Referiu o sócio entrevistado na ocasião, que nas instalações de Franca não conseguia executar painéis pré-fabricados com alguma curvatura, em função do *layout* dessa unidade.



Figura 68– Trilho do trator de alimentação das pistas na fábrica visitada  
(Fonte: Direitinho, 2014)

O empresário referiu também como uma das principais dificuldades para o seu negócio, senão mesmo a principal, o custo do capital no Brasil. Assim, segundo ele, a taxa de juro de investimento cobrada pelas entidades financiadoras (bancos), no Brasil, ainda é suficientemente alta para condicionar as soluções de imobilizado (grandes equipamentos e ferramentas) que a empresa possa efetivamente adquirir, embora essa situação já tenha sido bastante pior no passado. Isso faz com que o valor do imobilizado na produção tenha que ser minimizado ao máximo, limitando severamente o grau de automação da fábrica. As taxas de juro cobradas acabam tendo um peso muito grande na composição de preços do produto final (e conseqüentemente sobre o seu preço final também). Ou seja, muitas vezes a limitação com que o empresário se defronta é: qual o preço que eu vou ter que pagar por um aumento do nível de racionalização e do nível de mecanização dentro da minha fábrica? Chegou a comentar que muitas vezes as taxas de juro cobradas levam a que o empresário não consiga nem ter uma central de produção de concreto usado “decente” (suas próprias palavras).

Afirmou ainda que, e apesar de sua empresa ser tida no setor como uma empresa modelo em termos de eficiência, mesmo com toda essa eficiência não conseguia aumentar os seus investimentos em automação na empresa, visto que a sua lucratividade andava em torno de 12% (não chegava exatamente a isso, até), o

que ficava abaixo dos 14% que era o juro que teria que pagar por investimento industrial, até bem poucos anos atrás.

Um outro aspecto importante referido pelo empresário é o de que, no setor dos pré-fabricados de concreto, a racionalização, o aumento de eficiência do processo de produção industrial evolui de forma contínua, mas com gradientes de melhoria na racionalização/produktividade cada vez menores, até que chega a um determinado estágio em que um novo “salto” significativo de racionalização e eficiência só pode ser conseguido através de uma nova concepção do produto (pressupostamente uma alteração na concepção, no projeto ou no desenvolvimento do produto).

Feita a pergunta ao industrial acerca de qual tinha sido a razão que o tinha levado a optar por uma máquina moldadora em vez de uma extrusora, a sua resposta foi a de que não tinha sido o acréscimo de preço da extrusora, que considerava pouco significativo, mas sim o perfil/composição das suas vendas. Como as suas vendas a varejo não são/eram significativas em relação ao global, como a sua produção abastecia essencialmente projetos próprios, a moldadora permitia-lhe uma flexibilidade muito maior. A mesma máquina permite-lhe produzir lajes com diferentes alturas/espessuras, enquanto uma extrusora não. E que a mudança de pequenos componentes na moldadora também saía mais econômica, mesmo considerando por outro lado que esta o obrigava a um consumo de cimento um pouco maior. Se ele de repente precisasse fabricar estacas, embora estacas na sua opinião fossem um produto de baixo valor agregado (na sua opinião só valeria a pena produzir estacas se lhes pudesse agregar valor com geometrias inusitadas, por exemplo), com pequenas modificações na sua máquina poderia fazê-lo, já com a extrusora não. A extrusora obrigaria a ter uma demanda de produto orientada à escala, o que não era o seu objetivo. Todas essas decisões, disse, têm que estar contempladas no plano de negócios.

Um outro aspecto importante, referido pelo industrial entrevistado, foi o de que para se fazer desenvolvimento de produto é preciso estarem presentes dois fatores: antes de mais nada a necessidade (pelo produto), e por outro lado estar atento à realidade construtiva. Ou seja, tem que se ter um conhecimento profundo acerca de qual é o problema. Além disso, claro que identificado o problema, tem que haver o domínio teórico necessário para resolver o problema. E na opinião do empresário entrevistado, muitas vezes falta essa estrutura nas empresas, ou quando a tem, não tiram proveito dela, porque quem faz a ponte entre esses vários fatores necessários à identificação e resolução do problema (desenvolvimento do produto) não é uma pessoa, são várias pessoas, são vários departamentos separados entre si, e entre os

quais a informação não flui. O indivíduo que está pensando no projeto, no desenvolvimento do produto, não captou eficazmente o valor agregado de determinado fator ou variável. Chegando a este ponto, a pergunta natural seguinte foi: e porque é que a informação não flui entre os vários setores da empresa? A primeira resposta foi de que simplesmente não havia ninguém que reunisse todos os conhecimentos necessários. Confrontado com a pergunta seguinte, se isso não se devia também a disputas corporativas dentro da empresa, o industrial acabou reconhecendo que sim. Acrescentou ainda que muitas vezes, dentro das empresas, no país, neste caso empresas do setor de LACP, existe uma cultura errada de que quando surge uma falha, o foco em vez de ser descobrir porque é que a falha surgiu, acaba sendo mais identificar o indivíduo ou o grupo de indivíduos responsáveis pela falha, ou seja, a cultura de ter que culpar alguém.



Figura 69– Etiquetagem/rastreamento interno dos produtos na fábrica visitada (Fonte: Direitinho, 2014)

Uma outra coisa importante referida pelo industrial, quando lhe foi perguntado se ele orçamentava (venda ao cliente) o concreto pré-fabricado da sua unidade por  $m^3$  de concreto, ele respondeu que não, que orçamentava por obra, dando a entender que o preço de venda do seu produto variava em função do nível de complexidade/dificuldade oferecida por cada obra. Julga-se que este é um dos fatores que diferencia a postura comercial do industrial em questão da grande maioria dos demais no setor. Ele disse que possuía um parâmetro de preço por  $m^3$ , mas que esse parâmetro era muito elástico. Completou ainda afirmando que a maioria dos clientes resiste a pagar mais por  $m^3$  de concreto pré-fabricado fornecido em função de um acréscimo de dificuldade da obra, mas que cabe ao industrial/fabricante fazer a defesa desse valor. Ou até a defesa de outros valores agregados fornecidos como: o valor da

segurança, o valor da confiabilidade, o valor do prazo de entrega, todos esses valores agregados cabem ser precificados pelo industrial, num determinado produto que esteja fornecendo.

Tendo sido confrontado com a pergunta de como é que se consegue comunicar ao cliente, fazer a defesa desses valores agregados no produto, ele acabou afirmando que a maioria dos efetivos comerciais não dispõe do background de engenharia que lhe permita fazer isso, e que, chegando a essa conclusão, ele e o seu sócio, em 2005, fizeram uma reunião onde concluíram e decidiram que, ou eles mudavam o modelo comercial da empresa deles ou teriam que fechar as portas. E desde 2005 até ao presente ano, gradativamente, uma estrutura de quatro engenheiros comerciais foi sendo desmantelada, e a parte comercial da empresa foi assumida por ele próprio. Ele chegou à conclusão que o seu próprio setor comercial era incapaz de definir valor. E complementou dando o exemplo de uma situação prática: a sua empresa fornecia pré-fabricados para um conjunto de obras de centrais cogeneradoras de energia. Obras essas vultuosas em termos de orçamento, com prazos apertados, onde a parte de construção civil representava cerca de 10% do valor total de cada obra, mas sendo que todas as respectivas atividades estavam incluídas no caminho crítico das obras. Cada obra custava mais de 100.000.000\$USD, portanto a parte civil representava “apenas” 10.000.000\$USD. Só que, para o cliente, prazo era fundamental. A empresa do industrial entrevistado acabou fornecendo a esmagadora maioria das centrais cogeneradoras de energia do estado de São Paulo, com um preço diferenciado para o seu produto, porque ele foi capaz de vender ao cliente o valor agregado confiabilidade no prazo de entrega.

Aí a pergunta seguinte foi a de como é que o industrial conseguiria “pensar” valor para uma LACP, ao que ele respondeu que considerava as LACP numa perspectiva de “*commoditie*” (soja, energia elétrica, gás, trigo, carne bovina, etc.), e que ele não pensa nesses termos, ele pensa na obra como um todo. E justificou a sua posição afirmando o seguinte: suponhamos o mercado dos galpões industriais, com as suas típicas vigas em perfis do tipo “I”, terças em perfis do tipo “T”, etc. Esse mercado, disse, era um mercado que não lhe interessava, porque é um mercado com baixo valor agregado, um mercado que tem um nível de concorrência muito grande, e com os preços jogados para baixo. Não é nesse tipo de mercado que queria atuar, o mercado que lhe interessava fornecer, e quando é assim ele simplesmente não concorre. Ou ele consegue colocar “engenharia” nas obras que vende ou não concorre.



Figura 70– Zona de pré-estocagem das LACP na fábrica visitada (Fonte: Direitinho, 2014)

O pesquisador perguntou então: “...mas se surge uma obra de um galpão com LACP o senhor não fornece?”. Respondeu então que galpões especificamente com LACP só fornece as respectivas lajes se forem obras próprias. E terminou dizendo que considerava perfeitamente legítimo que grande parte dos clientes resistissem a pagar o valor agregado do seu produto, mas que era igualmente legítimo ele defendê-lo e querer ser pago por isso. E que já recusara e continuava a recusar o fornecimento de obras por questões de preço, por vezes com diferenças da ordem de 5%, face à concorrência. Só que 5% é muito, frisou, para a estrutura de custos da minha empresa, na qual a minha lucratividade não atinge 12%. Ele não quer ser reconhecido pelo mercado como a empresa que tem o melhor preço, mas eventualmente quer ser reconhecido como aquele que apresenta a solução, pressupostamente técnica ou de concepção de produto, que os concorrentes não apresentam. Ao que lhe foi perguntado se essa sua postura havia sido definida logo no momento de criação da empresa. Respondeu que não, que se tratava de uma postura que havia sido construída com o passar do tempo.

