



UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU

DESENVOLVIMENTO DE ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES  
PARA LAJES DE CONCRETO

São Paulo

2023

Sergio David da Cruz

DESENVOLVIMENTO DE ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES  
PARA LAJES DE CONCRETO

Dissertação apresentada, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil, junto ao programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* da Universidade São Judas Tadeu.

Orientador: Prof. Dr. Renan Pícolo Salvador

São Paulo

2023

#### **FICHA CATALOGRÁFICA**

Cruz, Sergio David da

DESENVOLVIMENTO DE ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES  
PARA LAJES DE CONCRETO / Sergio David – São Paulo, 2023.

P 76 fls.

Dissertação de mestrado profissional em engenharia civil (Mestre em  
Engenharia Civil) – Universidade São Judas Tadeu.

Orientador: Prof. Dr. Renan Pícolo Salvador.

Bibliografia:

1.Infiltração 2.aditivo impermeabilizante 3. Laje de concreto

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a minha mãe Nely (in memoriam), meu pai José, minha esposa Noemi, meu filho Serginho, meus familiares, amigos, professores e orientadores que me ajudaram e me apoiaram a seguir em frente nos momentos mais difíceis durante a realização desta pesquisa e que respeitaram minha ausência em alguns momentos importantes de suas vidas para que pudesse me dedicar a este estudo.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me fortalecer e me sustentar a cada dia para me manter firme em busca dos meus objetivos e metas.

A minha família por servir de alicerce para me apoiar nos momentos difíceis

Ao programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* da Universidade São Judas Tadeu pela aceitação na participação no curso.

Ao Professor Doutor Renan Pícolo Salvador, orientador deste trabalho, por todo apoio teórico e técnico nas pesquisas.

Aos professores do programa de pós-graduação *stricto sensu* da Universidade São Judas Tadeu por todo apoio no desenvolvimento das disciplinas.

A empresa TEC-MACHINE Fibra Estruturais por patrocinar toda esta pesquisa e fornecer os insumos para realização dos ensaios.

A Secretaria de Pós-Graduação pelo auxílio na resolução dos assuntos administrativos.

Aos técnicos dos laboratórios de engenharia civil da Universidade São Judas Tadeu por todo apoio na realização dos ensaios.

Aos alunos do curso de engenharia civil que apoiaram na realização do mapeamento.

## **RESUMO**

Desde a antiguidade habitar em um local seguro protegido da chuva e do sol com a família sempre foi uma necessidade do ser humano, o homem primitivo habitava em cavernas com suas famílias para protegê-las e esta necessidade perdura até os dias atuais. A proteção da edificação contra a ação deletéria da água se faz necessário, pois causam problemas de saúde aos moradores, problema estrutural como a oxidação das armaduras e consequentemente menor vida útil da edificação. Nas edificações residenciais populares não é usual a aplicação de algum tipo de aditivo impermeabilizante para o concreto, este é um dos motivos das manifestações patológicas como fissuração do concreto são comumente encontradas nas lajes de concreto e consequentemente a infiltração de água pelas fissuras. O objetivo desta pesquisa é desenvolver um aditivo impermeabilizante para laje com característica específica de impermeabilização do concreto e reduzir as manifestações patológicas. Para o desenvolvimento do impermeabilizante serão realizados ensaios de caracterização, campanhas experimentais de testes em escala laboratorial e testes em campo em escala real para avaliar o desempenho e a eficácia do aditivo impermeabilizante. O aditivo impermeabilizante para laje será uma possível solução para as patologias comuns em lajes de concreto sendo as principais trincas e fissuras com isto terá uma redução do custo final obra, ganho de área de lazer na laje, redução no custo de manutenção e aumento da vida útil do imóvel.

