



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
ENGENHARIA CIVIL

## **Relatório de Estágio Profissional**

Controle de Qualidade na Execução de Estruturas de  
Betão – (Lajes Fungiformes Maciças)

**Autor:**

Chagaca, Samuel Elias

**Supervisores:**

Eng. Salomão Nguenha (FENG – UEM)

Eng. Deive Dias Inhambizo (IDD)

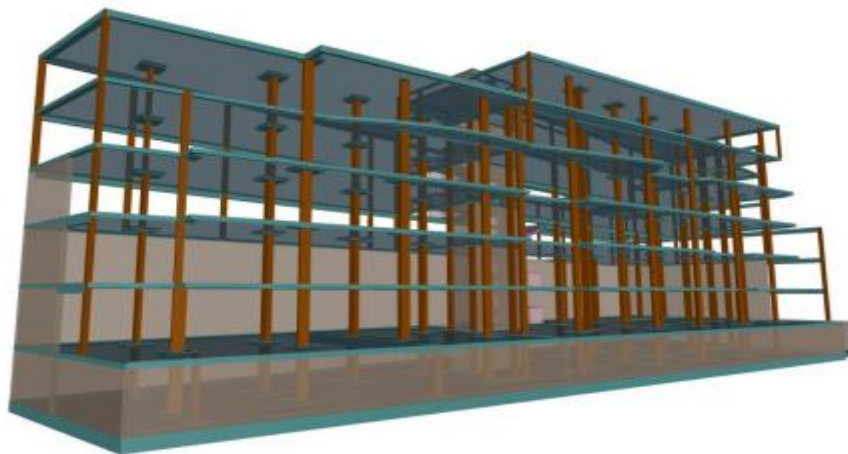
Maputo, Junho de 2023



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
ENGENHARIA CIVIL

## **Relatório de Estágio Profissional**

Controle de Qualidade na Execução de Estruturas de Betão –  
(Lajes Fungiformes Maciças)



**Autor:**

Chagaca, Samuel Elias

**Supervisores:**

Eng. Salomão Nguenha (FENG – UEM)

Eng. Deive Dias Inhambizo (IDD)

Maputo, Junho de 2023

## **PREFÁCIO**

No âmbito do Trabalho de Culminação do Curso, o estudante, impulsionado pelo facto de poder entrar em contacto com a vida profissional do Engenheiro, e poder aplicar na prática os conhecimentos adquiridos na Universidade, embarcou para desenvolvimento das competências na área de fiscalização e execução de obras, assumindo deste modo a responsabilidade e alcançar todos os objetivos do estágio.

O presente documento refere-se ao relatório de estágio, que se integra no Trabalho de Culminação do Curso, para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Civil, na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

## **TERMO DE RESPONSABILIDADE**

Relatório de Estágio Profissional, apresentado ao Departamento de Engenharia Civil na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane para obtenção do Grau de Licenciatura em Engenharia Civil.

Autor:

---

(Samuel Elias Chagaca)

Supervisores:

---

(Eng. Salomão Nguenha)

---

(Eng. Deive Dias Inhambizo)

## **TERMO DE ENTREGA**

Declaro que o estudante Chagaca, Samuel Elias entregou as duas (02) cópias do relatório do seu Estágio Profissional com a referência:

---

A Chefe da Secretaria:

---

## **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Eu, **Chagaca, Samuel Elias**, declaro por minha honra, que este trabalho é resultado da minha investigação com recurso a bibliografia em referência devidamente citada ao longo do mesmo e que é submetido para a obtenção do grau de **Licenciatura em Engenharia Civil**, pela Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus.

Aos meus tios, Tito Chagaca e Carmelia Isabel pelo apoio para que pudesse fazer esse curso.

A minha mãe, Sarita Baptista, pelo amor, ensinamentos e honra de tê-la como mãe.

A minha namorada Suzana António pelo amor e compreensão

Aos meus amigos e colegas, Edmirson Tomas, Keven Traquinho, Benigno Jonasse Jr e Telúrio Mapsanganhe.

Ao Eng. Salomão Nguenha, pela orientação cuidadosa e ensinamentos demonstrados ao longo tempo de formação e elaboração deste relatório.

Ao Eng. Deive Inhambizo, pelos ensinamentos e estágio concedido.

Aos professores, funcionários e colegas na faculdade de Engenharia.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente, meu muito obrigado.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este relatório aos meus tios (Tito Chagaca e Carmelia Isabel). A motivação e dedicação na minha formação foi a força motora para que eu pudesse dar este grande salto na vida. O meu muito obrigado de coração.



## **RESUMO**

Grande parte dos defeitos verificados nas construções decorrem de erros de projeto e/ou má execução das estruturas em betão. Este relatório, consiste em controlar a qualidade na execução de estruturas de betão, em particular lajes fungiformes maciças. Começando por fazer uma breve revisão sobre os conceitos de controle e qualidade, não só na execução como na elaboração do projeto.

Assim, são propostas algumas diretrizes para o controle da qualidade de projetos estruturais de lajes fungiformes. Apresenta-se, também, um estudo sobre o comportamento do betão armado face à agressividade ambiental, a partir do qual são discutidos diversos critérios de projeto, com vistas à durabilidade das estruturas, aspecto que está intimamente relacionado com a qualidade.

Por fim, apresenta-se os processos construtivos e o seu respetivo controle de qualidade durante o acompanhamento da execução de um edifício habitacional sito na marginal de Maputo, local onde se deve ter muito cuidado com a agressividade do ambiente aos elementos estruturais em betão armado.

Palavras-chave: estruturas de betão, lajes fungiformes maciças, controle da qualidade, durabilidade, deterioração.

## **ABSTRACT**

Most of the defects found in constructions stem from design errors and/or poor execution of concrete structures. This report consists of quality control in the execution of concrete structures, in particular solid flat slabs. Starting with a brief review of the concepts of control and quality, not only in the execution but also in the design of the project.

Thus, some guidelines are proposed for the quality control of structural designs of flat slabs. A study is also presented on the behavior of reinforced concrete in the face of environmental aggressiveness, from which various design criteria are discussed, with a view to the durability of structures, an aspect that is closely related to quality.

Finally, the construction processes and their respective quality control are presented during the monitoring of the execution of a residential building on the Maputo waterfront, a place where great care must be taken with the aggressiveness of the environment to the structural elements in reinforced concrete.

**Keywords:** concrete structures, solid flat slabs, quality control, durability, deterioration.

# ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS .....	I
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	II
<b>I. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
1.1. Justificativa .....	4
1.2. Objetivos.....	5
1.3. Metodologia.....	6
1.4. Área de atuação do estagiário .....	6
1.5. Estrutura do Relatório .....	7
<b>II. REVISÃO BIBLIOGRAFICA .....</b>	<b>8</b>
2.1. Qualidade .....	8
2.2. Controle da Qualidade .....	8
2.3. Garantia da Qualidade.....	9
2.4. Não-Conformidade .....	9
2.5. Documentos de Referência.....	10
2.6. Exigências da Qualidade para as Estruturas .....	10
2.7. Princípios de Controle.....	12
2.8. Metodologia de Controle.....	13
2.9. Avaliação das Informações do Projeto.....	13
2.10. Conceitos sobre lajes fungiformes.....	16
2.11. Tipos de laje fungiforme .....	16
2.12. Anomalias frequentes em lajes fungiformes .....	20
2.13. Causas Frequentes .....	21
<b>III. CASO DE ESTUDO (ACOMPANHAMENTO NA EXECUÇÃO DE</b>	

<b>LAJES FUNGIFORMES MACIÇAS)</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1. Localização e Caracterização Arquitetônica do Edifício</b> .....	<b>23</b>
<b>3.2. Caracterização Estrutural do Edifício</b> .....	<b>24</b>
<b>3.3. Descrição das Atividades Desenvolvidas</b> .....	<b>27</b>
<b>3.4. Acompanhamento na Execução dos Elementos Estruturais</b> .....	<b>27</b>
<b>3.4.1. Elementos verticais</b> .....	<b>27</b>
<b>3.4.2. Lajes</b> .....	<b>34</b>
<b>3.5. Outras atividades</b> .....	<b>42</b>
<b>3.5.1. Divisores</b> .....	<b>42</b>
<b>3.5.2. Hidráulica e Eletricidade</b> .....	<b>43</b>
<b>3.6. Patologias se a qualidade não for garantida</b> .....	<b>44</b>
<b>IV. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1. Conclusão</b> .....	<b>45</b>
<b>4.2. Recomendações</b> .....	<b>45</b>
<b>V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>46</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo icónico de uma laje maciça (fonte – Trindade 2009) .....	17
Figura 2: Modelo icónico de uma laje aligeirada (fonte - Trindade 2009) .....	18
Figura 3: Modelo icónico ilustrativo das dimensões usuais (fonte - Trindade 2009) .....	19
Figura 4: Modelo icónico de um capitel e o angulo de influência (fonte - Trindade 2009).....	19
Figura 5: Modelo icónico dos maciços junto aos pilares e as dimensões mínimas (fonte - Trindade 2009).....	20
Figura 6: Imagem da localização do canteiro de obra pelo Google Earth (fonte - autor).....	23
Figura 7: Modelo icónico arquitetónico, alçado lateral com as cotas de cada piso (fonte - arquivos do pessoal da fiscalização) .....	24
Figura 8: Modelo icónico estrutural do Edifício em 3D (fonte - arquivos do pessoal da fiscalização) .....	26
Figura 9: Empalme e amarração das armaduras dos pilares(fonte – autor) .....	28
Figura 10: Empalme e amarração da armadura do núcleo do elevador (fonte - autor) .....	29
Figura 11: Colocação de taipais e escoramento do muro (fonte - autor).....	30
Figura 12: Cofragem de pilares, núcleo do elevador e piscinas ( fonte - autor).....	31
Figura 13: Betonagem dos elementos verticais com o auxílio de uma tromba da bomba de betão (fonte - autor) .....	32
Figura 14: Descofragem dos elementos verticais (fonte - autor).....	33
Figura 15: Colocação de prumos, vigotas principais e secundarias, e assoalho das chapas de cofragem sobre as vigotas (fonte - autor).....	35
Figura 16: Máquina para moldar e dobrar o aço em obra (fonte - autor).....	36
Figura 17: Amarração da malha inferior da armadura e colocação da armadura de punçoamento (fonte - autor) .....	36
Figura 18: Amarração da malha superior da armadura (fonte - autor) .....	37
Figura 19: Betonagem da laje com o auxílio de uma bomba (fonte - autor) .....	38
Figura 20: Teste de slump (fonte - autor) .....	39
Figura 21: Provetes para o ensaio de compressão do betão (fonte - autor).....	40
Figura 22: Descofragem e escoramento da laje (fonte - autor).....	41
Figura 23: Tratamento das juntas de dilatação (fonte - autor) .....	42
Figura 24: Tratamento das piscinas para evitar infiltrações (fonte - autor) .....	42
Figura 25: Colocação de negativos na laje e piscinas para a passagem de cabos de eletricidade e tubagem hidráulica (fonte - autor).....	43
Figura 26: Edifício apos a execução (fonte - autor) .....	44

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Tabela com os valores recomendados para cada classe de trabalhabilidade (fonte-autor).....	39
Tabela 2: Tabela de prazos para a descofragem de cada elemento estrutural (fonte-REBAP).....	40
Tabela 3: Tabela resumo das atividades executadas e o seu controle (fonte-autor).....	42

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**ACI** - American Concrete Institute

**CEB** - Comité Euro-International du Béton  
**CSA** - Canadian Standard Association

**ISO** - International Organization for Standardization

**JCSS**- Joint Committee on Structural Safety

**NBR** - Norma Brasileira Registrada

**REBAP** - Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré - Esforçado

## I. INTRODUÇÃO

Segundo algumas estatísticas publicadas, grande parte dos defeitos verificados nas construções decorrem de erros de projeto e execução. De fato, muitos diagnósticos sobre as causas do desperdício e da ineficiência das construções, tendo em vista sua funcionalidade e durabilidade, apontam para deficiências na execução do projeto.

Devido às diversas vantagens construtivas e funcionais que as estruturas de lajes fungiformes apresentam, estas tornaram-se bastante comuns. Por outro lado, o comportamento desta solução estrutural é muito mais complexo que o das estruturas porticadas e nem sempre ele é bem compreendido pelos projetistas, pelos empreiteiros, ou ainda, pelos seus utilizadores.

É frequente surgirem erros de projeto relativos a concepções erradas, a dimensionamentos insuficientes das espessuras das lajes e a pormenorizações inapropriadas das armaduras.

Nas zonas da ligação das lajes aos pilares surgem elevadas concentrações de esforços (de flexão e de corte), fendilhação elevada e, conseqüentemente, curvaturas significativas. As curvaturas elevadas condicionam a deformação das lajes para as cargas verticais e determinam uma elevada flexibilidade em relação às ações horizontais (vento e sismos).