Observado que a fábrica visitada tinha as baias dos agregados cobertas, foi-lhe perguntado porque decidira investir na instalação de uma cobertura para esse tipo de materiais, ao que respondeu que tinha sido um aprendizado que havia trazido de uma outra unidade fabril que possuía em Franca, na qual sempre que chovia a situação se tornava impraticável, onde os traços das primeiras misturas da central sempre se revelavam inadequados. Nunca conseguiam acertar na trabalhabilidade do respectivo concreto, os valores de *fck* dos respectivos corpos de prova apresentavam sempre

desvios padrão enormes, e como se pretendia um controle absoluto sobre o concreto, precisou-se quanto custava a instalação da cobertura das baias. E decidiu-se desse modo. E referiu mais, que trabalhavam com concretos pigmentados, na produção dos quais se tornaria impraticável trabalharem com baias descobertas.

Perguntou-se em seguida ao industrial se ele não tinha problemas relativos a LACP que acabam por ficar tempo excessivo em pátio da fábrica por atrasos da obra, gerando contra flechas inadmissíveis, e se sim, como é que ele resolvia essas situações com o cliente, se era por meio de cláusulas previstas em contrato (ou seja, se passava o ônus para o cliente por via contratual). Afirmou que não, e por dois motivos: o primeiro é que, por via de regra, quando contratava uma obra com o cliente, na esmagadora maioria das vezes era a sua empresa que assumia o fornecimento de toda a estrutura da obra, ficando portanto responsável pelo prazo de execução da obra. Quando não era assim, ele próprio preferia assumir o custo de protender também as LACP na sua face superior, para que esses problemas de contraflechas não assumissem proporções inaceitáveis. Ou então e em alternativa, podendo, trocava o fornecimento das lajes que estavam inicialmente destinadas ao cliente “A” pelas de um cliente “B”, gerindo dessa maneira, de uma forma mais eficaz, os tempos de permanência do produto no pátio. E disse que além disso, tinha o hábito “sagrado” de promover reuniões e controle de produção todas as sextas-feiras, onde eram revistas ao pormenor todas as programações e correspondentes evoluções em obra, de todas as construções que estavam em fornecimento.

Disse ainda que considerava também fundamental acertar na escolha das pessoas adequadas ao preenchimento de cada função dentro da empresa, dando o exemplo de que a sua unidade possuía um Engenheiro exclusivamente dedicado ao controle de qualidade do concreto, e voltou a destacar que provavelmente por isso na sua fábrica se conseguiam desvios padrões de *fck* entre as misturas consecutivas da ordem dos 0,2 MPa, e que também havia contratado um Engenheiro de planejamento bastante competente, vindo da Embraer, que já tinha, por isso, uma visão de indústria, de processos, de pessoas, não tanto do concreto, mas que isso também não se tornava necessário, no caso.

Foi também perguntado ao industrial se tinha implementado algum tipo especial de rastreabilidade dos seus produtos, do tipo chip eletrônico incorporado ou outro, ao que respondeu que não, que internamente fazia a rastreabilidade da produção via código de barras, e externamente usando um código alfanumérico nas peças, mas que por isso mesmo é que considerava importante que os 0,2 MPa de desvio padrão no *fck* de misturas consecutivas de concreto fosse conseguido.

Foi-lhe perguntado também se tinha alguma sequência de procedimentos de controle de qualidade com periodicidade estandardizada, em função do processo que estava a ser executado, ao que respondeu que tinha um conjunto de *check-list's* próprias adequadas a cada situação, a cada processo, *check-list's* essas que envolviam todos os processos produtivos, e que incluíam desde *check-list's* de inspeção visual a escorregamento de cordoalhas, e outras. Disse ainda que esse era um trabalho que deveria ser executado, na sua opinião, por jovens, pois estes se revelavam mais pacientes, mais disciplinados, mais metódicos, e que esse era um aprendizado que retirara dos seus anos de experiência como industrial, da mesma forma que chegara à conclusão de que os trabalhos de reparação de pequenos defeitos nas peças eram melhor executados por mulheres, que se revelavam mais detalhistas.

Foi-lhe perguntado ainda como procedia na medição dos comprimentos de corte das peças, se era por sistema a laser ou algo equivalente, ao que respondeu que não, que usavam réguas metálicas específicas com marcação apenas em centímetros e sem os múltiplos inteiros exatos de metros, ou então réguas de materiais poliméricos.

Questionado acerca dos principais cuidados de controle de qualidade no içamento das peças, referiu que o mais primordial, para ele, era a observação rigorosa das distâncias máximas dos pontos de içamento relativamente às extremidades, seguido de cuidados específicos no empilhamento das peças, e a utilização de cabos que não as danificassem. Referiu que ainda assim era quase inevitável que, de vez em quando, surgisse um ou outro problema relacionado com pequenos danos, derivado da utilização das garras metálicas.

## 7 – CHECK-LIST's COMO FERRAMENTAS DE CONTROLE DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO DE LACP

Embora não sejam as únicas possíveis, as check-list's podem ser uma ferramenta extremamente prática e eficaz para controlar os aspectos de qualidade a ter em conta ao longo de todo o processo de produção fabril de uma unidade de LACP. Nesse sentido, desenvolveram-se ao longo desta dissertação algumas, de forma a que possam ser aplicadas, as quais serão apresentadas a seguir.

### 7.1 – CHECK-LIST's PARA CONTROLE DO RECEBIMENTO E ARMAZENAMENTO DE MATERIAIS

#### 7.1.1 – CIMENTO

R. DIREITINHO	FICHA DE CONTROLE DE RECEBIMENTO			DATA:	__/__/__
PPGECIV 2013/2015	E ARMAZENAMENTO DE				
UFSCAR	CIMENTO				
FORNECEDOR:				CNPJ	
LOCALIDADE DO FORNECEDOR:				(ESTADO)	
	(CIDADE)				
FORNECIMENTO:	A GRANEL <input type="checkbox"/>	EM SACOS <input type="checkbox"/>			
TIPO DE CIMENTO:	CONFORME <input type="checkbox"/> ; NÃO CONFORME <input type="checkbox"/>				
QUANT. TOTAL DA ENCOMENDA:				SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>	
QUANT. EM EXCESSO OU EM FALTA:					
COND. CLIMATÉRICAS:	SOL <input type="checkbox"/> ; NUBLADO <input type="checkbox"/> ; CHUVA <input type="checkbox"/>				
INSPEÇÃO VISUAL DO PRODUTO:	CONFORME <input type="checkbox"/> ; NÃO CONFORME <input type="checkbox"/>				
ARMAZENAMENTO:	ALMOXARIFADO <input type="checkbox"/>	SILOS <input type="checkbox"/>			
CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO:	TEMPERATURA		°C	HUMIDADE	%
<b>AMOSTR/ENSAIOS NO RECEBIMENTO</b>					
	RECOLHA DE AMOSTRAS:	SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>			
	REFERÊNCIAS DAS AMOSTRAS:				
	DESIG. DO ENSAIO EXPEDITO:				; APROVADO <input type="checkbox"/> ; REJEITADO <input type="checkbox"/>
	DESIG. DO ENSAIO EXPEDITO:				; APROVADO <input type="checkbox"/> ; REJEITADO <input type="checkbox"/>
	MOTIVOS DA REJEIÇÃO:				
RESPONSÁVEL:					
	(ASSINATURA)				

## 7.1.2 – AGREGADOS

R. DIREITINHO		FICHA DE CONTROLE DE RECEBIMENTO E ARMAZENAMENTO DE AGREGADOS			DATA:	__/__/__
PPGECIV 2013/2015						
UFSCAR						
FORNECEDOR:					CNPJ	
LOCALIDADE DO FORNECEDOR:					(ESTADO)	
		(CIDADE)				
TIPO DE AGREGADO:		BRITAS BRITA Nº 1 ( ) ; BRITA Nº 2 ( ) ; BRITA Nº 3 ( ) ; BRITA Nº 4 ( ) ; BRITA Nº 5 ( )				
		AGREGADOS GRAÚDOS ROLADOS SEIXO ( ) ; GODO ( ) ; OUTRO ( )			(DESCRIÇÃO)	
		AREIAS GROSSA ( ) ; MÉDIA ( ) ; FINA ( )				
QUANT. TOTAL DA ENCOMENDA:					SIM ( ) ; NÃO ( )	
QUANT. EM EXCESSO OU EM FALTA:						
COND. CLIMATÉRICAS:		SOL ( ) ; NUBLADO ( ) ; CHUVA ( )				
ASPETO VISUAL:		LIMPO ( ) ; SUJO ( )				
DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS IMPUREZAS:						
ARMAZENAMENTO:		BAIAS COBERTAS ( ) ; BAIAS DESCOBERTAS ( )				
<b>AMOSTR/ENSAIOS NO RECEBIMENTO</b>						
		RECOLHA DE AMOSTRAS: SIM ( ) ; NÃO ( )				
		REFERÊNCIAS DAS AMOSTRAS: _____				
		ENSAIO EXPEDITO: SIM ( ) ; NÃO ( )				
		DESIG. DO ENSAIO EXPEDITO: _____ ; APROVADO ( ) ; REJEITADO ( )				
		MOTIVOS DA REJEIÇÃO: _____				
RESPONSÁVEL:						
		(ASSINATURA)				