**Palavras-chave:** infiltração, aditivo impermeabilizante, laje de concreto.

## **ABSTRACT**

Since ancient times, living in a safe place protected from rain and sun with the family has always been a human need, primitive man lived in caves with his family to protect them and this need lasts until the present day. The protection of the building against the deleterious action of water is necessary, as it causes health problems for residents, structural problems such as oxidation of the reinforcements and, consequently, a shorter useful life of the building. In popular residential buildings, it is not usual to apply some type of waterproofing additive to concrete, this is one of the reasons for pathological manifestations such as concrete cracking, which are commonly found in concrete slabs and, consequently, water infiltration through cracks. The objective of this research is to develop a waterproofing additive for slabs with a specific characteristic for waterproofing concrete and reducing pathological manifestations. For the development of the waterproofing additive, characterization tests, experimental campaigns of tests on a laboratory scale and field tests on a real scale will be carried out to evaluate the performance and effectiveness of the waterproofing additive. The waterproofing admixture for the slab will be a possible solution for common pathologies in concrete slabs, such as shrinkage cracks.

**Keywords:** infiltration, waterproofing additive, concrete slab.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Fluxograma da estrutura da pesquisa .....                                           | 16 |
| Figura 2: Laje maciça (BASTOS, 2021). .....                                                   | 17 |
| Figura 3: Laje nervurada (BASTOS, 2021). .....                                                | 18 |
| Figura 4: Laje pré-fabricada (BASTOS, 2021). .....                                            | 19 |
| Figura 5: Ensaio de abatimento tronco cone .....                                              | 30 |
| Figura 6: Avaliação e Notas para as Respostas das Empresas .....                              | 40 |
| Figura 7: Resistência característica do concreto à compressão utilizada na carta-traço. ....  | 44 |
| Figura 8: Comparação entre teor de cimento utilizado por m <sup>3</sup> . ....                | 45 |
| Figura 9: Relação água e cimento nas misturas. ....                                           | 45 |
| Figura 10: Utilização de agregados por empresa. ....                                          | 46 |
| Figura 11: Fluxo de avaliação de desempenho do concreto .....                                 | 49 |
| Figura 12: Projeto da laje com áreas de concretagem com e sem o uso do aditivo. ....          | 57 |
| Figura 13: Escoramento da laje com pontaletes. ....                                           | 59 |
| Figura 14: Adição dos materiais no balão do caminhão .....                                    | 59 |
| Figura 15: Ensaio de abatimento e consistência do concreto em obra .....                      | 60 |
| Figura 16: Lançamento e adensamento do concreto da laje. ....                                 | 60 |
| Figura 17: Processo de cura do concreto da laje. ....                                         | 61 |
| Figura 18: Laje de concreto com o uso do aditivo e sem fissuração. ....                       | 63 |
| Figura 19: Laje de concreto sem o uso do aditivo e com fissuração. ....                       | 63 |
| Figura 20: Tubos transparentes para ensaio de absorção de água direta no início do ensaio ... | 64 |
| Figura 21: Tubos transparentes para ensaio de absorção de água direta após 48 horas. ....     | 64 |
| Figura 22: Esquema de montagem das formas e escoramentos da laje .....                        | 67 |
| Figura 23: Esquema de montagem da laje apoiada nos escoramentos. ....                         | 67 |
| Figura 24: Adição dos aditivos no balão do caminhão de concreto .....                         | 68 |
| Figura 25: Lançamento do concreto na laje .....                                               | 69 |
| Figura 26: Adensamento e acabamento do concreto na laje .....                                 | 69 |
| Figura 27: Processo de cura do concreto da laje. ....                                         | 70 |
| Figura 28: Laje pronta sem o escoramento pronta para uso. ....                                | 70 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Correspondência entre a classe de agressividade do ambiente e relação a/c do concreto ..... | 22 |
| Tabela 2: Correspondência entre a classe de agressividade do ambiente e o cobrimento nominal .....    | 22 |
| Tabela 3: Causas de Manifestações Patológicas (VITÓRIO, 2003) .....                                   | 31 |
| Tabela 4: Dados da carta traço informações técnicas .....                                             | 42 |
| Tabela 5: Dados da carta traço materiais do concreto. ....                                            | 43 |
| Tabela 12: Materiais selecionados para a campanha experimental 1.....                                 | 50 |
| Tabela 13: Traço da campanha experimental 1.....                                                      | 50 |
| Tabela 14: Resultados médios dos ensaios campanha experimental 1.....                                 | 52 |
| Tabela 15: Resultados médios absorção de água por capilaridade campanha experimental 1. ....          | 53 |
| Tabela 16: Materiais selecionados para a campanha experimental 2.....                                 | 54 |
| Tabela 17: Traço referência da campanha experimental 2.....                                           | 54 |
| Tabela 18: Resultados médios dos ensaios campanha experimental 2.....                                 | 55 |
| Tabela 19: Resultados médios absorção de água por capilaridade campanha experimental 2. ....          | 56 |
| Tabela 20: Traço do concreto utilizado no teste em campo.....                                         | 58 |
| Tabela 21: Resultado médio dos ensaios de desempenho do concreto com o uso do aditivo.. ....          | 62 |
| Tabela 22: Resultado do ensaio de absorção direta do concreto com e sem o uso do aditivo.. ....       | 65 |