Durante a execução destas estruturas é corrente cometerem-se erros resultantes da incompreensão do funcionamento das lajes fungiformes ou do desrespeito pelas especificações do projeto. Na fase de utilização, a alteração da função dos edifícios, com o aumento das cargas em relação aos valores inicialmente previstos, e a execução de aberturas junto aos pilares para passagem de condutas, são algumas das causas de anomalias nestas estruturas.

As empresas empreiteiras, que executam os projetos, muitas vezes, partem do enfoque custo (preço), deixando a qualidade em segundo plano. Outras vezes, o fator condicionante é o prazo. O cumprimento do prazo acaba sendo o objetivo primordial e isso, certamente, afeta desfavoravelmente a eficiência das estruturas, pois impossibilita os empreiteiros de executar os projetos de acordo com as normas estabelecidas pelos regulamentos. Estes, por sua vez, pressionados pelas circunstâncias do mercado, aceitam as condições impostas e acabam realizando o projeto, prejudicando a racionalização e, conseqüentemente, comprometendo a qualidade.



## **1.1. Justificativa**

Uma das peculiaridades da indústria da Construção Civil, talvez a que mais a diferencie das indústrias de produtos fabricados em série, é o fato da produção possuir o caráter nômade, que consiste, basicamente, em se ter para cada novo empreendimento um novo canteiro de obras, o qual se altera constantemente conforme a fase de produção e de desenvolvimento da construção. Como se tem sempre uma praça de trabalho provisória para a fabricação dos produtos finais, sua organização em todas as fases do processo de construção é fundamental e deve possibilitar a eficiência e o bom desempenho na execução dos elementos em betão armado.

O principal motivo para a elaboração deste relatório de estágio profissional encontra-se na ênfase, cada vez maior, que vem sendo dada à questão da qualidade na Construção Civil, em particular na área de estruturas de betão, lajes fungiformes maciças, aliada à escassez de referências bibliográficas sobre o controle da qualidade aplicado as mesmas.

A crescente preocupação com a qualidade das construções justifica a maior atenção dispensada às especificações do projeto que visam garantir não apenas segurança com relação à capacidade resistente e de utilização, mas, principalmente, a durabilidade das estruturas, face aos agentes agressivos eventualmente presentes no ambiente em que se encontram.

A base motivacional impulsionadora da realização deste Estágio Profissional, em detrimento das outras duas opções, Dissertação ou Monografia, deve-se ao facto do estagiário poder aplicar os conhecimentos teóricos apreendidos na Universidade com a realidade da Engenharia Civil e no atual mercado de trabalho, integrado na dinâmica de uma empresa, bem como poder ter a possibilidade de integrar futuramente com os quadros da empresa. O Estágio foi realizado na Empresa IDD CONSULTORIA e decorreu no período compreendido entre Fevereiro á Julho de 2022, pretendendo-se essencialmente desenvolver competências no âmbito de controlar a qualidade de estruturas em betão e fiscalização de obras, onde a empresa tenha feito a consultoria do projeto de estrutura.

## **1.2. Objetivos**

### **Geral:**

O presente relatório tem a finalidade de verificar a qualidade das estruturas em betão armado (lajes fungiformes maciças), quanto aos materiais e métodos usados na sua execução, para melhorar a sua segurança. É de extrema importância a sua integridade e execução, caso contrário, podem surgir patologias.

### **Específicos:**

- Descrever os conceitos relativos a controle de qualidade tendo em conta várias bibliografias;
- Descrever o comportamento do betão armado em meios agressivos, identificando possíveis mecanismos de deterioração e recomendando medidas preventivas mínimas para combatê-los;
- Descrever sobre as lajes fungiformes, a sua funcionalidade e seus inconvenientes;
- Descrever os processos de execução de estruturas em betão armado (lajes maciças) e seu respetivo controle de qualidade.

### **1.3. Metodologia**

A metodologia aplicada no desenvolvimento deste relatório de estágio profissional consistiu, basicamente, de três etapas. Inicialmente, foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica, com o intuito de conhecer os trabalhos anteriormente publicados sobre controle da qualidade de lajes fungiformes, influência da agressividade ambiental no comportamento do betão armado e critérios de projeto para durabilidade das estruturas. Em seguida, fez-se uma análise de todo o material levantado e procederam-se as complementações necessárias, para, posteriormente, sintetizar, num documento único, as informações essenciais que pudessem servir de ferramenta na obtenção de níveis satisfatórios de qualidade das estruturais em lajes fungiformes e, conseqüentemente, das estruturas de betão armado. Por fim, fez-se uma exposição de como aplicar, na prática, os conceitos, procedimentos e critérios de projeto apresentados.

Para a efetivação dessas etapas de trabalho, tornou-se necessário o cumprimento das seguintes atividades:

- Acompanhamento presencial da obra em todas as fases;
- Consultas em engenheiros Seniores da área em questão;
- Pesquisas Bibliográfica;
- Consultas a técnicos e mestres de obras.

### **1.4. Área de atuação do estagiário**

Ao longo do período de realização de estágio, foram concedidas responsabilidades e definidos objetivos a serem alcançados. O estagiário, sendo parte integrante da equipa de fiscalização, teve como principal foco de trabalho o acompanhamento da execução dos trabalhos, sendo o elemento permanentemente presente na obra.

Inicialmente, o estagiário foi integrado na equipa de fiscalização como Engenheiro Fiscal estagiário e foram fornecidos os projetos e documentos necessários para uma melhor integração em obra.

Nos primeiros dias, na posse dos documentos da obra e do projeto, o estagiário inteirou-se de todos os trabalhos realizados anteriormente.

As principais atividades desenvolvidas pelo estagiário foram as seguintes:

- Acompanhamento diário e registo fotográfico dos trabalhos executados na obra;
- Acompanhamento dos pedidos de aprovação dos materiais a aplicar em obra;
- Controlo de qualidade dos trabalhos de execução da estrutura;
- Acompanhamento da gestão de informação entre as entidades envolvidas;
- Medição dos trabalhos executados;
- Acompanhamento do controlo de prazos e custos.

## **1.5. Estrutura do Relatório**

Estruturalmente, o presente relatório encontra-se dividido em quatro (4) capítulos, que a seguir são descritos:

**Capítulo 1** - Introdução, onde realiza-se uma breve descrição da temática do estágio, os objetivos e a metodologia adotada;

**Capítulo 2** – Revisão bibliográfica sobre controle de qualidade de obras, agressividade do meio e lajes fungiformes;

**Capítulo 3** – Caso de Estudo (Acompanhamento na execução de lajes fungiformes maciças);

**Capítulo 4**- Conclusão e recomendações, neste capítulo são apresentadas as principais conclusões relativamente aos objetivos da realização deste relatório e algumas recomendações;

## II. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Em vista deste fato, dedica-se a primeira parte deste capítulo à apresentação das definições de alguns termos relativos à qualidade, tais como: qualidade, controle e garantia da qualidade, não-conformidade e documentos de referência. São discutidos os conceitos básicos e analisadas as principais exigências da qualidade para as estruturas de betão e para os respetivos projetos e execução.

### 2.1. Qualidade

A palavra qualidade não chega a ser, em si, um termo técnico, sendo, na verdade, amplamente empregado na linguagem informal. Ela é usada na linguagem corrente, muitas vezes, com significados distintos para pessoas diferentes. De fato, qualidade tem muitas definições, visto que se aplica a uma ampla variedade de itens e tópicos. Dentre as inúmeras definições encontradas, citam-se as seguintes:

Qualidade é a totalidade de características de um produto que lhe confere a capacidade de satisfazer determinadas necessidades (NBR ISO 8402, 1994).

Qualidade é a conformidade do produto com requisitos ou especificações previamente estabelecidos (CROSBY, 1979 <sup>1</sup>apud WADSWORTH, 1986).

Assim, a qualidade de uma construção será a capacidade que esta possui para atender às necessidades dos usuários nas condições de uso para as quais foi projetada. Pode-se considerar as necessidades atendidas, de modo geral, se forem satisfeitos os requisitos relativos à segurança, ao bom desempenho em serviço, à durabilidade, ao conforto visual, acústico, tátil e térmico, à higiene e à economia, dentre outros.

A qualidade do projeto estrutural e a sua execução, por sua vez, está vinculada à sua capacidade de traduzir as exigências dos usuários e os requisitos impostos pelas normas técnicas, conseqüentemente, permitindo que as estruturas preencham satisfatoriamente suas finalidades.

### 2.2. Controle da Qualidade

Assim como qualidade, o termo controle da qualidade tem também inúmeras definições. Genericamente, segundo JURAN (1980), o controle da qualidade pode ser entendido como o processo através do qual se pode medir o desempenho real de qualidade, compará-lo com um padrão previamente determinado e, se for o caso, agir no sentido de eliminar ou, pelo menos, amenizar as divergências observadas.

Outra definição usualmente empregada, é:

O controle da qualidade compreende as técnicas operacionais e atividades utilizadas para atender aos requisitos da qualidade, tanto para monitorar um processo, como para eliminar causas de desempenho insatisfatório, para atingir a eficácia econômica (NBR ISO 8402, 1994). O controle da qualidade é um conceito de extrema abrangência. Enquanto atividade, vai muito além de uma simples inspeção. Enquanto estrutura, é o sistema que cria condições para que as

---

<sup>[1]</sup> CROSBY, P.B. (1979).

atividades preventivas possam ser desenvolvidas.

Com relação ao procedimento aplicado, podem-se distinguir dois tipos de controle que, apesar de distintos, normalmente, estão interligados, que são:

*Controle de produção*, que é direcionado a um processo produtivo, com o propósito de conduzi-lo para garantir um resultado aceitável;

*Controle de conformidade*, que é relacionado ao resultado de um processo produtivo, com o propósito de assegurar que o produto atenda às especificações dadas.

O controle de conformidade é realizado para verificar se um serviço específico ou produto foi executado em conformidade com as especificações previamente estabelecidas.

“o Controle de Qualidade do Projeto e execução integra-se à Garantia de Qualidade, e refere-se, genericamente, às técnicas operacionais e atividades empregadas para verificar e demonstrar o atendimento do mesmo às suas exigências de qualidade”(LARANJEIRA, 1993). Tais exigências são comentadas em detalhes a seguir.

### **2.3. Garantia da Qualidade**

Nas linhas que se seguem, são enunciadas algumas definições encontradas na literatura:

*Garantia da qualidade* é uma configuração planejada e sistemática de todos os meios e ações projetados para prover adequada confiança de que o produto final cumpre com exigências contratuais e apresenta desempenho satisfatório em serviço (CSA, 1978 <sup>2</sup>apud SINHA, 1985).

A *garantia da qualidade* pode ser definida como as atividades que, executadas de forma sistemática e planejada, visam assegurar a adequação à utilização que se deseja de um produto, dentro de níveis de desempenho, confiabilidade e custos aceitáveis (PALADINI, 1990).

A função da *garantia da qualidade* é assegurar que todas as atividades que interfiram na qualidade final de um produto sejam fundamentadas em requisitos básicos claramente definidos e que sejam corretamente executadas por pessoal competente e de acordo com planos previamente elaborados. Sua principal importância reside na possibilidade de proporcionar meios para atingir e manter a qualidade desejada. A *garantia da qualidade* não será completa, a menos que os requisitos definidos reflitam totalmente as expectativas dos usuários.

A *garantia da qualidade* compreende todas as medidas para atender a qualidade previamente definida, e, em particular, para evitar ou identificar erros. No caso da Construção Civil, em grande parte, ela consiste em estratégias contra erros humanos, uma vez que a experiência tem mostrado que essas são as principais causas de uma ruína estrutural.

### **2.4. Não-Conformidade**

A NBR ISO 8402 (1994) define *não-conformidade* como o não-atendimento de um requisito especificado. As *condições de não-conformidade*, segundo o ACI 121R (1985), são aquelas que podem afetar, desfavoravelmente, o desempenho satisfatório ou a aparência da estrutura, se permanecerem sem correção. Determinando-se a causa de tais condições, assim

---

<sup>[2]</sup> CANADIAN STANDARD ASSOCIATION (1978).

como as ações corretivas apropriadas, pode-se eliminar futuras e similares condições de não-conformidade e, inclusive, gastos desnecessários.