## 7.1.3 – ADITIVOS E ADIÇÕES

R. DIREITINHO		FICHA DE CONTROLE DE RECEBIMENTO E ARMAZENAMENTO DE ADITIVOS E ADIÇÕES			DATA:	__/__/__
PPGECIV 2013/2015						
UFSCAR						
FORNECEDOR:					CNPJ	
LOCALIDADE DO FORNECEDOR:					(ESTADO)	
		(CIDADE)				
TIPO DE ADITIVO OU ADIÇÃO		PLASTIFIC. ( ) ; SUPERPLASTIFIC. ( ) ; RETARD. DE PEGA ( ) ; INTRODUT. DE AR ( )				
		ACELERADOR DE PEGA ( ) ; HIDRÓFUGO ( ) ; OUTRO ( )			(DESCRIÇÃO)	
MÁRCA E DESIGNAÇÃO COMERCIAL:						
FORNECIMENTO:		A GRANEL ( ) ; BIDÕES DE 200litros ( ) ; BALDES ( )				
QUANT. TOTAL DA ENCOMENDA:					SIM ( ) ; NÃO ( )	
QUANT. EM EXCESSO OU EM FALTA:						
COND. CLIMATÉRICAS:		SOL ( ) ; NUBLADO ( ) ; CHUVA ( )				
COND. DA EMBALAGEM/RECIPIENTE:		BOAS ( ) ; INADEQUADAS ( )				
INSPEÇÃO VISUAL DO PRODUTO:		CONFORME ( ) ; NÃO CONFORME ( )				
ARMAZENAMENTO:		ALMOXARIFADO ( ) ; SILOS ( )				
CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO:		TEMPERATURA	°C	HUMIDADE	%	
<b>AMOSTR/ENSAIOS NO RECEBIMENTO</b>						
		RECOLHA DE AMOSTRA SIM ( ) ; NÃO ( )				
		REFERÊNCIAS DAS AMOSTRAS: _____				
		DESIG. DO ENSAIO EXPEDITO: _____ ; APROVADO ( ) ; REJEITADO ( )				
		DESIG. DO ENSAIO EXPEDITO: _____ ; APROVADO ( ) ; REJEITADO ( )				
		MOTIVOS DA REJEIÇÃO: _____				
RESPONSÁVEL:						
		(ASSINATURA)				

## 7.1.4 – AÇO DE PROTENSÃO

R. DIREITINHO PPGECIV 2013/2015 UFSCAR	FICHA DE CONTROLE DE RECEBIMENTO E ARMAZENAMENTO DE AÇO DE PROTENSÃO		DATA: ____/____/____
FORNECEDOR:			CNPJ
LOCALIDADE DO FORNECEDOR:	(CIDADE)	(ESTADO)	
RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA LIMITE À TRAÇÃO: _____			
FORNECIMENTO:	EM BOBINES ( <input type="checkbox"/> ); OUTRO ( <input type="checkbox"/> ) _____		
COMPRIMENTO TOTAL DA BOBINE:	_____ m		
QUANTIDADE TOTAL DE BOBINES DA ENCOMENDA: _____; QUANTIDADE DE BOBINES EM EXCESSO OU EM FALTA: _____			
CORDOALHAS ( <input type="checkbox"/> ); Nº DE FIOS DA CORDOALHA _____; FIOS ISOLADOS ( <input type="checkbox"/> )			
REFERÊNCIA TÉCNICA/COMERCIAL DO AÇO: _____			
ASPETO VISUAL: COM CORROSÃO ( <input type="checkbox"/> ); SEM CORROSÃO ( <input type="checkbox"/> )			
COND. CLIMATÉRICAS: SOL ( <input type="checkbox"/> ); NUBLADO ( <input type="checkbox"/> ); CHUVA ( <input type="checkbox"/> )			
ARMAZENAMENTO:	ALMOXARIFADO ( <input type="checkbox"/> );	A DESCOBERTO ( <input type="checkbox"/> )	
CONDIÇÕES DO ALMOXARIFADO:	TEMPERATURA _____ °C	HUMIDADE _____ %	
IMPEDIDO O CONTATO DO AÇO COM O SOLO: SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )			
<b>AMOSTR/ENSAIOS NO RECEBIMENTO</b>			
RECOLHA DE AMOSTRAS:		SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )	
REFERÊNCIAS DAS AMOSTRAS: _____			
ENSAIO EXPEDITO: SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )			
DESIG. DO ENSAIO EXPEDITO:		_____ ; APROVADO ( <input type="checkbox"/> ); REJEITADO ( <input type="checkbox"/> )	
MOTIVOS DA REJEIÇÃO: _____			
RESPONSÁVEL:	(ASSINATURA)		

## 7.2 – CHECK-LIST PARA DOSAGEM E MISTURA DO CONCRETO

R. DIREITINHO PPGECIV 2013/2015 UFSCAR	FICHA DE CONTROLE DE DOSAGEM E MISTURA DE CONCRETO		DATA: ____/____/____
COND. CLIMATÉRICAS: SOL ( <input type="checkbox"/> ); NUBLADO ( <input type="checkbox"/> ); CHUVA ( <input type="checkbox"/> )			
N.º DA AMASSADURA: _____; RECEITA/COMPOSIÇÃO: _____; TEMPO DE AMASSADURA: _____;			
TIPO DE LACP: _____; SATURA DO CONCRETO FRESCO: _____ °C			
QUANTIDADES PRETENDIDAS PARA CADA UM DOS MATERIAIS NA COMPOSIÇÃO	BRITA N.º 1: _____; BRITA N.º 2: _____; BRITA N.º 3: _____; BRITA N.º 4: _____; BRITA N.º 5: _____		
	SEIXO: _____; GODO: _____; OUTRO ( <input type="checkbox"/> ): _____		
	AREIA GROSSA: _____; AREIA MÉDIA: _____; AREIA FINA: _____		
	CIMENTO: _____; TIPO E CIMENTO: _____		
	ÁGUA: _____		
QUANTIDADES EFETIVAMENTE USADAS NA MISTURA	PLASTIFICANTE: _____; SUPERPLASTIFICANTE: _____;		
	ACELERADOR DE PEGA: _____; RETARDADOR DE PEGA: _____;		
	INTRODUTOR DE AR: _____; HIDRÓFUGO: _____		
	OUTRO: _____ QUANTIDADE: _____		
	BRITA N.º 1: _____; BRITA N.º 2: _____; BRITA N.º 3: _____; BRITA N.º 4: _____; BRITA N.º 5: _____		
SEIXO: _____; GODO: _____; OUTRO ( <input type="checkbox"/> ): _____			
AREIA GROSSA: _____; AREIA MÉDIA: _____; AREIA FINA: _____			
CIMENTO: _____; TIPO E CIMENTO: _____			
ÁGUA: _____			
PLASTIFICANTE: _____; SUPERPLASTIFICANTE: _____;			
ACELERADOR DE PEGA: _____; RETARDADOR DE PEGA: _____;			
INTRODUTOR DE AR: _____; HIDRÓFUGO: _____			
OUTRO: _____ QUANTIDADE: _____			
UMIDADE DOS AGREGADOS NAS BAIAS: CONFORME ( <input type="checkbox"/> ); NÃO CONFORME ( <input type="checkbox"/> )			
ABATIMENTO PRETENDIDO: _____; CONFORME ( <input type="checkbox"/> ); NÃO CONFORME ( <input type="checkbox"/> )			
RELAÇÃO A/C PRETENDIDA: _____; CONFORME ( <input type="checkbox"/> ); NÃO CONFORME ( <input type="checkbox"/> )			
F <sub>ck</sub> PRETENDIDO AOS 28 DIAS: _____; RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PRETENDIDA AOS 28 DIAS: _____			
SEGREGAÇÃO: SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )			
ENSUDAÇÃO: SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )			
ASPETO VISUAL DO CONCRETO: ADEQUADO ( <input type="checkbox"/> ); INADEQUADO ( <input type="checkbox"/> )			
<b>AMOSTRAGEM/ENSAIOS</b>			
RECOLHA DE AMOSTRAS:		SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )	
REFERÊNCIAS DAS AMOSTRAS: _____			
ENSAIO EXPEDITO: SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )			
DESIG. DO ENSAIO EXPEDITO:		_____ ; APROVADO ( <input type="checkbox"/> ); REJEITADO ( <input type="checkbox"/> )	
MOTIVOS DA REJEIÇÃO: _____			
RESPONSÁVEL:	(ASSINATURA)		