# SUMÁRIO

|        |                                                                             |    |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.     | Introdução .....                                                            | 13 |
| 1.1.   | Justificativa .....                                                         | 14 |
| 1.2.   | Objetivos .....                                                             | 14 |
| 1.3.   | Estrutura da dissertação .....                                              | 15 |
| 2.     | Revisão Bibliográfica .....                                                 | 17 |
| 2.1.   | Tipos e definições das lajes de concreto .....                              | 17 |
| 2.1.1. | Laje maciça .....                                                           | 17 |
| 2.1.2. | Laje nervurada .....                                                        | 18 |
| 2.1.3. | Laje pré-fabricada .....                                                    | 19 |
| 2.2.   | Dimensionamento de lajes .....                                              | 19 |
| 2.3.   | Procedimento executivo .....                                                | 20 |
| 2.4.   | Dosagem de concreto para lajes .....                                        | 21 |
| 2.4.1. | Mistura do concreto .....                                                   | 22 |
| 2.4.2. | Lançamento do concreto .....                                                | 23 |
| 2.4.3. | Adensamento .....                                                           | 25 |
| 2.4.4. | Acabamento .....                                                            | 26 |
| 2.4.5. | Cura .....                                                                  | 26 |
| 2.5.   | Impermeabilização de Lajes de Concreto .....                                | 27 |
| 2.5.1. | Projeto de Impermeabilização .....                                          | 27 |
| 2.5.2. | Impermeabilização Rígida .....                                              | 28 |
| 2.5.3. | Impermeabilização Flexível .....                                            | 28 |
| 2.6.   | Controle Tecnológico do Concreto .....                                      | 29 |
| 2.6.1. | Controle Tecnológico do Concreto no Estado Fresco .....                     | 29 |
| 2.6.2. | Controle Tecnológico do Concreto no Estado Endurecido .....                 | 30 |
| 2.7.   | Manifestações patológicas em lajes de concreto .....                        | 31 |
| 2.7.1. | Retração .....                                                              | 32 |
| 2.7.2. | Fissuração .....                                                            | 33 |
| 2.7.3. | Carbonatação .....                                                          | 34 |
| 2.7.4. | Corrosão da armadura .....                                                  | 34 |
| 2.7.5. | Desagregação .....                                                          | 35 |
| 3.     | Mapeamento da qualidade de concretos utilizados em lajes em São Paulo ..... | 36 |
| 3.1.   | Metodologia do mapeamento .....                                             | 36 |
| 3.2.   | Avaliação das respostas do questionário .....                               | 38 |
| 3.3.   | Análise da dosagem do concreto fornecido .....                              | 41 |