## 2.5. Documentos de Referência

Os *documentos de referência*, como o próprio termo indica, servem como referencial na análise comparativa das informações do projeto e execução. Eles devem ser previamente identificados e classificados, segundo LARANJEIRAS (1993), em *oficiais* e *não-oficiais*. Os *documentos de referência oficiais* são aqueles relativos à estrutura cujo projeto está sob controle da qualidade, constituindo-se, geralmente, de:

- Projeto arquitetônico;
- Projetos dos outros sistemas: drenagem, elétrico, hidráulico, ar condicionado, etc.;
- Relatórios e perfis de sondagem;
- Normas técnicas oficiais aplicáveis;
- Pareceres ou diretrizes técnicas escritas especificamente para a obra e que sejam hierarquicamente superiores ao projeto estrutural;
- Informações do mesmo projeto, constantes de desenhos já examinados e em vigor.

Os *documentos de referência não-oficiais* são todos os demais documentos que não se incluem no grupo anterior, como por exemplo, registros de práticas consagradas, recomendações e prescrições constantes da literatura técnica, mas não incorporadas, explicitamente, nas normas técnicas oficiais.

## 2.6. Exigências da Qualidade para as Estruturas

As *exigências da qualidade para uma estrutura* de betão podem ser classificadas em três grupos distintos, referentes, respetivamente, à segurança, ao bom desempenho em serviço e à durabilidade. Os requisitos relativos à segurança e ao bom desempenho em serviço devem ser observados durante toda a vida útil prevista para as estruturas, o que significa que elas devem ser projetadas e mantidas de modo que apresentem durabilidade adequada. As medidas a serem tomadas para garantir a segurança, o bom desempenho em serviço e a durabilidade de uma estrutura são baseadas nas condições de utilização e ambientais.

### a) *Grupo 1: Exigências relativas à capacidade resistente da estrutura ou de seus elementos componentes*

A segurança de uma estrutura é a probabilidade de que a sua resistência seja maior do que os esforços a que é submetida, sendo a resistência medida pela sua capacidade de suportar ações e outras influências possíveis de ocorrer durante a construção e o uso, mantendo suficiente integridade estrutural durante e após acidentes. As exigências deste grupo correspondem à segurança à rutura e deixam de ser satisfeitas quando são ultrapassados os respetivos estados limites últimos.

Os requisitos para segurança implicam em baixa (e aceitável) probabilidade de ruína estrutural capaz de causar danos à propriedade e perda de vidas humanas. Na avaliação do nível de segurança estrutural, devem ser feitas as devidas considerações de todas as

circunstâncias que possam conduzir à ruína. Tais circunstâncias podem estar associadas a: uma combinação desfavorável de variáveis aleatórias tais como:

- ações, resistências, dimensões e outras;
- erros grosseiros;
- eventos excepcionais;
- falta de manutenção etc.

Assim, com vistas à garantia da segurança de uma estrutura, devem ser considerados todos os possíveis riscos, os quais podem ocorrer, por exemplo, como resultado de:

- valores de ações ultrapassados;
- valores de resistência de materiais mais baixos do que os especificados;
- valores de parâmetros geométricos diferentes dos especificados;
- efeitos nocivos de condições ambientais excepcionalmente desfavoráveis sobre a resistência da estrutura;
- projeto, construção ou uso fora de controle como consequência de um erro grosseiro ou um evento excepcional.

Portanto, uma análise minuciosa dos riscos que podem ocorrer durante a fase de uso de uma estrutura forma a base para a especificação de medidas adequadas de segurança.

*b) Grupo 2: Exigências relativas ao bom desempenho em serviço ou durante a construção*

O bom desempenho em serviço de uma estrutura é representado pela sua capacidade de se comportar adequadamente quando submetida às condições de uso previstas. As exigências deste grupo referem-se a danos localizados, tais como fissuração excessiva, tensões exageradas de compressão, deformações inconvenientes e vibrações indesejáveis e deixam de ser atendidas quando os respectivos estados limites de utilização são ultrapassados.

Os requisitos para bom desempenho em serviço implicam em baixa (e aceitável) probabilidade de que a estrutura se torne imprópria para o uso. Portanto, tais requisitos referem-se a restrições contra:

- deformações que afetem o uso eficiente da estrutura ou a aparência de elementos estruturais e não estruturais;
- vibrações excessivas que produzam desconforto ou afetem elementos não estruturais ou equipamentos (principalmente, quando ocorre ressonância);
- danos localizados (incluindo fissuração) que reduzam a durabilidade da estrutura ou afetem a eficiência ou a aparência de elementos estruturais e não estruturais;
- outros efeitos especiais.

Assim, tendo em vista a garantia do bom desempenho em serviço (e, também, da durabilidade) de uma estrutura, devem ser consideradas todas as condições de utilização relevantes, as quais podem resultar, por exemplo, em:

- ações durante a fase em serviço e durante a fase de construção;
- condições climáticas (vento, água, neve, gelo, temperatura e combinações desses elementos);
- influências tectônicas e geotécnicas (incluindo a interferência de



- construções vizinhas);
- efeitos da presença de água no solo.

### *c) Grupo 3: Exigências relativas à durabilidade das estruturas*

Essas exigências têm como referência a conservação da estrutura, sem necessidade de reparos e manutenção dispendiosa, e deixam de ser cumpridas quando não são observados critérios de projeto que visem garantir a durabilidade das estruturas, protegendo-as contra deterioração prematura.

## **2.7. Princípios de Controle**

Muitos casos de ruína estrutural e mau desempenho em serviço de estruturas são causados por erros não detetados, cometidos alguns ainda na fase de projeto e outros na fase da execução. O controle da qualidade de projetos estruturais tem caráter preventivo, visando detectar erros e defeitos com o objetivo principal de corrigir suas causas e não só as ocorrências, objetivando, principalmente, a satisfação das necessidades dos usuários. Portanto, o principal propósito do controle é assegurar uma qualidade aceitável do projeto, através da detecção oportuna de eventuais falhas que possam comprometer a segurança, o bom desempenho em serviço e a durabilidade das estruturas.

Assim, as atividades do controle da qualidade de projetos e na execução visam, basicamente, verificar:

- se a estrutura, conforme projetada e executada, apresenta a segurança, o bom desempenho em serviço e a durabilidade requerida para o usuário que dela se beneficiará;
- se são atendidas as exigências da qualidade impostas por condições arquitetônicas, funcionais, construtivas, estruturais, de integração com os demais projetos e econômicas, como anteriormente definidas;
- se os requisitos técnicos constantes de normas são respeitados;
- se a definição da estrutura está claramente descrita nos desenhos e nas especificações.

Com relação ao projeto estrutural, um requisito fundamental refere-se à necessidade de assegurar, na fase de projeto, não só a segurança e o bom desempenho em serviço, mas também a durabilidade. A consideração das condições de exposição pode influenciar a concepção estrutural, o detalhamento, a composição do betão, o tipo de cimento etc., e isto deve ser considerado pelos projetistas na fase inicial.

A intensidade do controle depende da importância e da complexidade do projeto, da severidade das consequências de possíveis falhas (incluindo o resultado de erros humanos) e das exigências de segurança estabelecidas. Um nível maior de controle é mais dispendioso, porém possibilita tomadas de decisões mais confiáveis, devido à maior eficiência na detecção de desvios em relação às hipóteses e às especificações.

LARANJEIRAS (1993) declara que “os serviços de controle da qualidade de projetos devem ser obviamente executados antes da fase de construção e, de preferência, simultaneamente

com a fase de projeto, como condição essencial para que seus resultados se tornem efetivos e consequentes”. Assim, o desenvolvimento e o controle do projeto devem caminhar paralelamente, evidenciando a existência de uma relação íntima entre os dois processos. É importante que o processo de controle seja executado de tal modo que não interaja desfavoravelmente com a elaboração do projeto.

LARANJEIRAS (1993) afirma ainda que “a boa qualidade de um projeto estrutural é o resultado de um trabalho integrado e associado de todos que nele estão envolvidos - pessoal de projeto e pessoal de controle da qualidade - todos profissionais competentes, honestos e de boa vontade. Portanto, a responsabilidade por se atingir esta qualidade é um compromisso a ser assumido por todo o grupo e por cada participante, em particular”. De fato, a implementação efetiva de um sistema de garantia da qualidade pressupõe a completa unificação dos objetivos de todos os envolvidos, de modo que possam ser discutidas e verificadas as questões relacionadas com a qualidade. É preciso uma consciência coletiva para a qualidade. A cooperação precisa ser a base do trabalho em conjunto. Com relação ao projeto, o primeiro aspecto a ser considerado é a necessidade de estabelecer uma boa coordenação entre os projetistas de diferentes partes do projeto: arquitetônico, estrutural, instalações etc.

## **2.8. Metodologia de Controle**

O projeto estrutural consiste, principalmente, de cálculos e de preparação de desenhos, especificações, memória de cálculo e documentos similares. Desenhos e especificações são o produto final do projeto; cálculos são apenas auxiliares. Entretanto, todos os elementos são importantes para a qualidade.

Nos desenhos do projeto, tem as especificações da geometria, betão e aço a ser usado para a execução da estrutura.

O controle da qualidade de projetos estruturais consiste em examinar as informações contidas nos documentos gerados com o propósito de verificar o atendimento às exigências da qualidade, através de uma análise comparativa com os documentos de referência.

## **2.9. Avaliação das Informações do Projeto**

Os *desenhos* são a principal ligação entre as atividades de projeto e de construção e, portanto, são, em princípio, o principal objeto do controle. Todavia, nos desenhos são apresentados, as dimensões dos elementos estruturais e os materiais (Betão e Aço).

### **a) Betão**

O betão é um material formado pela mistura de cimento, de agregados grossos e finos e de água, resultante do endurecimento da pasta de cimento. Para além destes componentes básicos, pode também conter adjuvantes e adições.

Os betões são também classificados em diferentes classes de resistência de acordo com a resistência à compressão medida em cilíndricos ou cubos.

A composição do betão, para além de garantir uma determinada classe de resistência, deve ser especificada em função dos requisitos de durabilidade estabelecidos para cada obra. Isto

é, definido o período de vida útil da construção são indicados limites relativos e diversos parâmetros de composição em função das classes de exposição ambiental (agressividade do meio).

#### **b) Resistência à compressão**

A resistência à compressão é a característica mecânica mais importante do betão, pois nas estruturas a função deste material é essencialmente resistir às tensões de compressão enquanto as armaduras têm a função de resistir às tensões de tração.

A resistência à compressão é determinada em provetes submetidos a uma solicitação axial num ensaio de curta duração, isto é, com uma velocidade de carregamento elevada. Dado que a forma dos provetes, a velocidade de carregamento e outros fatores tais como a idade do betão e as condições de cura têm uma influência significativa na resistência medida, os métodos de ensaio são normalizados.

Os provetes geralmente utilizados para determinar a resistência à compressão do betão têm a forma cúbica ou prismática, sendo, entre estes últimos, os cilindros com altura dupla do diâmetro os mais usuais.

Assim, por exemplo, um C32/37 é um betão normal com uma resistência característica à compressão igual a 32MPa medida em cilindros e igual a 37MPa medida em cubos.

#### **c) Trabalhabilidade do Betão**

A água de amassadura desempenha dois papéis importantes na massa fresca e na fase de endurecimento do betão. No betão fresco, a água confere à massa a trabalhabilidade adequada para permitir uma boa colocação e compactação. Na fase de endurecimento a água participa nas reações de hidratação do cimento que conferem a resistência necessária ao betão.

Todavia, deve-se limitar ao mínimo a quantidade de água utilizada no fabrico de betão, pois a água em excesso evapora-se criando no betão uma rede de poros capilares que prejudicam a sua resistência e durabilidade. Assim, a quantidade de água a utilizar deverá ser a indispensável para se obter a trabalhabilidade pretendida. Refira-se que com o desenvolvimento dos adjuvantes plastificantes com elevado desempenho é atualmente possível utilizar quantidades muito pequenas de água no fabrico do betão sem prejudicar a trabalhabilidade.

#### **d) Armaduras**

As armaduras para betão armado podem apresentar-se de diversas formas, sendo as mais correntes os varões, os fios e as redes. As propriedades geométricas dos varões que têm maior interesse são o diâmetro, o comprimento e a configuração da superfície.

Os diâmetros dos varões variam de país para país, apresentando a norma europeia prEN10080 [31] os seguintes valores:

6 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16 – 20 – 25 – 28 – 32 – 40 mm

Os varões nervurados são os que se utilizam mais frequentemente, pois são os que conferem maior aderência entre a armadura e o betão.

### e) **Agressividade do meio**

Projetos de estruturas de betão expostas a ambientes agressivos exigem atenção especial para assegurar o desempenho e vida útil à edificação.

Diversas obras de edificações e de infraestrutura em betão armado ou pretendido são executadas em ambientes expostos a agentes agressivos. Por isso, precisam de cuidados especiais em suas fases de projeto, construção e operação para que atendam às expectativas de desempenho e durabilidade. O betão deve ser alvo de alguns cuidados especiais na fase de análises dos materiais que serão utilizados na sua formulação. "Ajustes de dosagem, materiais para minimizar a retração e preocupações quanto ao calor de hidratação são indispensáveis. A análise do ambiente em que a estrutura estará influi diretamente nas especificações do betão e das proteções para alcançar a durabilidade pretendida.