### 7.3 – CHECK-LIST PARA CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO PRODUZIDO

R. DIREITINHO PPGECIV 2013/2015 UFSCAR		FICHA DE CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO PRODUZIDO								DATA: ___/___/___	
COND. CLIMATÉRICAS DA CONCRETAGEM: NUBLADO (___); CHUVA (___)											
COND. CLIMATÉRICAS DOS ENSAIOS: NUBLADO (___); CHUVA (___)											
Nº DA AMASS.: _____ RECEITA/COMPOSIÇÃO: _____											
TIPO DE LACP: _____ BATERIA DO CONCRETO FRESCO: _____ °C											
VALOR MÁXIMO PERMITIDO PARA O SLUMP: _____											
AMOSTRA 1: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)											
AMOSTRA 2: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)											
AMOSTRA 3: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)											
HIPÓTESES PARA AS NÃO CONFORMIDADES APRESENTADAS:											
DIÂMETRO DOS CILINDROS: _____											
Nº CILINDRO	fck REQUERIDO	DATA FABRICO	DATA ENSAIO	IDADE (HORAS)	IDADE (DIAS)	MASSA PROVETE	FORÇA COMPR.	TENSÃO ROT.	CONF.	N. CONF.	
OBSERVAÇÕES:											
DIÂMETRO DOS CILINDROS: _____											
Nº CILINDRO	fck REQUERIDO	DATA FABRICO	DATA ENSAIO	IDADE (HORAS)	IDADE (DIAS)	MASSA PROVETE	COMPR. DIÂMETR.	TENS. ROT. TRAÇÃO	CONF.	N. CONF.	
OBSERVAÇÕES:											
RESPONSÁVEL: _____ (ASSINATURA)											

### 7.4 – CHECK-LIST PARA CONTROLE DE QUALIDADE DOS TRABALHOS PREPARATÓRIOS DA CONCRETAGEM DA PISTA DE LACP

R. DIREITINHO PPGECIV 2013/2015 UFSCAR		FICHA DE CONTROLE DE QUALIDADE NA EXECUÇÃO DE TRABALHOS PREPARATÓRIOS DO FABRICO DE LACP								DATA: ___/___/___	
- TESTE DO PERFEITO FUNCIONAMENTO DA EXTRUSORA/MOLDADORA ANTES DO INÍCIO DA CONCRETAGEM: SIM (___); NÃO (___)											
- PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO QUE CONSTAM DO MANUAL DA EXTRUSORA/MOLDADORAS EFETUADOS: SIM (___); NÃO (___)											
- FIOS E CORDOALHAS SEM OXIDAÇÃO: SIM (___); NÃO (___)											
- FIOS/CORDOALHAS SEM EMENDAS: SIM (___); NÃO (___)											
- CONES DE ANCORAGEM E CUNHAS LIMPOS E LUBRIFICADOS: SIM (___); NÃO (___)											
- SUPERFÍCIE SUPERIOR DO LEITO DA PISTA COM FERRUGEM: SIM (___); NÃO (___); REPARAÇÃO EFETUADA: SIM (___); NÃO (___)											
- SUPERFÍCIE SUPERIOR DO LEITO DA PISTA DANIFICADO: SIM (___); NÃO (___); REPARAÇÃO EFETUADA: SIM (___); NÃO (___)											
- VARREDURA PRÉVIA DA PISTA DE PROTENSÃO: SIM (___); NÃO (___)											
- APLICAÇÃO DE DESMOLDANTE NA PISTA DE PROTENSÃO: SIM (___); NÃO (___)											
- INEXISTÊNCIA DE MATERIAIS ESTRANHOS NA PISTA: SIM (___); NÃO (___)											
- Nº E BITOLAS DE FIOS/CORDOALHAS DE ACORDO COM O PROJETO: SIM (___); NÃO (___)											
- FIOS/CORDOALHAS NAS POSIÇÕES ESPECIFICADAS EM PROJETO: SIM (___); NÃO (___)											
- INEXISTÊNCIA DE DESMOLDANTE E OUTROS MATERIAIS ESTRANHOS (ÓLEO, GRAXA, OUTROS) NOS FIOS/CORDOALHAS: SIM (___); NÃO (___)											
- COLOCAÇÃO DE PROTEÇÕES EM REDE METÁLICA NOS TOPOS E LATERAIS DA PISTA: SIM (___); NÃO (___)											
- VALOR DE PROTENSÃO DE ACORDO COM O ESPECIFICADO EM PROJETO: SIM (___); NÃO (___)											
- INTERRUÇÃO DE CIRCULAÇÃO E PESSOAS E QUALQUER TRÁFEGO ESTRANHO AOS TRABALHOS, JUNTO DA PISTA: SIM (___); NÃO (___)											
OBSERVAÇÕES:											
RESPONSÁVEL: _____ (ASSINATURA)											

## 7.5 – CHECK-LIST PARA CONTROLE DE CONCRETAGEM DA PISTA

R. DIREITINHO	FICHA DE CONTROLE			DATA:
PPGECIV 2013/2015	DE CONCRETAGEM DA PISTA			__/__/__
UFSCAR				
CONCRETAGEM DA PISTA: A COBERTO <input type="checkbox"/> ; A DESCOBERTO <input type="checkbox"/>				
CONDIÇÕES CLIMATÉRICAS: SOL <input type="checkbox"/> ; NUBLADO <input type="checkbox"/> ; CHUVA <input type="checkbox"/>				
TEMPERATURA AMBIENTE APROXIMADA: _____ °C ; TIPO DE LAJE CONCRETADA: _____				
INTERRUPÇÃO DA CONCRETAGEM DA PISTA: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
Nº DAS AMASSADURAS EM QUE HOUE INTERRUPÇÃO (ÕES): _____				
MOTIVOS DAS INTERRUPÇÕES: _____				
- PERÍODO MÁXIMO DE 40min ENTRE O FINAL DA MISTURA E A APLICAÇÃO DO CONCRETO EM PISTA: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- VELOCIDADE DE ABASTECIMENTO CALIBRADA COM A VELOCIDADE DE PROGRESSÃO DA EXTRUSORA/MOLDADORA: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- INEXISTÊNCIA DE ESTRIAS NO CONCRETO: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- INEXISTÊNCIA DE ONDULAÇÕES NA SUPERFÍCIE SUPERIOR DO CONCRETO: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- FUNCIONAMENTO PERFEITO DOS GUIA-FIOS DURANTE A CONCRETAGEM: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- FACAS/TUBOS FUNCIONANDO PERFEITAMENTE: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- ENERGIA DE COMPACTAÇÃO CORRETAMENTE CALIBRADA: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- RETIRADOS OS PROVETES PARA ENSAIOS NO CONCRETO: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- REFERÊNCIAS DOS PROVETES RETIRADOS: _____				
OBSERVAÇÕES:				
RESPONSÁVEL:				
(ASSINATURA)				

## 7.6 – CHECK-LIST PARA CONTROLE DE CURA, DESPROTENSÃO E CORTE DAS LACP

R. DIREITINHO	FICHA DE CONTROLE			DATA:
PPGECIV 2013/2015	DE CURA, DESPROTENSÃO E CORTE DE LACP			__/__/__
UFSCAR				
CURA	TIPO DE LACP: _____			
- COMPLETO ENVOLVIMENTO DA PISTA DE LACP PELA LONA: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- INTERVALO MÁXIMO DE 2 HORAS ATÉ O INÍCIO DO AQUECIMENTO: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- POSICIONAMENTO UNIFORME DOS PONTOS DE SAÍDA DO VAPOR: CONFORME <input type="checkbox"/> ; NÃO CONFORME <input type="checkbox"/>				
- POSICIONAMENTO UNIFORME DOS PONTOS DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA: CONFORME <input type="checkbox"/> ; NÃO CONFORME <input type="checkbox"/>				
- CONTROLE DOS NÍVEIS DE UMIDADE DURANTE A CURA: CONFORME <input type="checkbox"/> ; NÃO CONFORME <input type="checkbox"/>				
- TEMPO TOTAL DO CICLO DE CURA: CONFORME <input type="checkbox"/> ; NÃO CONFORME <input type="checkbox"/>				
- CONTROLE DA VELOCIDADE DE INCREMENTO DE TEMPERATURA: CONFORME <input type="checkbox"/> ; NÃO CONFORME <input type="checkbox"/>				
- CONTROLE DO VALOR DE TEMPERATURA MÁXIMA: CONFORME <input type="checkbox"/> ; NÃO CONFORME <input type="checkbox"/>				
- INTERVALO DE MANUTENÇÃO DE TEMPERATURA MÁXIMA ENTRE 6 A 8 HORAS: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- CONTROLE DA VELOCIDADE DE ARREFECIMENTO DA LAJE: CONFORME <input type="checkbox"/> ; NÃO CONFORME <input type="checkbox"/>				
DESPROTENSÃO				
- PROVETES SUBMETIDOS ÀS MESMAS CONDIÇÕES DE CURA DAS LACP: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- TENSÃO MÍNIMA DE RUPTURA À COMPRESSÃO DE 30 A 35MPa: CONFORME <input type="checkbox"/> ; NÃO CONFORME <input type="checkbox"/>				
CORTE				
- PERÍODO MÍNIMO DE 1HORA ENTRE O FINAL DA CURA E O INÍCIO DO CORTE: CONFORME <input type="checkbox"/> ; NÃO CONFORME <input type="checkbox"/>				
- O NÍVEL DE PROTENSÃO OBRIGA A PRÉVIO CARREGAMENTO SUPERIOR DA LACP: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- PRÉVIO CARREGAMENTO SUPERIOR EXECUTADO EM CONFORMIDADE: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- DISCO DA SERRA DE CORTE PERFEITAMENTE FIXADO NO SEU EIXO: SIM <input type="checkbox"/> ; NÃO <input type="checkbox"/>				
- CONTROLE DA REGULARIDADE DO CORTE: CONFORME <input type="checkbox"/> ; NÃO CONFORME <input type="checkbox"/>				
- PROFUNDIDADE DO CORTE: ADEQUADA <input type="checkbox"/> ; INADEQUADA <input type="checkbox"/>				
OBSERVAÇÕES:				
RESPONSÁVEL:				
(ASSINATURA)				