|        |                                                                                       |    |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.   | Análise das instruções fornecidas sobre o manejo e cura da laje.....                  | 47 |
| 3.5.   | Análise dos procedimentos de controle de qualidade das empresas de concreto .....     | 47 |
| 3.6.   | Conclusões parciais do mapeamento da qualidade de concretos.....                      | 47 |
| 4.     | Desenvolvimento de aditivos impermeabilizantes para concretos destinados a lajes..... | 48 |
| 5.     | Caracterização de concretos produzidos com os aditivos desenvolvidos .....            | 49 |
| 5.1.   | Campanha experimental 1 .....                                                         | 50 |
| 5.1.1. | Materiais .....                                                                       | 50 |
| 5.1.2. | Dosagem.....                                                                          | 50 |
| 5.1.3. | Procedimento de preparação do concreto e corpos de prova .....                        | 51 |
| 5.1.4. | Ensaio de caracterização do concreto .....                                            | 52 |
| 5.1.5. | Resultados .....                                                                      | 52 |
| 5.1.6. | Conclusões parciais campanha experimental 1 .....                                     | 53 |
| 5.2.   | Campanha Experimental 2 .....                                                         | 54 |
| 5.2.1. | Materiais do concreto .....                                                           | 54 |
| 5.2.2. | Dosagem do concreto .....                                                             | 54 |
| 5.2.3. | Procedimento de preparação do concreto e corpos de prova .....                        | 55 |
| 5.2.4. | Ensaio de caracterização do concreto .....                                            | 55 |
| 5.2.5. | Resultados .....                                                                      | 55 |
| 5.2.6. | Conclusões parciais campanha experimental 2 .....                                     | 56 |
| 6.     | Estudo de campo.....                                                                  | 57 |
| 6.1.   | Projeto da laje .....                                                                 | 57 |
| 6.2.   | Dosagem do concreto para o teste em campo .....                                       | 58 |
| 6.3.   | Concretagem da laje.....                                                              | 58 |
| 6.4.   | Cura da laje teste em campo.....                                                      | 60 |
| 6.5.   | Avaliação de desempenho do concreto com aditivo impermeabilizante.....                | 61 |
| 6.6.   | Ensaio de laboratório do concreto no estado endurecido .....                          | 61 |
| 6.6.1. | Avaliação comparativa da laje no teste em campo .....                                 | 62 |
| 6.6.2. | Ensaio em campo de absorção de água direta .....                                      | 63 |
| 6.7.   | Conclusões parciais do teste em campo .....                                           | 65 |
| 7.     | Manual de instruções e boas práticas para laje de concreto.....                       | 66 |
| 7.1.   | Formas e escoramento da laje .....                                                    | 66 |
| 7.2.   | Montagem da laje .....                                                                | 67 |
| 7.3.   | Adições do concreto.....                                                              | 68 |
| 7.4.   | Mistura do concreto.....                                                              | 68 |
| 7.5.   | Lançamento do concreto .....                                                          | 69 |
| 7.6.   | Adensamento e acabamento do concreto.....                                             | 69 |

|      |                           |    |
|------|---------------------------|----|
| 7.7. | Cura do concreto.....     | 70 |
| 7.8. | Desforma da laje .....    | 70 |
| 8.   | Considerações finais..... | 71 |
| 9.   | Referências .....         | 73 |

## 1. Introdução

Um dos métodos construtivos mais empregados atualmente no Brasil para edificações populares é composto por uma estrutura de concreto armado com paredes de alvenaria de vedação. Como cobrimento, é montada uma laje, composta de vigotas treliçadas e fechamento em poliestireno expandido ou lajotas cerâmicas. Após sua montagem e escoramento, é realizado o cobrimento com concreto usinado ou concreto preparado na obra (FLÓRIO, 2004).

A falta de conhecimento técnico de uma parcela dos proprietários aliada à falta de acompanhamento de um profissional qualificado pode levar a edificações deficientes. As lajes de concreto costumam apresentar manifestações patológicas derivadas de processos executivos inadequados e da falta de controle tecnológico. Pelo fato de a laje estar fora do alcance visual, por vezes são negligenciadas, não sendo tratadas com a importância necessária (MORA et al., 2019).

Segundo Tkach et al (2015), a durabilidade do concreto depende da transferência de massa de água, soluções aquosas ou sais corrosivos na matriz. De acordo com a ABNT NBR 9575 (ABNT, 2010), a impermeabilização é definida como um conjunto de operações e técnicas construtivas, composta por uma ou mais camadas, que tem por finalidade proteger as construções contra a ação deletéria dos fluidos, de vapores e de umidade. As principais maneiras de impermeabilizar lajes são:

- Impermeabilização rígida, com aplicação de aditivo na argamassa ou no concreto.
- Impermeabilização flexível, com a aplicação de manta líquida acrílica e manta asfáltica.
- Cobertura das lajes com telhado.

No cenário atual da construção civil, a cada dia estão sendo desenvolvidas novas tecnologias e indústrias têm direcionado seus esforços para pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e processos (IBRACON, 2017). Neste contexto, o principal foco desta pesquisa é desenvolver uma solução técnica por meio de aditivos impermeabilizantes para aplicação em lajes de concreto. O desenvolvimento de aditivos impermeabilizantes pode contribuir significativamente para minimizar os principais problemas causados por infiltração de água, como: deterioração da armadura da laje, do forro e do mobiliário, problemas de

saúde causados pela geração de mofo e elevados custos com manutenção corretiva (APAY, 2016).