Os ambientes marinhos, por sua vez, são nocivos ao concreto por conta da presença de íons de cloro e sulfatos, além da erosão causada pela água do mar e por resíduos que podem se encrustar nas estruturas.

É importante lembrar que toda estrutura de betão, em qualquer ambiente, está suscetível à deterioração. Porém, quanto mais forte a agressividade do meio, mais rápido e mais intenso pode ser esse processo. "Além da interação com o meio, outros fatores que interferem na maior ou menor deterioração são a qualidade do betão executado, a espessura de revestimento da armadura e a frequência e eficiência de intervenções de manutenção".

As estruturas localizadas em ambientes marítimos são para além das habitações construídas junto à linha costeira, estruturas marítimas que envolvem "engenharia civil pesada" e enormes investimentos. Estas estruturas são maioritariamente construídas com betão e aço, e por este motivo, será estudado o comportamento destes dois materiais em ambiente marítimo. Há já muitos anos que a aplicação destes materiais neste tipo de ambiente, tem sido motivo de preocupação e de estudos. Louis Vicat (1857) com grande influência na evolução do betão armado, pesquisou a influência do mar na deterioração de ligantes hidráulicos. No início do século passado, Le Châtelier estudou a decomposição dos cimentos na água do mar, defendendo o mecanismo de ataque químico.

Estudos sobre o comportamento a longo prazo de argamassas e betões sujeitos à água do mar, realizados por Gjorv, Metha e Haynes, revelaram que os referidos materiais são vulneráveis a ataques dos componentes da água do mar. No entanto, os provetes mais compactos, com misturas mais ricas em cimento mostram um bom comportamento ao contrário das misturas mais pobres que sofreram uma deterioração significativa. Foi assim concluído que a durabilidade de betões e argamassas em contacto com a água do mar é mais influenciada pela permeabilidade do que pela composição do cimento. Betões mais permeáveis podem assim deteriorar-se através de ataques químicos resultantes do contacto com os componentes da água do mar. Contudo, o problema mais gravoso dos ambientes marítimos é a corrosão das armaduras.

## **2.10. Conceitos sobre lajes fungiformes**

Entende-se por lajes como elementos de superfície, planos e bidimensionais, que são aqueles onde duas dimensões (comprimento e largura) são da mesma ordem de grandeza e muito maiores que a terceira dimensão, a espessura. Destinam-se a receber a maioria das cargas aplicadas em uma edificação, normalmente de pessoas, móveis, máquinas e equipamentos, paredes, veículos, e os mais variados tipos de cargas que podem existir em função da finalidade arquitetônica do espaço que a laje faz parte. As cargas são comumente perpendiculares ao plano da laje, e podem ser divididas em distribuídas na área, distribuídas linearmente ou forças concentradas. Embora menos comuns, também podem ocorrer ações externas na forma de momentos fletores, normalmente aplicados nas bordas das lajes. As cargas são geralmente transmitidas para as vigas de apoio nas bordas da laje, mas eventualmente também podem ser transmitidas diretamente aos pilares, quando são chamadas lajes lisas ou fungiformes, com ou sem capitel.

As lajes maciças podem ser classificadas segundo diferentes critérios, como em relação à forma geométrica, dos tipos de vínculos nos apoios, quanto à direção, etc. As formas geométricas podem ter as mais variadas formas possíveis, porém, a forma retangular é a grande maioria dos casos da prática. Hoje em dia, com os avançados programas computacionais existentes, as lajes podem ser facilmente calculadas e dimensionadas, segundo quaisquer formas geométricas e carregamentos que tiverem. Uma classificação muito importante das lajes maciças é aquela referente à direção ou direções da armadura principal. Existem dois casos: laje armada em uma direção ou laje armada em duas direções.

As lajes são elementos estruturais planos, geralmente horizontais. Devido ao seu peso próprio e às cargas perpendiculares que atuam nelas, estas encontram-se essencialmente submetidas a esforços de flexão. Uma das suas características principais é a sua espessura que é notavelmente inferior quando comparada com as suas outras dimensões.

As lajes fungiformes são lajes contínuas em duas direções ortogonais, as quais apoiam diretamente nos pilares, podendo ser maciças ou aligeiradas. Normalmente estas lajes não possuem vigas aparentes.

Este tipo de lajes tem um comportamento resistente diferente do das lajes apoiadas no seu contorno, uma vez que, devido à sua condição de apoio, a estrutura é isostática e a carga propaga-se primeiro numa direção e depois na outra, até chegar aos apoios. De tal forma que, os momentos fletores maiores se produzem na direção do vão maior.

## **2.11. Tipos de laje fungiforme**

Tendo em conta os vãos a vencer, as cargas a suportar e as imposições arquitetônicas, existem vários tipos de lajes fungiformes, que se adequam às diversas situações.

### **a) Laje fungiforme maciça**

Nas lajes maciças a trajetória das cargas é realizada de uma forma multidirecional, dirigindo-se diretamente para os pilares que as suportam, tal como mostra a Figura abaixo.

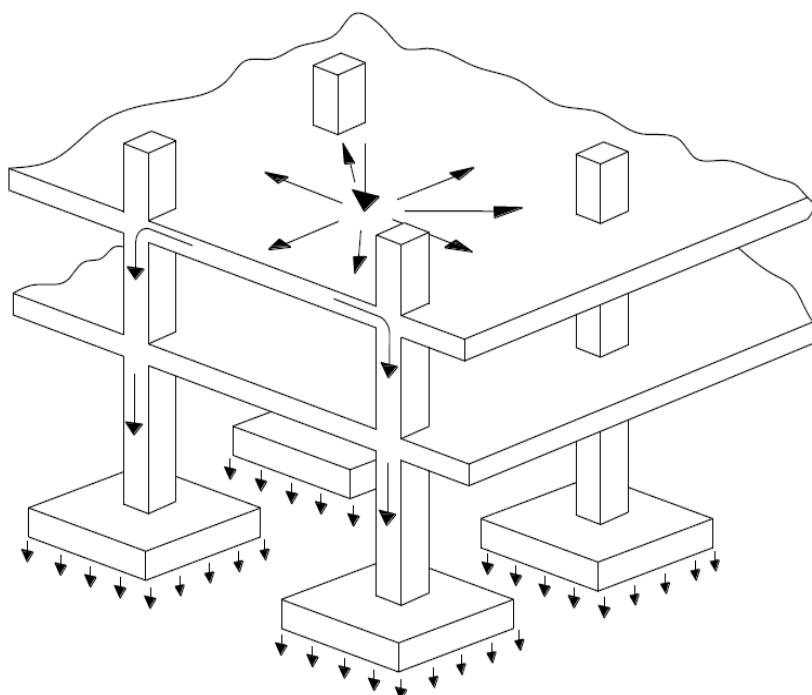


Figura 1: Modelo icónico de uma laje maciça (fonte – Trindade 2009)

#### **b) Laje fungiforme maciça de espessura constante**

Este tipo de laje mantém a sua espessura constante ao longo do vão e são usualmente utilizadas em vãos na ordem dos 4,5 a 6,0 m, com cargas de valor razoável. Entre as vantagens deste tipo de laje fungiforme, podem-se nomear, tetos lisos, facilidade de execução e menor quantidade de mão-de-obra comparada com outras soluções.

#### **c) Laje fungiforme maciça com capitéis**

Estas lajes são caracterizadas pelo alargamento da secção na zona superior do pilar ou espessamento da laje na zona dos pilares, formando assim um capitel. Para maiores vãos e/ou cargas, a espessura necessária para transmitir as ações verticais aos pilares excede a necessária para os esforços de flexão, obrigando à utilização de capitéis para evitar a rotura por punçoamento. Normalmente recorre-se a esta solução para vãos compreendidos entre os 6 a 10 m.

#### **d) Laje fungiforme aligeirada**

As lajes fungiformes aligeiradas estão constituídas por nervuras nas duas direções, por zonas maciças junto dos pilares e por vigas de bordadura. A vantagem deste tipo de lajes é a diminuição do seu peso próprio através da utilização de blocos de aligeiramento. Nestas lajes a transmissão das cargas verticais para os pilares, é mediante trajetórias retilíneas ortogonais, quebradas por meio das nervuras como mostra a Figura 2.

As características das lajes fungiformes aligeiradas são definidas pelos seguintes parâmetros:

- Distância entre eixos das nervuras,  $e$ ;
- Base das nervuras,  $b$ ;
- Altura total da laje,  $H$ ;

- Altura do bloco de aligeiramento,  $h$ ;
- Espessura da camada de compressão,  $c$ .

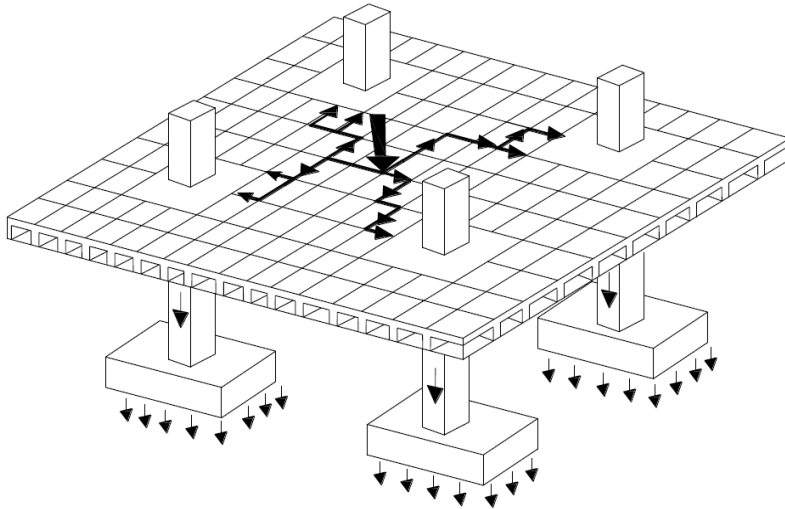


Figura 2: Modelo icônico de uma laje aligeirada (fonte - Trindade 2009)

#### e) Características, dimensões e geometrias básicas dos elementos que constituem a laje fungiforme

É necessário ter em conta algumas indicações práticas sobre as dimensões dos elementos que constituem este tipo de lajes. No entanto, geralmente as normas exigem dimensões mínimas a considerar no dimensionamento de tais elementos.

##### i. Espessura da laje

Os parâmetros que condicionam a espessura das lajes fungiformes são geralmente as deformações e o punçamento, face ao maior vão. Nas lajes maciças, a espessura não deve ser inferior ao valor mínimo entre 12 cm e  $1/32$  do maior vão. No entanto, se a laje tem maciços junto aos pilares, cuja altura  $h_1$  seja superior a  $h_0/4$  e cujo comprimento  $c$ , na direção de cada vão seja igual ou superior a um terço do vão correspondente, como mostra a Figura 3, a espessura da laje pode diminuir até 10 cm ou  $1/35$  do vão maior. No que diz respeito às lajes aligeiradas, a espessura não deve ser inferior ao valor mínimo entre 15 cm e  $1/28$  do vão maior. Na prática, estes valores mínimos não são recomendados, uma vez que, conduzem a problemas de deformação e a quantias pouco económicas. As espessuras mínimas usuais são para as lajes maciças de 15cm ou  $1/30$  e para as lajes aligeiradas de 20 cm ou  $1/25$ .

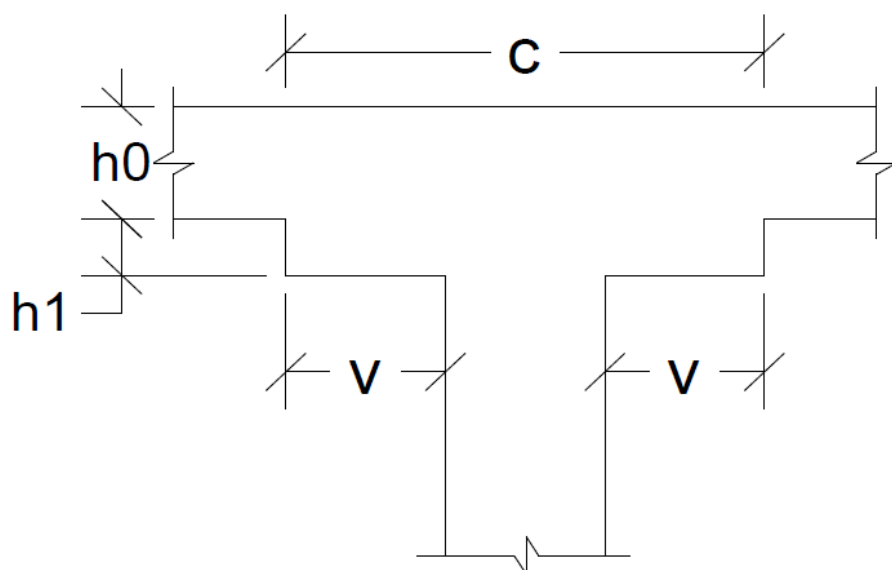


Figura 3: Modelo icônico ilustrativo das dimensões usuais (fonte - Trindade 2009)

## ii. Capitéis

O capitel é o alargamento da secção na zona superior do pilar ou espessamento da laje na zona dos pilares. Atualmente, o seu campo de aplicação tem ficado reduzido às construções do tipo industrial e a espaços comerciais, devido às elevadas sobrecargas que estes tipos de construções conduzem. Estes elementos têm como objetivo resistir aos momentos e aos esforços de corte na zona do pilar.