## 7.8 – CHECK-LIST PARA CONTROLE DE TRANSPORTE PARA CANTEIRO DE OBRA

<b>R. DIREITINHO</b> PPGECIV 2013/2015 UFSCAR	<b>FICHA DE CONTROLE DE TRANSPORTE PARA CANTEIRO DE OBRA</b>	DATA: ___/___/___
DESIGNAÇÃO DO CLIENTE: _____		CNPJ: _____
DESIGNAÇÃO DA OBRA: _____;		
TIPOS DE LAJE TRANSPORTADAS: _____		
TRANSPORTE SOB RESPONSABILIDADE DO FABRICANTE: SIM (___); NÃO (___)		
TRANSPORTE SOB RESPONSABILIDADE DO CLIENTE: SIM (___); NÃO (___)		
EM CAMINHÕES PRÓPRIOS DO CLIENTE: SIM (___); NÃO (___)		
EM CAMINHÕES FRETADOS PELO CLIENTE A TERCEIROS: SIM (___); NÃO (___)		
<b>ESTADO GERAL DO VEÍCULO DE TRANSPORTE:</b>		
- ESTADO GERAL DOS PNEUS DO VEÍCULO: ADEQUADO (___); INADEQUADO (___)		
- INEXISTÊNCIA DE VAZAMENTOS DE AR NO SISTEMA DE FREAGEM DO VEÍCULO: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)		
- TESTE DE FREAGEM COM O VEÍCULO PARADO: REALIZADO (___); NÃO REALIZADO (___)		
- LUZES FRONTAIS DO VEÍCULO: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)		
- LUZES DE MUDANÇA DE DIREÇÃO DO VEÍCULO: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)		
- LUZES TRASEIRAS DO VEÍCULO: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)		
- LUZES DE FREIO DO VEÍCULO: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)		
- ESTADO DOS PARA-CHOQUES DO VEÍCULO: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)		
- ESTADO DA PLACA DE MATRÍCULA DO VEÍCULO: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)		
- ESTADO DE LIMPEZA DA PLATAFORMA DO VEÍCULO: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)		
- INEXISTÊNCIA DE OBJETOS SOLTOS NA PLATAFORMA DO VEÍCULO: SIM (___); NÃO (___)		
- GABARITO DAS LACP EXIGE TRANSPORTE NOTURNO: SIM (___); NÃO (___)		
- TRANSPORTE REALIZADO EM PERÍODO NOTURNO: SIM (___); NÃO (___)		
- GABARITO DAS LACP EXIGE ACOMPANHAMENTO ESPECIAL: SIM (___); NÃO (___)		
- ACOMPANHAMENTO ESPECIAL COM ESCOLTA DE SINALIZAÇÃO E SEGURANÇA: REALIZADO (___); NÃO REALIZADO (___)		
- CALÇOS DE MADEIRA ALINHADOS NA VERTICAL DURANTE O CARREGAMENTO: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)		
- DISTÂNCIA MÁXIMA DE 30cm A 1m ENTRE OS CALÇOS E AS EXTREMIDADES DAS LACP: SIM (___); NÃO (___)		
- CARGA DISTRIBUÍDA DE FORMA EQUILIBRADA SOBRE A PLATAFORMA DO VEÍCULO: SIM (___); NÃO (___)		
- N.º MÁXIMO DE LACP POR PILHA, EM FUNÇÃO DO TIPO DE LACP: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)		
- COMPRIMENTO DAS LACP RESPEITAM O GABARITO DO VEÍCULO: SIM (___); NÃO (___)		
- CARGA PERFEITAMENTE ACONDICIONADA, ESTABILIZADA E TRAVADA: SIM (___); NÃO (___)		
- CARGA MÁXIMA EM FUNÇÃO DO TIPO DE VEÍCULO: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)		
- PROTEÇÃO DOS PAINÉIS DE LACP EM ZONAS DE CONTATO COM CABOS, CORRENTES E AFINS: CONFORME (___); NÃO CONFORME (___)		
- INEXISTÊNCIA DE VIBRAÇÃO EXCESSIVA DURANTE O TRANSPORTE: SIM (___); NÃO (___)		
APROVADO (___); NÃO APROVADO (___)		
<b>- MOTIVOS DA NÃO APROVAÇÃO:</b>		
_____		
_____		
_____		
RESPONSÁVEL DA FÁBRICA:	_____	MOTORISTA: _____
	(ASSINATURA)	(ASSINATURA)
OUTRAS OBSERVAÇÕES:		
_____		
_____		
_____		



## 7.10 – CHECK-LIST PARA CONTROLE DA EXECUÇÃO DA CAPA ESTRUTURAL

<b>R. DIREITINHO</b> PPGECIV 2013/2015 UFSCAR	<b>FICHA DE CONTROLE DE EXECUÇÃO DA CAPA ESTRUTURAL</b>	DATA: <u>  </u> / <u>  </u> / <u>  </u>
RESPONSABILIDADE DA EXECUÇÃO: _____		CNPJ: _____
<ul style="list-style-type: none"> <li>- RETIRADA DE MATERIAL PULVERULENTO DA SUPERFÍCIE SUPERIOR DAS LACP: SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )</li> <li>- SUPERFÍCIES SUPERIORES DAS LACP RUGOSAS: SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )</li> <li>- SUPERFÍCIES DAS LACP ÚMIDAS MAS SEM EXCESSOS: CONFORME ( <input type="checkbox"/> ); NÃO CONFORME ( <input type="checkbox"/> )</li> <li>- DETALHAMENTO DA EXECUÇÃO DA CAPA, EM PROJETO: EXISTE ( <input type="checkbox"/> ); NÃO EXISTE ( <input type="checkbox"/> )</li> <li>- TELA ELETROSSOLDADA EMBUTIDA NA CAPA: SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )</li> <li>- CONCRETAGEM EM SEPARADO DA CAPA EM RELAÇÃO ÀS JUNTAS LONGITUDINAIS ENTRE LACP'S: SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )</li> <li>- CONCRETAGEM INCOMPLETA DA ALTURA DAS JUNTAS LONGITUDINAIS, PARA MELHOR ADERÊNCIA COM O CONCRETO DA CAPA: SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )</li> <li>- ESPESSURA MÍNIMA DA CAPA DE 3 A 5cm: CONFORME ( <input type="checkbox"/> ); NÃO CONFORME ( <input type="checkbox"/> )</li> <li>- PROVETES DO CONCRETO DA CAPA COM fck MÍNIMO DE 30MPa: SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )</li> <li>- CAMADA DE NIVELAMENTO FINAL COM ESPESSURA MÍNIMA DE 5 A 15mm: SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )</li> <li>- JUNTAS DE DILATAÇÃO SEGUNDO OS EIXOS PRINCIPAIS OU A CADA 10m: SIM ( <input type="checkbox"/> ); NÃO ( <input type="checkbox"/> )</li> </ul>		
OBSERVAÇÕES:		
RESPONSÁVEL: _____		
(ASSINATURA)		

## 7.11 – CHECK-LIST PARA CONTROLE DOS DESPERDÍCIOS EM AÇO DE PROTENSÃO

<b>R. DIREITINHO</b> PPGECIV 2013/2015 UFSCAR	<b>FICHA DE CONTROLE DE DESPERDÍCIOS PARA AÇO DE PROTENSÃO</b>	DATA: <u>  </u> / <u>  </u> / <u>  </u>
TIPO DE LAJE: _____		Nº TOTAL DE LACP DESSE TIPO NO PERÍODO CONSIDERADO: _____
<ul style="list-style-type: none"> <li>- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO (m) DE CORDOALHA DE 3 FIOS DE _____mm DE BITOLA PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____</li> <li>- CONSUMO TOTAL REALIZADO (m) DE CORDOALHA DE 3 FIOS DE _____mm DE BITOLA PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____</li> <li>- PERDA PORCENTUAL DE CORDOALHA DE 3 FIOS DE _____mm DE BITOLA: VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO (m) DE CORDOALHA DE 7 FIOS DE _____mm DE BITOLA PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____</li> <li>- CONSUMO TOTAL REALIZADO (m) DE CORDOALHA DE 7 FIOS DE _____mm DE BITOLA PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____</li> <li>- PERDA PORCENTUAL DE CORDOALHA DE 7 FIOS DE _____mm DE BITOLA: VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO (m) DE FIOS ISOLADOSCORDOALHA DE _____mm DE BITOLA PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____</li> <li>- CONSUMO TOTAL REALIZADO (m) DE FIOS ISOLADOS DE _____mm DE BITOLA PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____</li> <li>- PERDA PORCENTUAL DE FIOS ISOLADOS DE _____mm DE BITOLA: VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO (m) DE FIOS ISOLADOSCORDOALHA DE _____mm DE BITOLA PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____</li> <li>- CONSUMO TOTAL REALIZADO (m) DE FIOS ISOLADOS DE _____mm DE BITOLA PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____</li> <li>- PERDA PORCENTUAL DE FIOS ISOLADOS DE _____mm DE BITOLA: VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO (m) DE FIOS ISOLADOSCORDOALHA DE _____mm DE BITOLA PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____</li> <li>- CONSUMO TOTAL REALIZADO (m) DE FIOS ISOLADOS DE _____mm DE BITOLA PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____</li> <li>- PERDA PORCENTUAL DE FIOS ISOLADOS DE _____mm DE BITOLA: VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- VALOR TOTAL TEÓRICO PREVISTO EM AÇO DE PROTENSÃO PARA O TOTAL DE LACP CONSIDERADO: _____</li> <li>- VALOR TOTAL DE PERDAS EM AÇO DE PROTENSÃO PARA O TOTAL DE LACP CONSIDERADO: _____</li> <li>- VALOR PORCENTUAL DE PERDAS EM AÇO DE PROTENSÃO PARA O TOTAL DE LACP CONSIDERADO: _____</li> </ul>		
OBSERVAÇÕES:		
RESPONSÁVEL: _____		
(ASSINATURA)		