### **1.1. Justificativa**

A infiltração de água é um dos principais fatores que afeta a durabilidade das estruturas de concreto, pois atua como meio de transporte de agentes que causam a deterioração da matriz do concreto e da armadura estrutural. A solução de impermeabilização tradicional de concretos inclui aditivos bloqueadores e tratamento dos poros, como os derivados de sílica (AL-RASHED; AL-JABARI, 2021). Com o uso de tais aditivos, é possível reduzir a permeabilidade do concreto, aumentando a vida útil da edificação.

A microfissuração é comumente encontrada em lajes de concreto, devido à retração plástica e por secagem do concreto. Tais fissuras podem propagar e expandir formando uma trinca, que por sua vez propicia a infiltração de água na estrutura, reduzindo sua vida útil. Diante disto, o uso de aditivos que promovam o preenchimento dos poros da matriz e minimizem sua microfissuração pode ser considerado uma solução para reduzir as manifestações patológicas que causam a infiltração de água nas lajes (ASPIOTIS et al., 2021). Com isso, a manutenção das lajes é reduzida significativamente e torna-se mais econômica, quando comparada a lajes produzidas com concretos convencionais (RAJASEGAR; KUMAAR, 2020).

### **1.2. Objetivos**

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um aditivo impermeabilizante que promova a redução da permeabilidade e da fissuração do concreto aplicado em lajes. Com isso, pretende-se reduzir as manifestações patológicas mais comuns nesses elementos que propiciam a infiltrações de água. Para cumprir este objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- I. Mapear a qualidade do concreto fornecido para lajes residenciais no estado de São Paulo, por meio de pesquisa de campo com concreteiras;
- II. Desenvolver duas formulações de aditivo impermeabilizante com diferentes tecnologias;

- III. Avaliar a influência do aditivo impermeabilizante nas propriedades do concreto no estado fresco e no estado endurecido;
- IV. Realizar teste em campo em escala real para verificação do desempenho do aditivo impermeabilizante na redução das manifestações patológicas em laje de concreto;
- V. Elaborar um manual com instruções técnicas para redução das manifestações patológicas em lajes de concreto.

### **1.3. Estrutura da dissertação**

Esta dissertação contém 8 capítulos e sua estrutura está apresentada na figura 1. No capítulo 1, são apresentados os conceitos fundamentais ligados ao tema no formato de uma breve contextualização, bem como os objetivos do trabalho. No capítulo 2, é apresentada a revisão da literatura. Os capítulos de 3 a 6 apresentam os resultados obtidos no trabalho de pesquisa. O capítulo 7 apresenta o manual técnico para boas práticas construtivas de lajes de concreto, o capítulo 8 as considerações finais e, por fim, o capítulo 9 lista as referências bibliográficas utilizadas.