É importante destacar que a dimensão em planta  $a$  dos capitéis é de um décimo ou um nono do menor vão adjacente. A secção do capitel deve formar um ângulo não superior a  $45^\circ$  com o eixo do pilar. A partir desse ângulo deve considerar-se como uma zona não útil do ponto de vista resistente.

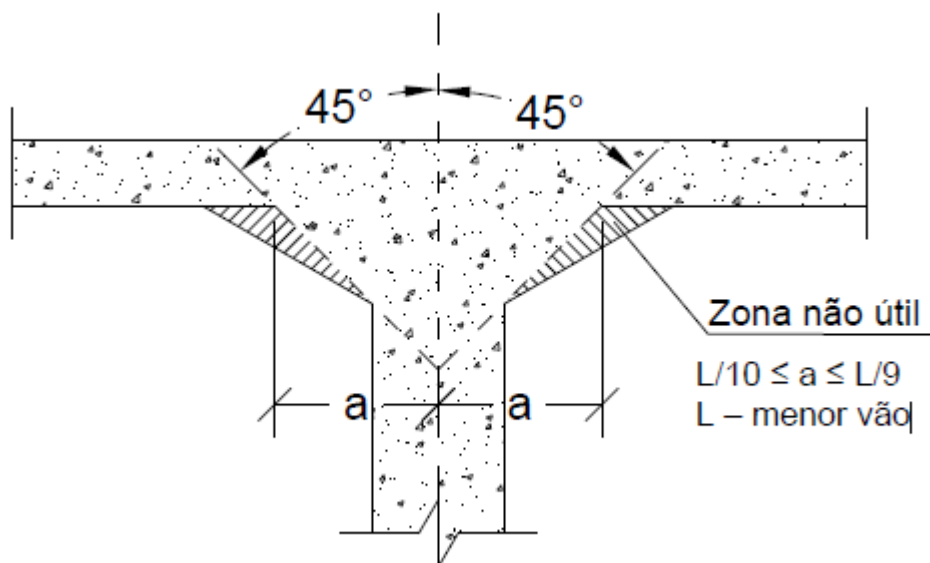


Figura 4: Modelo icônico de um capitel e o ângulo de influência (fonte - Trindade 2009)



### iii. Maciços junto aos pilares

Nas lajes aligeiradas existem maciços junto aos pilares, os quais tem como função fundamental conduzir aos pilares as cargas que recebem das nervuras e resistir ao punçoamento.

A altura destes maciços é a mesma da laje, encontrando-se, portanto, embutidos na própria laje. No entanto, quando existem grandes concentrações de esforços na zona dos pilares estes podem ter uma espessura maior à da laje, formando um capitel. Relativamente ao tamanho, os maciços devem ter no mínimo 0,15 vezes o vão correspondente, medido do eixo do pilar até ao bordo, como mostra a Figura. Porém, estes são muitas vezes condicionados pela geometria dos blocos de aligeiramento, o que leva a tamanhos superiores ao exigido.

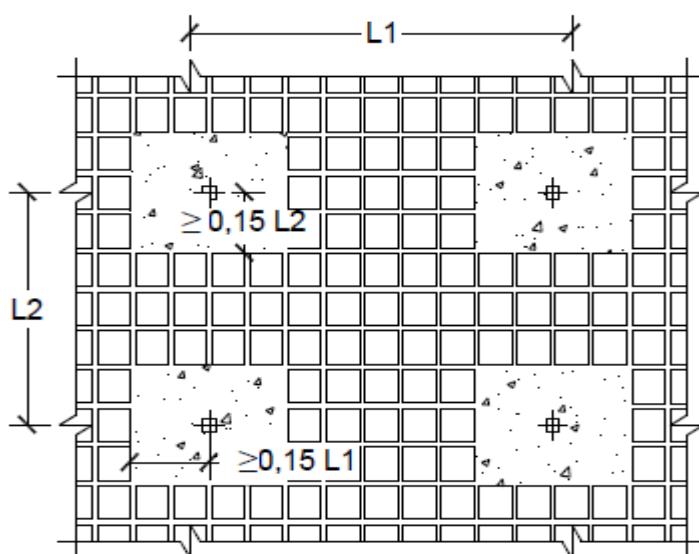


Figura 5: Modelo icónico dos maciços junto aos pilares e as dimensões mínimas (fonte - Trindade 2009)

### iv. Vigas de bordadura

As vigas de bordadura são elementos de grande importância devido às funções que desempenham, nomeadamente:

Unem o bordo da laje aos pilares;

Suportam de forma direta os elementos da fachada;

Por meio dos estribos ajudam a resistir e a evitar o punçoamento da laje nos pilares de bordo e de canto, sendo estes os mais desfavoráveis;

Melhoram o comportamento às ações horizontais;

Redistribuem os esforços irregulares.

## 2.12. Anomalias frequentes em lajes fungiformes

As anomalias estruturais mais frequentes em estruturas de lajes fungiformes estão relacionadas com a deficiente resistência à flexão e ao punçoamento. A insuficiente resistência a estes esforços é mais grave quando surge nas zonas adjacentes aos pilares, onde a concentração de esforços é elevada devido às reduzidas dimensões do apoio da laje. A insuficiente resistência ao punçoamento pode conduzir ao colapso brusco das lajes e ao colapso progressivo de um piso ou da totalidade da estrutura. Um outro aspeto característico deste tipo

estrutural é a sua elevada sensibilidade às ações sísmicas, ou, em edifícios altos em zonas de fraca sismicidade, a deformabilidade excessiva para a ação do vento, com vibrações que podem ser incómodas para os utentes. Em serviço é usual surgirem situações de fendilhação e de deformação excessivas. A deformação excessiva da laje conduz normalmente à fendilhação das paredes de alvenaria e a pavimentos deformados, enquanto a fendilhação excessiva nem sempre é aparente por ficar escondida pelos revestimentos dos pavimentos e pelos tetos falsos, podendo-se, no entanto, manifestar através da fendilhação de pavimentos rígidos ou na redução da durabilidade de lajes expostas a ambientes agressivos.

Podem-se, assim, enumerar as seguintes anomalias mais frequentes em lajes fungiformes:

- Insuficiente resistência à flexão;
- Insuficiente resistência ao punçoamento;
- Colapso progressivo;
- Sensibilidade às ações sísmicas;
- Fendilhação excessiva;
- Deformação excessiva.

### **2.13. Causas Frequentes**

As anomalias referidas resultam frequentemente de erros de projeto, de execução ou de cargas excessivas em resultado de utilização incorreta das estruturas.

#### **a) Erros de projeto**

Na fase de concepção da estrutura acontece com alguma frequência o projetista sobrevalorizar a rigidez, a resistência e a ductilidade para as ações sísmicas das ligações laje-pilar. Os sistemas de lajes fungiformes devem ser complementados com sistemas que possuam rigidez, resistência e comportamento dúctil para a ação sísmica. Assim, em zonas sísmicas as estruturas de lajes fungiformes devem ser auxiliadas por paredes resistentes e/ou pórticos viga-pilar, normalmente localizados no contorno do edifício. Um outro aspeto bastante importante no comportamento das lajes fungiformes é a possibilidade de ocorrer a rotura por punçoamento nas zonas de ligação da laje ao pilar. Este tipo de rotura não é dúctil, isto é, a laje não apresenta sintomas evidentes antes da rotura acontecer. Pelas razões referidas anteriormente, a fendilhação não é normalmente aparente e a rotura por punçoamento está associada a deformações muito pequenas que nem sempre são perceptíveis. Este tipo de rotura é brusco e não apresenta aviso prévio à sua ocorrência. A rotura por punçoamento pode, inclusivamente, conduzir ao colapso progressivo da estrutura. Têm ocorrido casos de colapso progressivo em estruturas de lajes fungiformes em fase construtiva, em situações de sobre utilização dos edifícios (excesso de carga) ou durante a ação de sismos. As ligações da laje aos pilares de bordo e de canto estão sujeitas a forças de punçoamento com grandes excentricidades, sendo esta outra razão para se dever considerar vigas no contorno dos pisos e evitar ligações laje-pilar de bordo e de canto. Alguns projetistas concebem lajes fungiformes como se de lajes vigadas se tratasse. Estas lajes são apoiadas em vigas fictícias designadas na gíria como “vigas deitadas” e que possuem a espessura da laje e a largura dos pilares onde apoiam. Este tipo de concepção está completamente errado e conduz a riscos elevados de colapso da estrutura. Ao contrário das lajes vigadas, que possuem os maiores esforços de flexão segundo o menor vão, o dimensionamento as lajes fungiformes é condicionado em flexão e em deformação pelo seu

maior vão. As lajes fungiformes dimensionadas com “vigas deitadas” também estão sujeitas a fenômenos de punçoamento junto aos pilares e também necessitam do auxílio de sistemas alternativos (paredes resistentes e/ou pórticos viga-pilar) para resistir à ação sísmica. No dimensionamento das lajes é comum o projetista usar espessuras reduzidas para os vãos e cargas a que estas irão estar sujeitas. As lajes excessivamente esbeltas conduzem a deformações excessivas, a dificuldades na pormenorização das armaduras de flexão e de punçoamento, e a situações críticas de resistência ao punçoamento. A deformação excessiva das lajes pode causar danos consideráveis nas paredes de alvenaria e nos envidraçados. O dimensionamento e pormenorização corretos das armaduras de flexão é, normalmente, suficiente para controlar a fendilhação por flexão. Em lajes, a existência de fendas com abertura excessiva é frequentemente um sintoma de insuficiência de armaduras para o estado limite de resistência à flexão. Na verificação da segurança aos estados limites de resistência ao punçoamento é também um erro frequente desprezar a excentricidade da força de punçoamento. Os erros na quantificação das forças de punçoamento, designadamente na quantificação dos efeitos das ações verticais e dos sismos, podem conduzir a situações de risco elevado de colapso. Os erros na pormenorização, ou até a ausência, das armaduras de punçoamento são, igualmente, usuais. Não nos podemos esquecer que a rotura por punçoamento é brusca, não tem pré-aviso e pode conduzir ao colapso progressivo de toda a estrutura. Por analogia com as lajes vigadas, é frequente considerar, erradamente, apenas metade das cargas verticais no dimensionamento das lajes fungiformes.

#### **b) Erros de execução**

Em fase de execução das estruturas, os erros podem surgir por incúria, ignorância ou com o propósito de reduzir os custos da obra, desrespeitando o especificado no projecto. Têm-se encontrado situações de redução da espessura da laje em relação ao definido em projecto, utilização de betões com classe de resistência inferior à especificada, montagem inapropriada das armaduras de flexão, ou redução em relação ao patente nos desenhos do projecto, e ainda, a não colocação das armaduras de punçoamento ou montagem errada destas.

### III. CASO DE ESTUDO (ACOMPANHAMENTO NA EXECUÇÃO DE LAJES FUNGIFORMES MACIÇAS)

#### 3.1. Localização e Caracterização Arquitetónica do Edifício

O estágio decorreu em um estaleiro para construção de um edifício multi-habitacional de 7 pisos com duração de execução de 24 meses, a partir de Outubro de 2020, houve uma interrupção da Obra em 2021, por questões organizacionais do dono da Obra. Depois de um período de interrupção, retornaram em Fevereiro de 2022 as obras de execução dos elementos estruturais do edifício.

A obra localiza-se na Avenida da Marginal na Cidade de Maputo, com uma área aproximadamente igual a 1 400m<sup>2</sup>.

O edifício desenvolve-se em dois blocos, ligados por uma junta de dilatação, com as seguintes funcionalidades:

- Piso de implantação/cave: Encontra-se o estacionamento, um bloco de acessos verticais (com escadas e elevadores), e sanitários.
- Os restantes 6 pisos: Estão projetados para apartamentos com mini piscinas internas.