## 7.12 – CHECK-LIST PARA CONTROLE DOS DESPÉRDÍCIOS EM CIMENTO E AGREGADOS

<b>R. DIREITINHO</b>	<b>FICHA DE CONTROLE</b>	DATA: <u>  </u> / <u>  </u> / <u>  </u>
PPGECIV 2013/2015	<b>DE DESPÉRDÍCIOS PARA CIMENTO E AGREGADOS</b>	
UFSCAR		
TIPO DE LAJE: _____	Nº TOTAL DE LACP DESSE TIPO NO PERÍODO CONSIDERADO: _____	
- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO DE CIMENTO PARA ESSE TOTAL DE LAJES: _____		
- CONSUMO TOTAL REALIZADO DE CIMENTO PARA ESSE TOTAL DE LACP _____		
- PERDA PORCENTUAL DE CIMENTO: _____; VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____		
- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO DE BRITA Nº 1 PARA ESSE TOTAL DE LAJES: _____		
- CONSUMO TOTAL REALIZADO DE BRITA Nº 1 PARA ESSE TOTAL DE LACP _____		
- PERDA PORCENTUAL DE BRITA Nº 1: _____; VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____		
- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO DE BRITA Nº 2 PARA ESSE TOTAL DE LAJES: _____		
- CONSUMO TOTAL REALIZADO DE BRITA Nº 2 PARA ESSE TOTAL DE LACP _____		
- PERDA PORCENTUAL DE BRITA Nº 2: _____; VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____		
- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO DE BRITA Nº 3 PARA ESSE TOTAL DE LAJES: _____		
- CONSUMO TOTAL REALIZADO DE BRITA Nº 3 PARA ESSE TOTAL DE LACP _____		
- PERDA PORCENTUAL DE BRITA Nº 3: _____; VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____		
- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO DE BRITA Nº 4 PARA ESSE TOTAL DE LAJES: _____		
- CONSUMO TOTAL REALIZADO DE BRITA Nº 4 PARA ESSE TOTAL DE LACP _____		
- PERDA PORCENTUAL DE BRITA Nº 4: _____; VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____		
- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO DE BRITA Nº 5 PARA ESSE TOTAL DE LAJES: _____		
- CONSUMO TOTAL REALIZADO DE BRITA Nº 5 PARA ESSE TOTAL DE LACP _____		
- PERDA PORCENTUAL DE BRITA Nº 5: _____; VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____		
- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO DE AREIA GROSSA PARA ESSE TOTAL DE LAJES: _____		
- CONSUMO TOTAL REALIZADO DE AREIA GROSSA PARA ESSE TOTAL DE LACP _____		
- PERDA PORCENTUAL DE AREIA GROSSA: _____; VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____		
- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO DE AREIA MÉDIA PARA ESSE TOTAL DE LAJES: _____		
- CONSUMO TOTAL REALIZADO DE AREIA MÉDIA PARA ESSE TOTAL DE LACP _____		
- PERDA PORCENTUAL DE AREIA MÉDIA: _____; VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____		
- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO DE AREIA FINA PARA ESSE TOTAL DE LAJES: _____		
- CONSUMO TOTAL REALIZADO DE AREIA FINA PARA ESSE TOTAL DE LACP _____		
- PERDA PORCENTUAL DE AREIA FINA: _____; VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____		
- VALOR TOTAL TEÓRICO PREVISTO EM CIMENTO E AGREGADOS PARA O TOTAL DE LACP CONSIDERADO: _____		
- VALOR TOTAL DE PERDAS EM CIMENTO E AGREGADOS PARA O TOTAL DE LACP CONSIDERADO _____		
- VALOR PORCENTUAL DE PERDAS EM CIMENTO E AGREGADOS PARA O TOTAL DE LACP CONSIDERADO: _____		
<b>OBSERVAÇÕES:</b>		
RESPONSÁVEL: _____		
(ASSINATURA)		

## 7.13 – CHECK-LIST PARA CONTROLE DOS DESPÉRDÍCIOS EM ADITIVOS E ADIÇÕES

R. DIREITINHO PPGECIV 2013/2015 UFSCAR	FICHA DE CONTROLE DE DESPÉRDÍCIOS PARA ADITIVOS E ADIÇÕES		DATA: ___/___/___
TIPO DE LAJE: _____		Nº TOTAL DE LACP DESSE TIPO NO PERÍODO CONSIDERADO: _____	
- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO DE PLASTIFICANTE PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____			
- CONSUMO TOTAL REALIZADO DE PLASTIFICANTE PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____			
- PERDA PORCENTUAL DE PLASTIFICANTE: _____;		VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____	
- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO DE SUPERPLASTIFICANTE PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____			
- CONSUMO TOTAL REALIZADO DE SUPERPLASTIFICANTE PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____			
- PERDA PORCENTUAL DE SUPERPLASTIFICANTE: _____;		VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____	
- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO DE ACELERADOR DE PEGA PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____			
- CONSUMO TOTAL REALIZADO DE ACELERADOR DE PEGA PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____			
- PERDA PORCENTUAL DE ACELERADOR DE PEGA: _____;		VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____	
- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO DE _____ PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____			
- CONSUMO TOTAL REALIZADO DE _____ PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____			
- PERDA PORCENTUAL DE _____;		VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____	
- CONSUMO TOTAL TEÓRICO PREVISTO DE _____ PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____			
- CONSUMO TOTAL REALIZADO DE _____ PARA ESSE TOTAL DE LACP: _____			
- PERDA PORCENTUAL DE _____;		VALOR MONETÁRIO TOTAL DA PERDA: _____	
- VALOR TOTAL TEÓRICO PREVISTO EM ADITIVOS E ADIÇÕES PARA O TOTAL DE LACP CONSIDERADO: _____			
- VALOR TOTAL EFETIVAMENTE GASTO EM ADITIVOS E ADIÇÕES PARA O TOTAL DE LACP CONSIDERADO: _____			
- VALOR PORCENTUAL DE PERDAS EM ADITIVOS E ADIÇÕES PARA O TOTAL DE LACP CONSIDERADO: _____			
OBSERVAÇÕES: _____ _____			
RESPONSÁVEL: _____ (ASSINATURA)			

## 7.14 – CHECK-LIST PARA CONTROLE DOS DESPÉRDÍCIOS EM EQUIPAMENTO

R. DIREITINHO	FICHA DE CONTROLE		DATA: ___/___/___
PPGECIV 2013/2015	DE DESPÉRDÍCIOS EM EQUIPAMENTO		
UFSCAR			
PERÍODO CONSIDERADO NA ANÁLISE:			
<b>SILOS DE ARMAZENAMENTO DE CIMENTO</b>		<b>CAÇAMBAS</b>	
- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____	- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____		
- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____	- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____		
- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____	- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____		
<b>CENTRAL MISTURADORA DE CONCRETO</b>		<b>MONORAIL</b>	
- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____	- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____		
- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____	- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____		
- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____	- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____		
<b>BAIAS DE ARMAZENAMENTO DE INERTE</b>		<b>TRATOR TRANSPORTADOR DO CONCRETO</b>	
- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____	- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____		
- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____	- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____		
- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____	- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____		
<b>TAPETES ROLANTES</b>		<b>PINÇAS E BALANÇINS</b>	
- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____	- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____		
- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____	- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____		
- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____	- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____		
<b>MOLDADORA/EXTRUSORA</b>		<b>EQUIPAMENTOS PARA LIMPEZA</b>	
- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____	- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____		
- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____	- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____		
- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____	- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____		
<b>PORTICO/PONTE ROLANTE</b>		<b>EMPILHADORES</b>	
- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____	- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____		
- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____	- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____		
- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____	- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____		
<b>MÁSCAS HIDRAULICOS</b>		<b>EQUIPAMENTO DE LABORATORIO</b>	
- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____	- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____		
- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____	- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____		
- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____	- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____		
<b>MÁQUINA DE CORTE</b>		<b>GERADOR DE ENERGIA</b>	
- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____	- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____		
- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____	- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____		
- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____	- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____		
<b>CABO DISTRIBUIDOR DE FIOS</b>		<b>VIBRADORES, CUNHAS DE FICACAO E OUTROS ACESSORIOS</b>	
- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____	- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____		
- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____	- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____		
- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____	- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____		
<b>OUTROS:</b>		<b>OUTROS:</b>	
- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____	- GASTOS PARA MANUTENÇÃO PREVISTA: _____		
- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____	- GASTOS REALIZADOS EM MANUTENÇÃO _____		
- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____	- PORCENTUAL DE PERDA/GANHO EM MANUTENÇÃO: _____		
- VALOR TOTAL TEORICO PREVISTO EM MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS: _____			
- VALOR TOTAL EFETIVAMENTE GASTO EM MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS _____			
- VALOR PORCENTUAL DE PERDAS EM MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS: _____			
<b>OBSERVAÇÕES:</b>			
<b>RESPONSÁVEL:</b>			
(ASSINATURA)			

## 8 – CONCLUSÃO

### 8.1 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Qualidade e a Gestão da Qualidade são temas praticamente inesgotáveis. Nessa medida, muito ficou por dizer sobre a Qualidade. Desde logo, ficaram por desenvolver e explicar coisas tão importantes como os ciclos de melhora contínua da Qualidade - os bem conhecidos PDCA (Plan, Do, Check, Act) - , a relação entre a Qualidade e a mentalidade “lean” (*Lean Thinking*) e a correspondente produção enxuta, de que forma esta contribui para a melhoria da Qualidade, a questão dos “Círculos de Qualidade” que fazem parte dessa forma de pensar a Produção Industrial, a TQM (*Total Quality Management*), a ferramenta Seis Sigma, e outros aspectos conexos com a Qualidade.