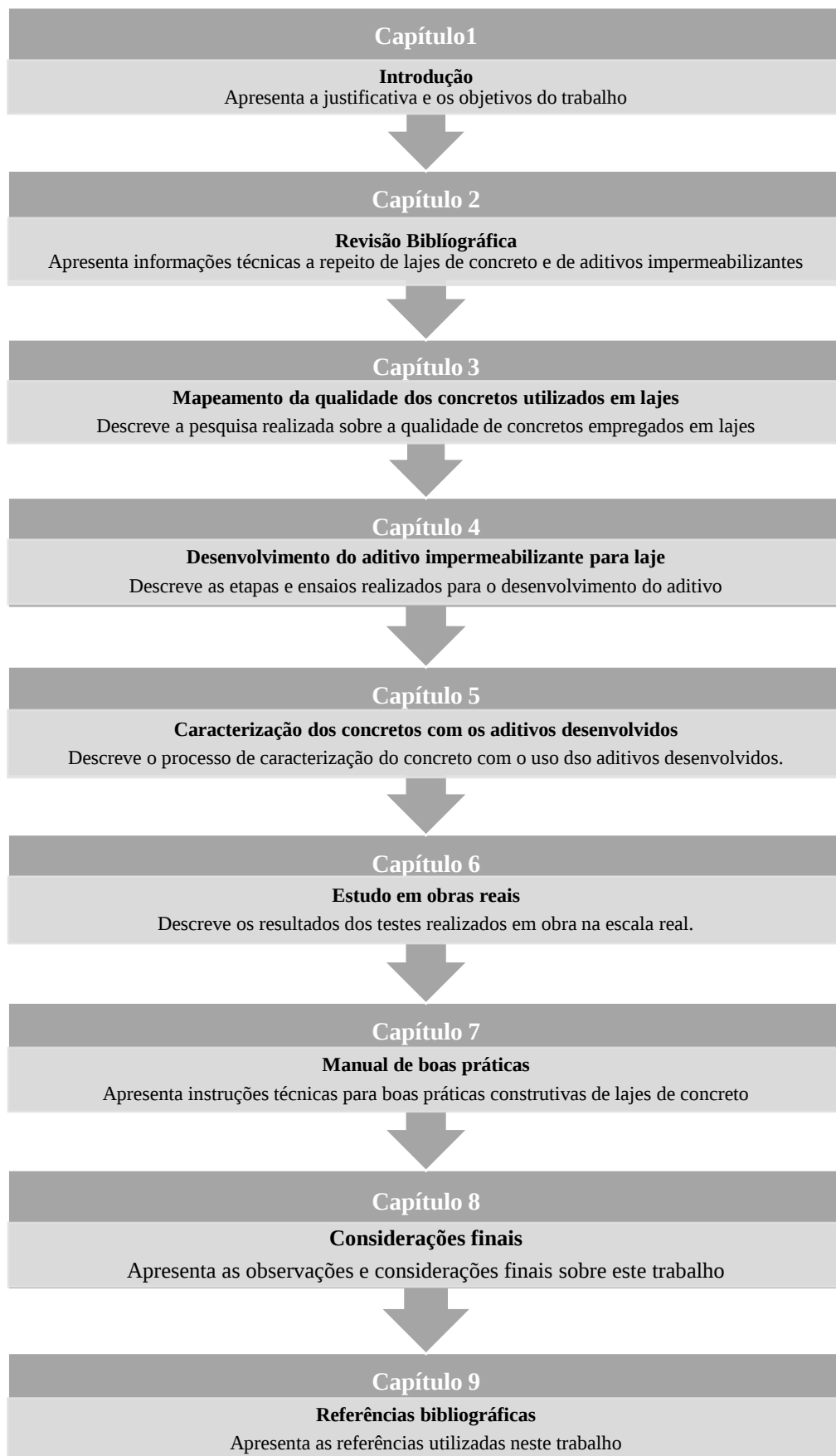


Figura 1: Fluxograma da estrutura da pesquisa

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Tipos e definições das lajes de concreto

De acordo com a norma ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), existem 3 tipos de lajes: maciças, nervuradas e pré-fabricadas. Neste tópico, será apresentada a definição de cada um destes tipos de lajes de concreto.

#### 2.1.1. Laje maciça

Laje maciça é aquela onde toda a espessura é composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão, eventuais armaduras transversais, apoiadas em vigas ou paredes ao longo das bordas, como mostra a figura 2. Tais lajes são projetadas para os mais variados tipos de edificações, como edifícios de múltiplos pavimentos (residenciais, comerciais etc.), muros de arrimo, escadas, reservatórios, indústrias, hospitais, pontes e viadutos. De modo geral, não são aplicadas em edificações de pequeno porte, onde as lajes nervuradas pré-fabricadas apresentam vantagens econômicas e executivas (BASTOS, 2021).



Figura 2: Laje maciça (BASTOS, 2021).

A normatização nacional estipula que devem ser respeitados os limites máximo e mínimo para espessura de lajes maciças, com as medidas mínimas de 7 cm para lajes não em balanço, 10 cm para lajes em balanço, e até 16 cm para lajes protendidas bi apoiadas e em pisos contínuos (BASTOS, 2021).