Figura 6: Imagem da localização do canteiro de obra pelo Google Earth (fonte - autor)



Figura 7: Modelo icônico arquitetônico, alçado lateral com as cotas de cada piso (fonte - arquivos do pessoal da fiscalização)

### 3.2. Caracterização Estrutural do Edifício

A estrutura do edifício é constituída por lajes fungiformes maciças de betão armada, estando apoiadas em pilares de betão armado, muros de contenção de solos e a fundação é direta, constituída por ensoleiramento geral de betão armado.

#### a) Materiais Usados

Os materiais estruturais utilizados foram definidos de forma a garantir níveis adequados de durabilidade e resistência.

Os elementos estruturais foram executados recorrendo aos seguintes materiais:

**Betão:** os elementos estruturais constituintes do edifício serão construídos, de acordo com o REBAP, por;

o Betão B35 (C30/37);  $f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$ ;

**Aço:** o aço em varão para betão armado de acordo com as especificações do REBAP é:  
Aço A400NR em varão com diâmetros variados entre 6 – 40 mm;  
Aço A400NR em chumbadouros, quando omissos nos desenhos qualquer outro;  
Aço A400NR em malha electro soldada.

#### **b) Elementos estruturais e suas dimensões**

A estrutura do edifício é constituída por lajes fungiformes maciças de betão armada, estando apoiadas em pilares de betão armado, muros de contenção de solos e a fundação é direta, constituída por ensoleiramento geral de betão armado.

Todos os elementos da estrutura, em betão armado, serão moldados em obra por forma a garantir a continuidade e uma perfeita ligação entre os diversos elementos.

Como solução e princípio geral, adotaram-se lajes fungiformes maciças de betão armado com 0.22 m de espessura, apoiadas diretamente em pilares, possuindo armadura de punçoamento moldadas no local.

Uma das razões que se pode ter optado por seleccionar uma laje fungiforme maciça é devido às disposições de arquitetura que se pretendia.

As escadas são de lanço reto que terão um funcionamento estrutural com flexão entre patins, estando estes apoiados nas lajes dos pisos que comunica.

São basicamente constituídas por laje maciça com 0.15 m de espessura, sendo os degraus obtidos por simples enchimento em betão.

Os pilares e as paredes são em betão armado, com dimensões adequadas aos esforços a suportar e de acordo com a implantação prevista no Projeto de Arquitetura. No geral, os pilares são de secção transversal retangular, dispostos em eixo de malha retangular.

As paredes, também em betão armado, envolvendo as caixas de elevadores e as paredes das piscinas, têm em geral 0.20 m de espessura.

Os muros de contenção são de betão armado com malha dupla em toda extensão e têm em geral 0,30 m de espessura.

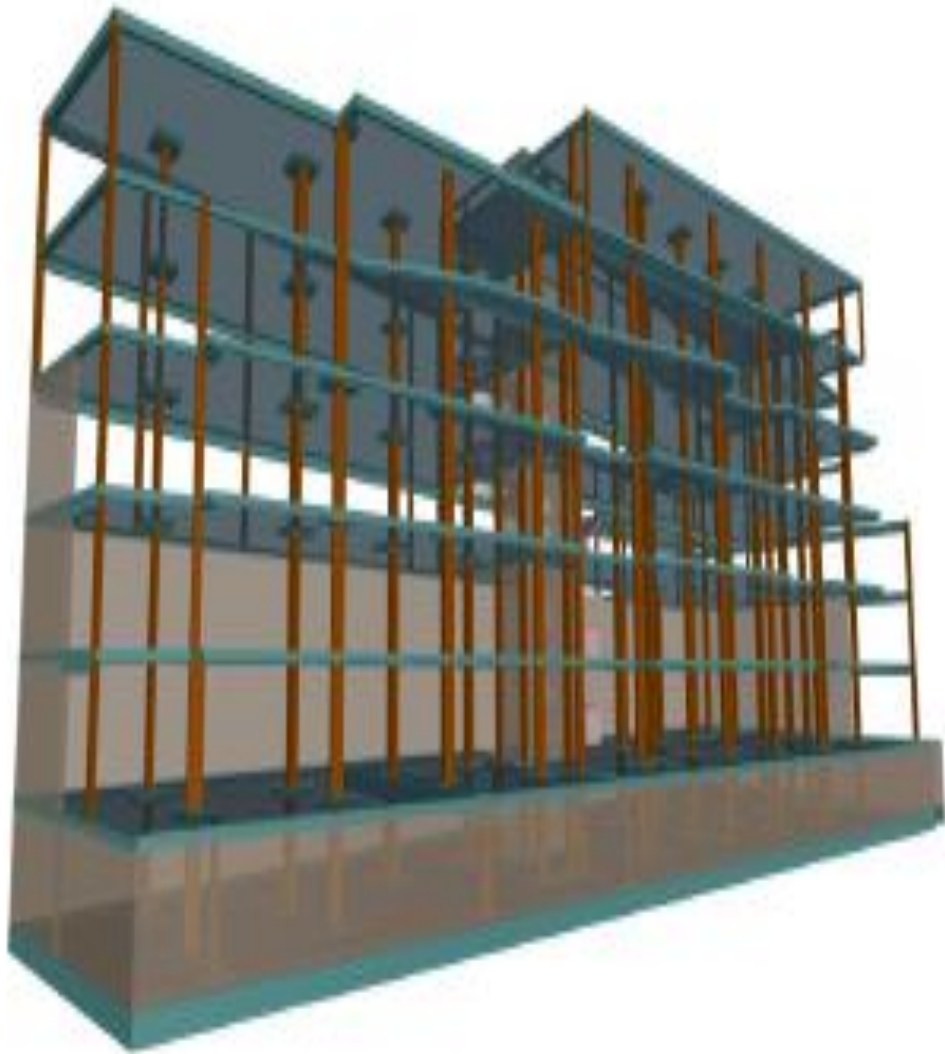


Figura 8: Modelo icónico estrutural do Edifício em 3D (fonte - arquivos do pessoal da fiscalização)

### 3.3. Descrição das Atividades Desenvolvidas

O acompanhamento diário dos trabalhos foi realizado recorrendo aos projetos ou documentos da obra e também com base em registos fotográficos, de forma a documentar e comprovar os trabalhos executados.

Neste processo recorreu-se aos alguns equipamentos tais como fita métrica, ou outros equipamentos de medição, para verificar se os trabalhos estavam sendo devidamente executados e de acordo com o preconizado.

Antes de ser enquadrado na obra, o estagiário beneficiou-se de uma capacitação sobre Higiene e Segurança no Trabalho.

#### a) Início da Obra

A empreitada teve o seu início em Dezembro 2020 e foi interrompida em Fevereiro de 2021, porém o início do estágio não correspondeu ao início da empreitada, o mesmo iniciou no dia 11 de Fevereiro de 2022, data do reinício da obra após a interrupção por um ano. Sendo assim, houve necessidade de realizar um enquadramento do estágio na empreitada.

Desde o início da empreitada (Dezembro de 2020) até à data de início do estágio (Fevereiro de 2022), os principais trabalhos realizados foram:

- Montagem do estaleiro;
- Estaqueamento e ancoragem das estacas em vigas;
- Desmatação;
- Decapagem de terra vegetal e escavação geral para plataformas de trabalho;
- Melhoramento dos solos;
- Aplicação do betão de limpeza;
- Marcação da obra;
- Execução da fundação, ensoleiramento geral;
- Execução dos elementos verticais e lajes dos primeiros dois pisos.

### 3.4. Acompanhamento na Execução dos Elementos Estruturais

Depois de um período de interrupção, retornaram em Fevereiro de 2022 as obras de execução dos elementos estruturais do edifício.

No dia 11 de Fevereiro, iniciou-se a betonagem dos elementos verticais (pilares, muros de contenção e piscinas) no **Piso +6,50**. A betonagem dos elementos foi executada em fases, abaixo encontra-se os pormenores da betonagem.

#### 3.4.1. Elementos verticais

Elementos que atuam principalmente por transmissão vertical de cargas. A função principal dos elementos verticais é de agrupar cargas de planos horizontais, colocados uns sobre os



outros e retransmiti-las verticalmente às fundações.

No caso em acompanhamento, o edifício é constituído por pilares de secção variados, muros de contenção e paredes resistentes, todos com altura de 3 metros, que suportam as lajes. Estes elementos foram executados em betão armado de classe B35 (C30/37), consistência S3/S4 e aço da classe A400, com varões de vários diâmetros.

Para a execução dos pilares foram usados:

- Cofragem metálica, de madeira e vigotas;
- Bloquetes ou espaçadores;
- Camião bomba;
- Vibrador.

A execução dos elementos verticais seguiram a seguinte a sequência:

#### **a) Amarração das armaduras dos pilares, muros e piscinas**

Preparação da armadura (executadas na obra) fazendo-se as devidas amarrações ao empalme, e a devida cintagem com estribos, conforme as indicações do projeto;

Escarificação da base, de modo a criar uma superfície rugosa, para uma melhor aderência entre o “betão velho” e o “betão novo”;

Colocação dos bloquetes para garantir o recobrimento (3,0cm), estes foram colocados por forma a manter a armadura afastada da cofragem;



Figura 9: Empalme e amarração das armaduras dos pilares(fonte – autor)



Figura 10: Empalme e amarração da armadura do núcleo do elevador (fonte - autor)

Nesta fase o **controle de qualidade** consistia em verificar se:

- As armaduras indicadas nos desenhos estão na posição e com o espaçamento especificados;
- O recobrimento está de acordo com as especificações;
- As armaduras não estão contaminadas por óleo, gordura, tinta ou outras substâncias prejudiciais;
- As armaduras estão adequadamente amarradas e fixadas de forma a evitar o seu deslocamento durante a betonagem;
- O espaçamento entre os varões é suficiente para permitir a colocação e compactação do betão.

## **b) Cofragem**

### **i. Marcação dos pilares, muros e piscinas**

Após a betonagem das sapatas e vigas de fundação da estrutura, a primeira operação consistiu em confirmar a posição do centro do pilar. Em seguida, desenhou-se a secção transversal do pilar sobre o betão, tratando-se usualmente duma figura geométrica bastante simples, teve-se o cuidado de garantir que a área interior da secção transversal da caixa de molde tem as dimensões do pilar de projeto.

### **ii. Montagem dos taipais**

Após a aplicação do óleo descofrante, os taipais foram sucessivamente colocados nas suas posições corretas para garantir as dimensões finais do pilar. As ligações foram feitas por tinjas, borboletas e régua metálicas, por se tratar de taipais metálicas.

### **iii. Verificação da verticalidade**

A verticalidade dos pilares, muros e piscinas é outra operação que mereceu atenção por parte da equipe, dado que uma cofragem mal aprumada desfigura todos os elementos.

Pôde-se garantir a verticalidade do pilar e simultaneamente o seu desempenamento através de

4 fios-de-prumo, um em cada canto do pilar. Outra ferramenta utilizada para este efeito foi a régua de nível.

#### **iv. Escoramento**

Foi umas das fases mais importantes na construção da cofragem dos pilares e da caixa do elevador. Caso não se tivesse garantido um bom escoramento, de forma a permitir uma boa dissipação de esforços, corria-se o sério risco de que, no dia da betonagem, ocorresse a rotura ou derrube da cofragem.

Neste processo foram utilizados os seguintes equipamentos: prumos metálicos extensíveis, macacos torsores, caranguejos, borboletas, tinjas e réguas metálicas.

Dado que se adotou cofragem metálica, as escoras foram ancoradas nas lajes de fundação. No caso dos pilares ligeiros isolados, colocou-se escoras nos quatro taipais. Nos casos em que num dos lados fosse possível fixar os pilares, poupou-se o escoramento no lado respetivo. O escoramento foi mantido até o betão atingir presa e resistência suficiente.

#### **v. Reforço da cofragem**

As zonas de maiores pressões do betão fresco contra a cofragem situam-se perto da base do pilar, enquanto na zona superior o seu efeito é quase nulo. Assim tomou-se o maior cuidado em reforçar a parte inferior da cofragem com barrotes mais próximos e, à medida que subia, afastou-se mais os barrotes.



Figura 11: Colocação de taipais e escoramento do muro (fonte - autor)



Figura 12: Cofragem de pilares, núcleo do elevador e piscinas ( fonte - autor)

Durante este processo, o **controle de qualidade** consistia em garantir que a cofragem cumpria os seguintes requisitos:

- Garantir a geometria definida no projeto;
- Definir a textura e qualidade da superfície do betão;
- Resistir às ações durante a construção (com reduzida deformação);
- Garantir a estanqueidade;
- Permitir a fácil desconfrangem sem introduzir danos na estrutura.

### c) Betonagem

A betonagem dos pilares, piscinas muros e da caixa de elevador foi realizada com recurso ao camião betoneira com bomba.