No entanto, esta dissertação tinha como principal objetivo estabelecer um conjunto de diretrizes de boas práticas para controle de qualidade nas diferentes etapas do processo de produção de lajes alveolares de concreto protendido. Um conjunto de diretrizes de carácter eminente prático, embora fundamentadas em conhecimentos científicos e tecnológicos.

Propositamente essas diretrizes não foram designadas de manual. No entanto, julga-se que o objetivo foi conseguido com suficiente grau de profundidade e detalhe.

Duas das principais dificuldades que se enfrentam quando se parte com os objetivos subjacentes a uma dissertação deste tipo são: por um lado a academia e as empresas são dois tipos de instituições que ainda vivem em realidades diferentes uma da outra, ainda não estabeleceram laços de intercâmbio suficientemente fortes que permitam o uso de uma linguagem comum entre ambas, e por outro lado, ao contrário dos canteiros de obra, que são ambientes ainda assim mais abertos, as fábricas constituem ambientes muito mais fechados, propícios a dificultar muito mais a necessária e fundamental troca de informação, para que o conhecimento se produza e consiga fluir. De algum modo esses foram aspetos que se tentaram combater ao longo da dissertação.

A dissertação seguiu ainda uma abordagem por processos, tendo como escopo o macro-processo de produção das LACP, desde que os insumos chegam à unidade fabril, até que as LACP estão colocadas em obra, e com a respetiva capa estrutural devidamente executada.

Para maior facilidade de organização do texto da dissertação, o macro-processo referenciado foi então dividido em três partes, as quais foram designadas de pré-fabrico, fabrico e pós-fabrico. O pré-fabrico engloba todas as etapas que vão desde o momento em que os insumos entram nas instalações da fábrica, com os correspondentes recebimentos e armazenamentos, até que o concreto chega ao final do transporte, até a pista de protensão. O fabrico engloba todas as etapas que vão desde a concretagem da pista, até o momento em que as LACP são estocadas em fábrica. O pós-fabrico engloba as atividades que vão desde o transporte das LACP para canteiro de obra, até que a capa estrutural é executada em canteiro.

A partir daí, cada uma dessas três partes do macro-processo ainda foi separada e analisada mais pormenorizadamente, cada uma delas em sub-etapas de menor complexidade, e para cada uma dessas sub-etapas foi possível determinar um conjunto de procedimentos de controle de qualidade, o que resultou na produção de um conjunto de 17 *check-list*'s que cobrem todo o macro-processo produtivo.

Foram feitas duas entrevistas, a primeira das quais com o responsável de uma empresa nacional que fabrica equipamentos para a produção de LACP, e a segunda junto de um empresário fabricante de LACP. Essas entrevistas foram determinantes para se obterem duas visões diferentes sobre a produção de LACP, o que permite enriquecer o conjunto de informações disponíveis sobre o citado macro-processo.

Pode-se concluir que existem múltiplos fatores importantes para se conseguir produzir LACP's de qualidade, os quais incluem desde a produção de um concreto de boa qualidade, rigorosas tarefas de fabrico das LACP, as quais, mesmo com um elevado nível de mecanização e automação, acabam ainda assim envolvendo uma quantidade de mão de obra maior e mais quantidade de tempo dispendido também, o que logo torna todas essas tarefas mais predispostas à ocorrência de falhas, e cuidados acrescidos também na etapa de pós-fabrico, já que o transporte das peças em canteiro, se for executado sem os devidos cuidados, pode levar à ocorrência de danos nas lajes e à respectiva rejeição, assim como uma deficiente montagem ou uma deficiente execução da capa estrutural podem conduzir a que as LACP não tenham o desempenho previsto em projeto.

Por tudo isto, julga-se que os resultados da dissertação constituem uma válida contribuição para a melhoria da qualidade do macro-processo produtivo.

Julga-se também que o conteúdo e os resultados da dissertação poderiam contribuir de forma válida para uma melhoria dos procedimentos de controle de

qualidade referenciados na ABNT NBR 14861:2011 (“Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido – requisitos e procedimentos”).

Os resultados da dissertação poderiam ter sido ainda mais proveitosos, nomeadamente se tivesse sido possível fazer um estudo de caso múltiplo que contemplasse entre outras questões os níveis de perdas (materiais, mão de obra, equipamentos) registrados no macro-processo produtivo de algumas unidades fabris. No entanto, esse é um assunto bastante complicado de resolver, pois é muito difícil encontrar empresários que vejam como uma contribuição válida publicar-se quanto as respetivas fábricas estão perdendo a nível de materiais, ou quanto estão gastando a mais do que seria teóricamente possível com a sua mão de obra e afins. O empresário típico encara a divulgação desses resultados como algo altamente sigiloso.

O produto LACP, como produto industrializado de ciclo aberto, com um elevado nível de racionalização e controle de qualidade, deveria merecer uma atenção maior por parte de quem define as políticas e estratégias produtivas a nível do governo da União. Infelizmente, no entanto, os sucessivos governos continuam penalizando fortemente este e outros produtos do setor da pré-fabricação, através do IPI, o qual condiciona fortemente a competitividade do subsector, em comparação com a grande maioria das atividades que dizem respeito à construção civil. Implicitamente, parece haver algum interesse na manutenção do atual estado das coisas na construção, talvez porque a continuação do predomínio das atividades mais tradicionais funcione como uma forma de uso de mais quantidade de mão de obra, e, portanto, como instrumento regulador das taxas de emprego/desemprego no Brasil.

O caminho da industrialização crescente na construção civil, do qual a pré-fabricação em concreto em geral e as LACP em particular fazem parte, é no entanto algo que se apresenta como irreversível na busca da produtividade e qualidade.

## **8.2 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Na continuidade desta dissertação, outros estudos seriam necessários. Por exemplo a aplicação do conjunto de *check-list* que aqui foi desenvolvido a um conjunto de empresas, que permitisse validar essas ferramentas, ou concluir pela necessidade da sua retificação ou aperfeiçoamento.

Além disso, o escopo do estudo poderia ser mais alargado, incluindo domínios do conhecimento como os referentes aos impactos ambientais da produção, a responsabilidade social atrelada a esse mega-processo produtivo, ou os aspectos de

lucratividade a considerar para efeitos da sustentabilidade. Isso certamente conduziria ao desenvolvimento de novas metas, novos objetivos, novos procedimentos de controle necessários. Na verdade, embora em outras regiões do globo já existam estudos exploratórios visando o desenvolvimento, a definição e a apresentação de indicadores que demonstrem os ganhos de sustentabilidade na produção de LACP, esse é um assunto que ainda não foi verdadeiramente objeto de um estudo com profundidade no Brasil.

Na sequência, poderia até proceder-se o desenvolvimento e a criação de um sistema de indicadores que permitisse avaliar o grau de sustentabilidade em que se encontram os sistemas produtivos de LACP, em várias unidades industriais no país.

Tampouco existem estudos que tenham conduzido ao desenvolvimento e à criação de sistemas de gestão integrada da produção desse tipo de lajes.

Provavelmente alguns desses temas apresentariam as mesmas dificuldades a serem vencidas, com as quais esta dissertação se deparou. No entanto, esse é um problema com que o subsetor e as associações de indústrias terão que se confrontar no futuro, e sobre o qual precisam refletir, tendo em vista dar o salto de qualidade que com certeza é o anseio de todos.

Compreende-se que determinados dados, que certas informações, sejam de obtenção mais difícil no estudo dos temas, mas certamente sem o fluir da informação e sem a quebra de algumas barreiras de desconfiança não é possível ir tão além quanto se poderia, para o bem de todos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCIC, 2007. Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto –Diretrizes para Implantação do Selo de Excelência. Revisão 04. São Paulo/2007.

Almeida, I.R.D. 2005. Concretos de alto desempenho. A evolução tecnológica dos concretos.

Antunes, C. de F.M. 2011. Resistência ao Cisalhamento de Lajes Alveolares Preenchidas – Uma Análise Exploratória. 2011. 146f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás). Goiânia, 2011.

Araujo, C.A.M. 2011. Contribuições para projeto de lajes alveolares protendidas. 2011. 222f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

ArcelorMittal,2007.[http://www.constructalia.com/br\\_BR/products/productos\\_detalle.jsp?idApli=449365](http://www.constructalia.com/br_BR/products/productos_detalle.jsp?idApli=449365). Acessado dia 17 de Julho de 2014.

ASSAP – Association of manufacturers of prestressed hollow core floors, 2002. The Hollow Core Floor Design and Applications. 1.ed. Verona: Offset Print Veneta, 2002. 220p.