Nos pilares, a betonagem foi realizada em duas fases para evitar que as pressões hidrostáticas causassem a rotura das cofragens.

Neste processo, o betão foi colocado e compactado de modo a segurar que todas as armaduras e elementos a integrar no betão ficassem adequadamente embebidas de acordo com as tolerâncias do recobrimento e que se obtém a resistência e durabilidade pretendidas.



Figura 13: Betonagem dos elementos verticais com o auxílio de uma tromba da bomba de betão (fonte - autor)

Nesta fase, o **controle de qualidade** consistia em:

Quando o betão chegou à obra realizou-se uma verificação antes da sua colocação. Os seguintes aspetos foram considerados de grande importância na verificação:

- O certificado do betão onde constam as características e outros dados (quantidade, resistência, dosagem, tipo de agregado, tempo de transporte);
- Trabalhabilidade em cada leva usando um slump test;
- Identificação do lote do betão e do meio de transporte;
- O tempo decorrido desde o carregamento, transporte até à obra. O camião tinha um registo deste e doutros dados;
- Verificou-se se a especificação do betão fornecido correspondia àquela do betão solicitado.

A betonagem só foi permitida depois de a equipa de fiscalização realizar todas as tarefas de inspeção e desde que as condições climáticas o permitissem (se necessário a zona a betonar deveria ser protegida contra a radiação solar, vento forte, chuva, etc.).

Concluiu-se que a atividade referida foi bem executada, cumprindo com todos os parâmetros observados e verificados, estando em conformidade com o preconizado no projeto.

#### **d) Descofragem**

A desconfragem da caixa de elevador, dos pilares, muros e piscinas somente foi realizada após o betão ter adquirido resistência suficiente, para que fosse satisfeita a segurança em relação à rotura das peças desmoldadas. As operações de desmoldagem e descimbramento foram conduzidas de modo a que não se provocasse esforços inconvenientes, choques ou fortes vibrações.

Em teoria, os prazos mínimos de desconfragem para os pilares estão na ordem dos três a quatro dias. Refira-se que este prazo depende fortemente de um conjunto de parâmetros (tipo de cimento, recurso a adjuvantes, exposição ao solo e ao vento, volume da peça, cuidados na cura), pelo que deverá ser preconizado caso a caso.

A desconfragem dos pilares, caixa do elevador, muros e piscinas seguiu a seguinte sequência: retirada das molduras, esticadores ou grampos; retirada do escoramento; desmonte dos taipais; retirada do cangalho; tapamento de (eventuais) buracos.

Depois da desconfragem:

- As faces dos moldes foram limpas imediatamente após a sua utilização;
- Os elementos de madeira foram limpos com escovas duras para a remoção dos elementos de crostas de betão;
- Depois de limpos, os componentes dos sistemas de cofragem, que não se destinavam a imediata utilização, deviam ser armazenados.



Figura 14: Descofragem dos elementos verticais (fonte - autor)

Nesta fase, o **controle de qualidade** consistia em garantir que:

- A descofragem só será realizada quando a estrutura tiver adquirido resistência suficiente pelo endurecimento;
- Se faça a cura, regando os elementos estruturais para que não percam água de hidratação durante o endurecimento.

### 3.4.2. Lajes

As lajes, para melhor resistirem aos elevados esforços de flexão e punçoamento, dispunham de armadura de punçoamento e nos bordos.

As lajes têm uma espessura constante de 22 cm em toda a extensão dos dois blocos.

#### a) Cofragem

Cofragem é o termo que designa o “molde” que sustenta o betão fresco e lhe confere a forma final pretendida para a obra a realizar enquanto este não tem resistência para se auto sustentar. É uma construção provisória, que deve ser facilmente montável, desmontável e reutilizável, pois é montada rapidamente, solicitada durante algumas horas durante a colocação do betão e passado poucos dias é desmontada para preferencialmente ser reutilizada.

As cofragens devem obedecer a algumas características, designadamente:

- Ser resistentes o suficiente para suportar as pressões ou o peso do betão e das sobrecargas impostas;
- Ser suficientemente rígidas a fim de manter a forma sem sofrer deformações assinaláveis;
- Ser económicas em termos de do custo total da cofragem e dos betões.

Em suma, sejam cofragens verticais ou cofragens horizontais, estes elementos distinguem-se essencialmente por dois tipos: cofragens modulares ou cofragens que são dimensionadas elemento a elemento.

Em geral, a cofragem das lajes foi mais complexa do que os outros tipos de cofragem, na medida em que envolve mais elementos e a sua montagem requer mais trabalho e cuidados.

Os elementos que compõem uma cofragem são:

*Molde* - O molde da cofragem é o elemento que está diretamente em contacto com o betão fresco.

*Vigas secundárias* - Estas vigas em madeira têm uma grande proporção de resinas sintéticas que ajudam a manter a estabilidade dimensional.

*Vigas principais* - São normalmente em aço A235, constituídos por dois perfis UNP. No caso da obra foram em madeira.

*Grampo ou Ferrolho* - É um acessório em aço usado em cofragens horizontais e verticais para unir painéis e cantos interiores e exteriores.

*Barras dywigad* - São barras de aço com cones nas extremidades usadas em cofragens de pilares e paredes.

*Prumos* - São elementos normalmente tubulares que servem para alinhar a cofragem e que absorvem as cargas.

Os principais elementos para a sua execução foram os seguintes: os prumos, longarinas (vigas principais), carlingas (vigas secundárias) e painéis de cofragem (moldes).

Os procedimentos para a sua montagem são os seguintes:

- Marcação da cota de nível do fundo da laje nos pilares e/ou paredes;
- Definição do local onde serão colocados os prumos;
- Colocação dos prumos com a altura correta;
- Colocação das longarinas (vigas principais) apoiadas nos topos dos prumos e respetivo nivelamento;
- Colocação de apoios intermédios;
- Colocação das carlingas sobre as longarinas;
- Assoalho das chapas de cofragem.



Figura 15: Colocação de prumos, vigotas principais e secundárias, e assoalho das chapas de cofragem sobre as vigotas (fonte - autor)

Durante este processo, o **controle de qualidade** consistia em garantir que a cofragem cumpria os seguintes requisitos:

- Garantir que a laje esta na cota prevista no projeto;
- Garantir a geometria definida no projeto;
- Definir a textura e qualidade da superfície do betão;
- Resistir às ações durante a construção (com reduzida deformação);
- Garantir a estanqueidade;
- Permitir a fácil desconfragem sem introduzir danos na estrutura.



## b) Preparação da armadura e amarração

Armadura é o componente estrutural de uma estrutura de betão armado, formado por uma associação de diversas peças de aço.

Toda armadura tem a função de ajudar o betão a resistir às diferentes solicitações, principalmente às de tração.

Sendo que as armaduras constituídas por aço, obrigatoriamente devem estar devidamente escondido da exposição do meio externo.



Figura 16: Máquina para moldar e dobrar o aço em obra (fonte - autor)

A execução deste trabalho consistiu no acompanhamento dos trabalhos de amarração de ferro, em conjunto com o encarregado da obra, no qual foi garantido que a armadura colocada em obra era aquela que estava assinalada no projeto estrutural, de modo a garantir a boa execução do projeto.

Como nem sempre em obra se consegue cumprir o que está definido no projeto, foi necessário proceder a algumas alterações in situ, nomeadamente o reforço em algumas zonas, conversão de armadura sendo que teve-se ocasiões em que havia falta de certas armaduras descritas no projeto.



Figura 17: Amarração da malha inferior da armadura e colocação da armadura de punçoamento (fonte - autor)



Figura 18: Amarração da malha superior da armadura (fonte - autor)

Nesta fase o **controle de qualidade** consistia em verificar se:

- As armaduras indicadas nos desenhos estão na posição e com o espaçamento especificados;
- O recobrimento está de acordo com as especificações;
- As armaduras não estão contaminadas por óleo, gordura, tinta ou outras substâncias prejudiciais;
- As armaduras estão adequadamente amarradas e fixadas de forma a evitar o seu deslocamento durante a betonagem;
- O espaçamento entre os varões é suficiente para permitir a colocação e compactação do betão.

### c) **Betonagem**

A betonagem é o processo de recobrir as armaduras de Betão.

Para que o betão possua as características necessárias a um bom comportamento para cada situação, é necessário especificar as principais propriedades, de modo a que, do projectista ao utilizar seja possível garantir que terá a qualidade exigível em obra.

Contudo, na especificação do betão deverá constar, a classe de resistência, a máxima dimensão do inerte a utilizar, limitações básicas de exposição.

O Betão deve ser colocado nos moldes logo que possível a fim de minimizar a perda de trabalhabilidade. Assim sendo está etapa contem três operações fundamentais: a preparação da superfície, o lançamento do meio de transporte, e a maneira como deve ficar depositado para receber a compactação.

Logo a seguir a colocação do betão nos moldes e necessário torná-lo o mais compacto possível provocando a saída do ar, e facilitando o arranjo interno das partículas.

Os métodos que se utilizam para conseguir esta finalidade são dois: apiloamento e vibração.

A betonagem da laje foi executada com recurso ao betão pronto, transportado em camiões-betoneira.

Enquanto o betão era colocado com auxílio de uma manga, um dos operários media a altura do betão à medida que os outros vibravam e alisavam a superfície. Teve de se garantir que o vazamento do betão não era feito de grandes alturas.

No processo de betonagem, a equipe de fiscalização garantiu que os seguintes cuidados eram tomados:

A vibração do betão era feita de modo a não provocar a segregação e feita com instrumentos próprios para o efeito. Durante este processo, houve um especial cuidado em não danificar as cofragens.

Não se podia pisar muito a armadura nem vibrá-la pois os espaçadores poderiam sair do lugar, ficando a armadura sem o recobrimento necessário.



Figura 19: Betonagem da laje com o auxílio de uma bomba (fonte - autor)

Nesta fase, **o controle de qualidade** consistia em:

#### **i. Betão**

Para o betão Fresco recomenda-se que tenha duas propriedades básicas que são: facilmente trabalhável e não ser propenso à segregação.

Os ensaios em betões são fundamentais para avaliar a consistência, a resistência mecânica e a durabilidade do betão. Estes ensaios são referentes ao betão fresco (*Slump Test*) e ao betão endurecido (resistência à compressão) e as suas metodologias estão especificadas em normas, guias técnicos e outros documentos oficiais existentes. Na prática, estes ensaios têm como finalidade principal o controle de qualidade e a verificação das especificações.

#### **Ensaio de abaixamento do cone de Abrams (Slump Test)**

Este é um ensaio cujo objetivo é medir a trabalhabilidade do betão fresco, que é a maior ou menor facilidade com que o betão é transportado, colocado, adensado e acabado e a maior ou menor facilidade com que se desagrega ou segrega.

Neste ensaio mediu-se grau de deformação de um tronco de cone de betão, quando o molde é retirado rapidamente.

Um brusco aumento do abaixamento pode significar, por exemplo, que o teor de humidade do inerte aumentou inesperadamente; a diminuição no abaixamento, ou alteração no espectro do cone, podem ser devidas a uma variação inesperada na granulometria do inerte. As variações bruscas no abaixamento e no espectro do cone podem, portanto, fornecer avisos úteis ao pessoal que procede à amassadura.

O Teste de Abaixamento ou *Slump Test* é um simples teste que serve para verificar se o betão está sendo preparado com a trabalhabilidade adequada.

A forma usada para estimar a trabalhabilidade, é a partir da medição da consistência pode

medir-se por vários processos tais como abaixamento do cone, e ensaio de Vêbê (VB), sendo correntemente mais utilizado o ensaio de abaixamento. Recorre-se às Classes de consistência do ensaio de abaixamento de acordo com a NP ENV 206 – 1.

Classe	Abaixamento (mm)
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	>210

Tabela 1 : Tabela com os valores recomendados para cada classe de trabalhabilidade (fonte-autor)



Figura 20: Teste de slump (fonte - autor)

### Ensaio de compressão

A resistência à compressão é a característica mecânica mais importante do betão, pois nas estruturas a função deste material é essencialmente resistir às tensões de compressão enquanto as armaduras têm a função de resistir às tensões de tração. A resistência à compressão é determinada em provetes submetidos a uma solicitação axial num ensaio de curta duração, isto é, com uma velocidade de carregamento elevada.

Uma vez que o endurecimento do betão se processa ao longo do tempo, a resistência à compressão, tal como as outras características deste material, evolui também no tempo. Como para efeito de dimensionamento das estruturas se considera a resistência do betão aos 28 dias, estabeleceu-se esta idade para caracterizar esta propriedade.

Assim, no caso da obra, a resistência à compressão foi determinada sobre moldes cúbicos de 15cm de aresta, mantidos em condições saturadas, aos 28 dias de idade.