Associação Brasileira da Construção Industrializada, ABCI 1980. História dos pré-fabricados e sua evolução no Brasil. São Paulo, 1980.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989. NBR 1265:1989 Incineração de resíduos perigosos - Padrões de Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991. NBR 5733:1991 Cimento Portland – Cimento Portland de alta resistência inicial – especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998. NBR NM 33:1998 Concreto – Amostragem de Concreto Fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998. NBR NM 67:1998 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007. NBR 5738:2007 Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007. NBR 5739:2007 Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005. NBR 7211:2005 - Agregados para concretos, especificação. ABNT, Rio de Janeiro, 2005. 5 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992. NBR 7223:1992 Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005. NBR 7482:2005. Fios de Aço para Concreto Protendido. Rio de Janeiro, 2005. 6 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005. NBR 7483:2005. Cordoalhas de Aço para Concreto Protendido – Especificação. Rio de Janeiro, 2005. 7 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006. NBR 9062: 2006 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987. NBR 9935:1987 Agregados – terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008. Sistemas de gestão da qualidade: requisitos - NBR ISO 9001:2008;2. ed, 2008. 28p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013. NBR 14861:2013 Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013. NBR 15575:2013 Edifícios Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

Bergami, M.L. 2009. Diretrizes para a Gestão da Qualidade do Processo de Projeto em Empresas de Pré-fabricados Baseado na Norma NBR ISO 9001:2000. 2009. 148f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos – Área de Sistemas Construtivos de Edificações). São Carlos, 2009.

Bruna, P. 1976. Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento - EDUSP/Perspetiva, Coleção Debates, número 135, São Paulo.

Campos, V. F. 2005. Controle de Qualidade Total, 2005. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU.

Capra, F. 1996. A teia da vida. São Paulo: Cultrix, 1996.

Cardoso, F.F. et al. 1998. Uma Primeira Avaliação do Programa Qualihab e de seu Impacto nas Empresas de Construção de Edifícios. In: Congresso Latinoamericano de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Soluções para o Terceiro Milênio. São Paulo (pp. 609-18), 1998.

Catoia, B. 2011. Lajes alveolares protendidas: cisalhamento em região fissurada por flexão. 2011. 324f. Tese (Doutorado em Ciências, Programa de Engenharia Civil - Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos.

Costa, O.O. da. 2009. Avaliação de Desempenho de Elementos de Lajes Alveolares Protendidas Pré-fabricadas. 2009. 155f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade

Federal de São Carlos – Área de Sistemas Construtivos de Edificações). São Carlos, 2009

Costa, A.; Applenton, 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. 1988. Fabrico e Propriedades do Betão, Vol. 1. Lisboa: LNEC.

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

Cunha, A.F. da C. 2011. Manual de Controle de Qualidade de Construções Pré-fabricadas. 2011. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa). Lisboa, 2011.

Echo, 2014. [www.echo-engineering.net](http://www.echo-engineering.net). Acessado em 17 de Julho de 2014.

Elematic Group, 2009. MProduct Description X-Tec Extruder Line. Toijala, Finlândia, 2009.

Elliott, K.S. 2005. AI Workshop Internacional: Design and construction of precast concrete structures. São Carlos, UFSCar – NETPRE.

Fernandes, N.S. 2007. Cisalhamento em Lajes Alveolares Pré-fabricadas em Concreto Protendido: Ensaio Padrão de Apoio para Controle de Qualidade. 2007. 127f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos – Área de Sistemas Construtivos de Edificações). São Carlos, 2007.

Ferreira, M. de A. 2007. Curso de Especialização para Professores de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto. São Carlos, EDUFSCar – NETPRE, 2007.

Ferreira, M. de A. e Carvalho, R.C. 2008. *Sistemas Construtivos em Concreto Pré-Moldado*, EdUfscar, 2008.

Federation Internationale de la Précontrainte, FIP, 1992. Guide to good practice: quality assurance of hollow core slab. London, England, 1992.

Federation Internationale du Beton, FIB (CEB-FIB), 2000. Guide to good practice: special design considerations for precast prestressed hollow core floors. Lausanne, 2000.

Figueira, P.A.F. 2009. O Sistema de Qualidade numa Organização e a Importância da sua Implementação – Trabalho de Projeto na José Avelino Pinto, Construção e Engenharia S.A. Dissertação (Mestrado em Ciências Empresariais, Instituto Superior de Economia e Gestão). Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

Flores, I. et al. 2010. Patologia e Reabilitação na Construção. Anomalias em Betão Armado e Pré-Esforçado. Lisboa: Apontamentos IST.

Fraga, S.V. 2011. A Qualidade na Construção Civil: uma breve revisão bibliográfica do tema e a implementação da ISO 9001 em construtoras de Belo

Horizonte. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG - Ênfase: Gestão na Construção Civil.

Garvin, D.A. 1992. Gerenciando a Qualidade: A Visão Estratégica e Competitiva. Rio de Janeiro, Editora Qualitymark, 1992.

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.

Grant et al. 1994. TQM's challenge to management theory and practice. Sloan Management Review , Winter, p.25-35, 1994.

Helene, P. 2005. Dosagem do Concreto de Cimento Portland. Cap. 15. In: ISAIA, G.C. (Ed.). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto Ibracon. 2005.

Helene, P.; Terzian, P. 1993. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo: PINI.

Ilmar. (s.d.). Obtido em 17 de Julho de 2014, de web site de Ilmar, Lda: <http://www.ilmar.pt>

International Organization for Standardization (ISO), 1993. Norma ISO 8402/93. Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade. Terminologia.

International Organization for Standardization (ISO), 2005. Norma ISO 9000/2005. Sistemas de Gestão da Qualidade. Fundamentos e vocabulário.

International Organization for Standardization (ISO), 2008. Norma ISO 9001/2008. Sistema de Gestão da Qualidade. Requisitos.

Koncz, T. Manual de la construccion prefabricada. Madrid: Grefol, 1975.

Lauregi, F.P.; Martins, P.G., 2003. Administração da Produção. São Paulo, Editora Saraiva, 2003.

Maldaner, S.M. 2003. Procedimento para identificação de custos da não-qualidade na construção civil. 2003. 133 f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Medeiros, H. 2003. Quebre recordes, seja fast. Técnica. São Paulo, n. 79, p. 40-47, out. 2003.

Meira, L; Quintella, R. 2004. Relacionamento clientes-fornecedores sob a ótica da qualidade: um estudo em construtoras baianas participantes do PBQP-H/QUALIOP. In *Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo.*

Model Code, C. E. B. F. I. P. 1991. ASTM-A421 (1991). BS-2691.

Moreira, K.A. 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.

Neville, A.M. 1995. Properties of concrete. Fourth edition. England: Longman Group.

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

Oliveira, M. 2004. Mais Credibilidade aos Pré-fabricados. *Jornal Eletrônico ABCIC*, 2004.

Ordonéz, J.A.F. 1974. Pre-fabricacion: teoría y práctica. Barcelona: Editores Técnicos Asociados. v.1.

Pagliaroni, M.A.P. 2008. Requisitos para Produção de Lajes Alveolares em Concreto Pré-moldado. Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil. São Carlos, 2008.

Paiva, M.S. de; Salgado, M.S. 2003. Treinamento das equipes de obras para implantação de sistemas da qualidade. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003.

Petrucelli, N.S. 2009. Considerações sobre Projeto e Fabricação de Lajes Alveolares Protendidas. 118f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos – Área de Sistemas Construtivos de Edificações). São Carlos, 2009.

Pinto, S.H.B.; Carvalho, M.M. de 2006. Implementação de Programas de Qualidade: um survey em empresas de grande porte no Brasil. *Revista Gestão & Produção*, v.13, n.2, p. 191-203, maio-ago. 2006.

Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI), 2005. The History of Spancrete – Bringing Excellence to the Construction Industry for Sixty Years. *PCI Journal*, jan./fev. 2005, p. 25-35.

Reeves, C.A.; Bednar, D.A. 1994. Defining quality: alternatives and implications. *The Academy of Management Review*, v. 19, n.3, p.419- 445, 1994.

Revel, M. 1973. *La prefabricacion en la construccion*, 1.ed. Bilbao: Urmo. 457p.

Sabbatini, F.H., Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma tecnologia, 1989, 336 p. Tese de doutorado, Escola politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Santana, A.B. 2006. Proposta de Avaliação dos Sistemas de Gestão da Qualidade em Empresas Construtoras. 2006. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

Serra, S.M.B., Ferreira, M. de A., Pigozzo, B.N. 2005. Evolução dos pré-fabricados de Concreto. Núcleo de Estudos e Tecnologia em Pré-moldados (NET-PRÉ), Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos.

Thomaz, E. 2001. Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção. São Paulo: Pini, 2001.

Tkalcic, D. et al., 2007. Prestressed hollow core slabs – shear resistance test according to HRN EN 1168:2005. In: FIB SYMPOSIUM, 2007. Dubrovnik. Proceedings.... Dubrovnik, Croacia: FIB, 2007.

Van Acker, A. 2002. Manual de Sistemas Pré-fabricados de Concreto – FIB 2002.

Van Acker, A.; Elliott, K.S., 2007. Fib Masters Course. Curso de Aperfeiçoamento para Professores e Técnicos do Setor de Pré-fabricados, São Paulo: ABCIC, FIB, NETPRE, 2007.

Vargas, M. 1981. O Processo de industrialização. Rio de Janeiro, LTC Livros Técnicos e Científicos, 1981.

Vasconcelos, A.C. 2002. O concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações. V.3. Livros Studio Nobel Ltda., São Paulo-SP.

Yashimoto, T. 1992. Qualidade, Produtividade e Cultura: o que podemos aprender com os japoneses. Editora Saraiva – 2. ed., São Paulo, 1992.

Yazigi, W. 1999. A Técnica de Edificar. PINI, 2. ed., São Paulo, 1999.