Figura 21: Próvetes para o ensaio de compressão do betão (fonte - autor)

#### d) Descofragem

Esta tarefa resumiu-se basicamente aos seguintes procedimentos:

- Retirada dos prumos, iniciando pelos prumos do centro para os extremos;
- Retirada das vigas principais e secundárias
- E por fim, retiraram-se os painéis de cofragem.

Nesta fase, **o controle de qualidade** consistia em:

A equipe exigiu que o início da desconfragem obedecesse aos prazos mínimos de desmoldagem (REBAP), que no caso das lajes variam entre os 7 e os 21 dias.

Iniciou-se a desconfragem pelas zonas menos esforçadas e, passados alguns dias, depois de o betão ter ganho maior resistência, descofrou-se o resto dos moldes. Para facilitar a desconfragem, recorreu-se a óleos descofrantes, especialmente pelo facto de as mesmas serem de madeira que tem a desvantagem de se colar ao betão, o que poderia levar ao seu arrancamento no ato da desmoldagem.

Após a desconfragem, fez-se uma limpeza dos painéis, para que estes pudessem ser novamente aplicados (sem ter restos de betão presas às tábuas, o que colocaria em risco a qualidade do betão).

Moldes e Escoramentos	Tipo de Elemento		Prazo (dias)
Moldes e Faces Laterais	Sapatas, Vigas, Pilares, Paredes		3
Moldes de Face Inferiores	Lajes	≤ 6 m	7
		≥ 6 m	14
	Vigas		14
Escoramentos	Lajes	≤ 6 m	14
		≥ 6 m	21
	Vigas		21

Tabela 2: Tabela de prazos para a desconfragem de cada elemento estrutural.(fonte- REBAP)



Figura 22: Descobragem e escoramento da laje (fonte - autor)

### 3.5. Outras atividades

Fora as atividades diretamente envolvidas com a execução da estrutura, durante o estágio foi possível acompanhar diversas outras atividades tais como: Divisores, hidráulica e eletricidade.

#### 3.5.1. Divisores

A colocação do *water bar* era uma atividade que era feita para garantir o estancamento de água nas juntas de dilatação. Para garantir essas juntas era aplicado o esferovite dilatação. O edifício possui dois blocos, sendo assim possui uma junta de dilatação tendo um comprimento superior a 30 metros.



Figura 23: Tratamento das juntas de dilatação (fonte - autor)

Para o caso das juntas de construção, em zonas onde pode haver infiltração de água, foi usado o cordão hidrófilo, este que tem a função de estancar a passagem de água.



Figura 24: Tratamento das piscinas para evitar infiltrações (fonte - autor)

### 3.5.2. Hidráulica e Eletricidade

Após a montagem das armaduras e antes da betonagem da laje, procedeu-se à montagem dos negativos de eletricidade, paralelamente à instalação dos negativos de águas de abastecimento e de drenagem de águas residuais domésticas. Para além da instalação da tubagem de drenagem, foi acompanhada a instalação das tubagens das piscinas.

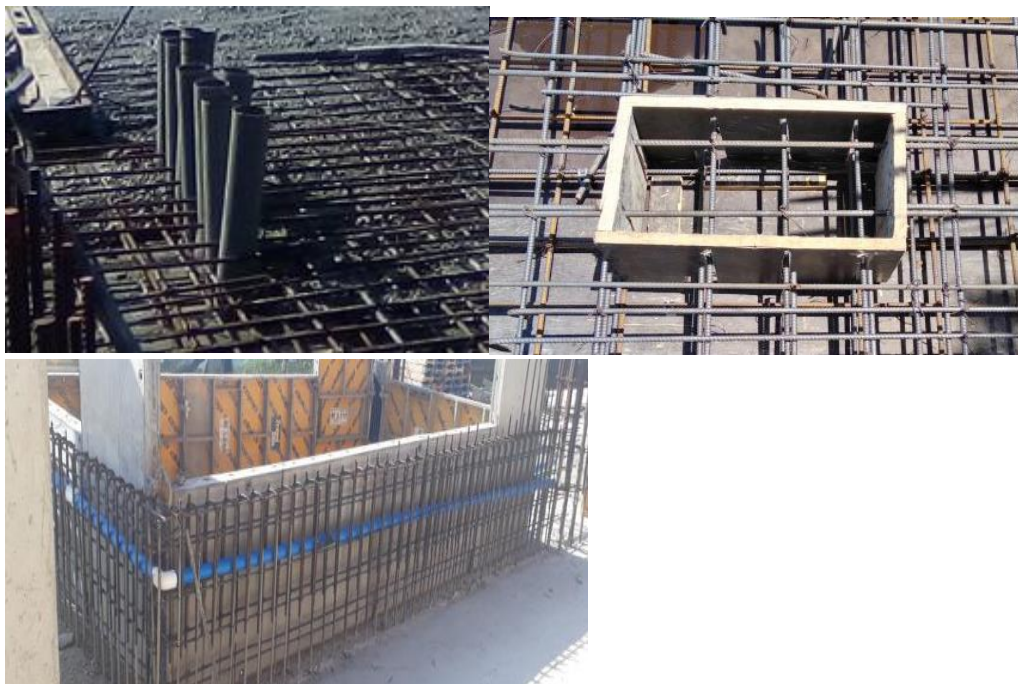


Figura 25: Colocação de negativos na laje e piscinas para a passagem de cabos de eletricidade e tubagem hidráulica (fonte - autor)

Após a execução de todas as atividades em obra, a seguir mostra-se o resumo das atividades executadas e o seu controle de qualidade.

Itens	Operação	Como executar	O que controlar	Como controlar	Quem controla	Quando (frequência)	Quanto	Critério de aceitação ou rejeição
1	Marcação do pé direito	Marcação da cota de referência nos pilares	Cota do pé direito	Fita nível de mangueira/ nível	Fiscal	Durante a operação	Totalidade	± 1 cm na cota
2	Escoramento	Colocação de escoras conforme plano de escoramento	Espaçamento Qualidade das escoras	Fita métrica Visual			De acordo com o plano de escoramento	± 5 cm de acordo com plano de escoramento aprovado pelo Projectista
3	Cofragem	Montagem com painéis metálicos ou madeira	Recobrimento	Fita métrica			- 0.5 cm	
			Qualidade da cofragem	Visual				
4	Execução e colocação das armaduras	Execução conforme projecto	Secção	Fita métrica			Totalidade	Sendo "a" a dimensão em causa: a = 40cm ↔ ±0.05 a a > 40 cm ↔ ±2 cm
			Identificação dos varões	Analisando o projecto				Diametro exigido no Projecto
			Espaçamento					-Arm. Longitudinal: ±1cm - Arm. Transversal (estribos): nº exato de armadura por metro
			Comprimento dos Varões					No mínimo, conforme projecto
5	Marcação dos negativos	Execução de negativos e roços	Recobrimento	Fita métrica			-0.5 cm	
			Amarrações				No mínimo o exigido	
6	Betonagem e vibração	Aplicação do betão	Altura do betão	Pela altura da cofragem	No início da operação	± 1 cm		
		Com vibrador	Execução da Vibração	visual				
7	Descoramento e descofragem	Remoção das cofragens e escoras, conforme caderno de encargos	Tempo de cura	Visual		Quadro XVIII, REBAP moldes de faces inferiores: 1 ≤ 6 m = 7 dias, 1 > 14 = 14 dias Descoramento 1 = 6 m ↔ 14 dias, 1 > 6 m ↔ 21 dias		

Tabela 3: Tabela resumo das atividades executadas e o seu controle (fonte-autor)





Figura 26: Edifício após a execução (fonte - autor)

### **3.6. Patologias se a qualidade não for garantida**

#### **a) Deterioração do Betão**

Pode ser causado por:

- Falta de vibração do betão;
- Dimensionamento errado do diâmetro dos agregados;
- Abertura da cofragem;
- Taxa excessiva da armadura.

#### **b) Segregação do Betão**

Pode ser causado por:

- Uso excessivo do vibrador;
- Lançamento errado do betão;
- Abertura da cofragem.

#### **c) Deformação geométrica**

A deformação é causada pelas falhas no escoramento dos elementos estruturais.

#### **d) Armadura exposta**

Pode ser causado por:

Falhas no processo da betonagem;  
Não amarração da armadura;  
Falta de espaçadores ou bloquetes.

## **IV. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **4.1. Conclusão**

A evolução da tecnologia dos materiais tem conduzido a um aumento significativo das resistências empregadas, possibilitando a utilização de elementos estruturais com seções cada vez mais delgadas. Com isso, torna-se imprescindível que seja direcionada maior atenção aos aspectos da durabilidade, uma vez que peças mais esbeltas são também mais vulneráveis às influências ambientais.

Atualmente nas obras, não é dada tanta importância a qualidade da execução das estruturas. A maior preocupação dos empreiteiros é com os prazos. Porém se as estruturas forem mal executadas podem apresentar defeitos e conseqüentemente dar mais trabalho por refazer o que já antes tinha sido feito, atrasando em grande parte o prazo das obras.

Mais vale, executar as estruturas no tempo estabelecido pelas normas construtivas, do que perder tempo e dinheiro tentando ser rápido.

Prevenindo as possíveis patologias que podem surgir em obra, e de extrema importância o acompanhamento cuidadoso da execução dos elementos estruturais, no caso de acontecer algo fora dos padrões de qualidade deve se corrigir imediatamente.

### **4.2. Recomendações**

Após a observação tida ao longo do período do estágio profissional e o estudo de caso do controle de qualidade das lajes fungiformes em ambiente agressivo, recomendo os seguintes cuidados na execução:

Todas as pessoas envolvidas no processo construtivo devem ter um mínimo de conhecimento sobre os mais importantes mecanismos de deterioração do betão, os parâmetros que os governam e as formas de combatê-los. Este conhecimento forma a base para a preparação de especificações adequadas, tendo em vista a durabilidade das estruturas.

Aos projetistas, cabe a tarefa de providenciar para que o projeto seja elaborado de forma mais cuidadosa e detalhada, contendo especificações apropriadas e completas, principalmente com relação aos materiais a serem empregados, tendo em vista a durabilidade das estruturas nas condições de exposição previstas. Tem-se observado que, em geral, os requisitos de segurança são satisfatoriamente atendidos, ao passo que as exigências de bom desempenho em serviço e de durabilidade são, muitas vezes, deixadas em segundo plano.

Aos construtores, recomenda-se que estejam mais atentos aos procedimentos apropriados para execução do betão, principalmente com relação às atividades de lançamento, adensamento e cura. Ainda com relação aos construtores, que, em geral, são os contratantes de projetos estruturais, fica o alerta para a conscientização de que devem ser dadas aos projetistas condições adequadas - referentes a preço e, principalmente, prazo -, para que possam desenvolver seus projetos, buscando sempre a melhor solução estrutural e, também, a otimização do processo construtivo.

No ato da colocação do betão sempre usar o vibrador para garantir que não haja vazios, que posteriormente será o ponto de entrada de ares agressivos que irão corroer a armadura.

## V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (1985). ACI 121R-85: Quality assurance systems for concrete construction. Detroit, Michigan.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1978). NBR 6118 - Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro.
- Farinha, J. Brazão - “A Moldagem do Betão e a Organização do Estaleiro da Construção”, LNEC, 1972.
- SOUZA, Coutinho, Propriedades e Fabrico do Betão, Lisboa, Vol. 2, 2004
- Appleton, J., Marchão, C. (2007). Estruturas de betão Armado. Departamento de Engenharia Civil, IST, Lisboa.
- REBAP, Regulamento de Estruturas de Betão Armado e pré-esforçado.
- REAE, Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios.
- BAUER, Falcão; Matérias de Construção, Brasil, Vol1.
- DA CUNHA, Paulo Jorge Perreira; Conformidade da Resistência a compressão, Portugal, Universidade do Minho, 2011.
- ANTONIO COSTA, Estruturas de betão I – parte II, Matérias, Instituto superior técnico, 2002.
- BRANDÃO, ANA MARIA DA SILVA, Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado, Universidade de São Paulo, 1998
- MARYANGELA G. & FABIANO MORELLI, Caracterização da agressividade do ambiente marinho às estruturas de concreto, Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica - ITA, São José dos Campos, SP
- CROSBY, P.B. (1979). Quality is free. New York, USA, McGraw-Hill.
- CANADIAN STANDARD ASSOCIATION (1978). Standard Z299.1-1978 - Quality Assurance Program Requirements.
- COELHO FILHO, J.S. (1996). Os caminhos para a qualidade da construção. ABECE Informa, São Paulo, Entrevista, maio/96, ano 1, n.4, p.3-5.
- HELENE, P.R.L. (1993). Durabilidade das estruturas de concreto armado. In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 3., São Paulo, 1993. Anais. São Paulo, EPUSP/PEF. p.37-48.