### 2.1.2. Laje nervurada

Segundo a norma ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), lajes nervuradas podem ser moldadas no local ou pré-moldadas. Nesse tipo de laje, a zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras, entre as quais pode ser colocado material inerte como blocos de poliestireno expandido, blocos cerâmicos ou de concreto. As lajes nervuradas podem ser armadas, em função da existência de nervuras, como mostra a figura 3. A laje nervurada é particularmente indicada quando há necessidade de vencer grandes vãos ou resistir a altas ações verticais (BASTOS, 2021).



Figura 3: Laje nervurada (BASTOS, 2021).

A espessura da mesa, quando não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a  $1/15$  da distância entre as faces das nervuras e não menor que 4 cm. O valor mínimo absoluto da espessura da mesa deve ser 5 cm quando existirem tubulações embutidas de diâmetro menor igual a 10 mm. Para tubulações com diâmetro ( $\emptyset$ ) maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de  $4\text{ cm} + \emptyset$ , ou  $4\text{ cm} + 2\emptyset$  no caso de haver cruzamento destas tubulações. A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm e nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão, conforme norma ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014).

### 2.1.3. Laje pré-fabricada

Segundo a norma ABNT NBR 14859 (ABNT, 2016), laje pré-fabricada é um elemento estrutural plano, constituído por elementos pré-fabricados, estruturais e inertes de enchimento e/ou de forma permanente, armaduras e concreto complementar de obra. Pode ser maciça, nervurada unidirecional “T”, nervurada unidirecional seção duplo “T”, capaz de vencer vãos e suportar carregamento, conforme especificações de projeto. A figura 4 apresenta a montagem de uma laje pré-fabricada com vigotas de concreto e fechamento com lajotas cerâmicas.



Figura 4: Laje pré-fabricada (BASTOS, 2021).

## 2.2. Dimensionamento de lajes

Para dimensionar uma estrutura composta de lajes, vigas e pilares, é necessário conhecer o tipo de pavimento ou de forro onde será instalada. Com isso, determinam-se as cargas e, posteriormente, detalham-se as vigas e os pilares (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2014). Deve ser colocada uma armadura de distribuição posicionada na capa, nas direções transversal e longitudinal, para a distribuição das tensões oriundas de cargas concentradas e para o controle da fissuração, conforme norma ABNT NBR 14859 (ABNT, 2016).

Os elementos pré-moldados, nas fases de montagem e concretagem, são os elementos resistentes do sistema e têm capacidade de suportar, além de seu peso próprio, a ação das lajotas, do concreto da capa e de uma pequena carga variável para um vão de até 1,5 m (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2014). Na análise dos esforços resistentes de uma seção de viga ou pilar.

### 2.3. Procedimento executivo

As lajes de concreto e os painéis de laje de fundação (radier) devem seguir todas as etapas do processo construtivo descrito subsequentemente (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2014):

**Etapa 1:** Nivelamento e acerto do piso e execução do escoramento, normalmente composto de pontaletes e “guias mestres” (tábuas), que devem ser colocadas em espelho. Nessa etapa, ainda deverão ser executadas as contra flechas, quando necessárias;

**Etapa 2:** Colocação das vigotas, posicionando lajotas (ou outro material de enchimento) nas extremidades, como gabarito do espaçamento entre vigotas. Duas situações são possíveis:

**Apoio das vigotas sobre a estrutura de concreto armado:** as vigotas devem ser apoiadas sobre as formas, após estarem alinhadas, niveladas, escoradas e com a armadura colocada e posicionada. Devem penetrar nos apoios pelo menos 5 cm e no máximo igual a metade da largura da viga. A concretagem das vigas deve ser simultânea à execução da capa;

**Apoio das vigotas diretamente sobre alvenaria:** deve-se respaldar a alvenaria e distribuir uma ferragem sobre ela para formar uma cinta de solidarização. As vigotas devem penetrar nos apoios de modo semelhante ao anterior, e a concretagem da cinta também deve ser simultânea à da capa.

**Etapa 3:** Colocação dos elementos de enchimento (lajotas cerâmicas, blocos de poliestireno expandido ou outros), tubulação elétrica, caixas de passagem etc. Os blocos da primeira carreira podem ter um dos lados apoiados diretamente sobre a parede e o outro sobre a primeira linha de vigotas.

**Etapa 4:** colocação das armaduras de distribuição e negativas (quando necessário), conforme indicação (bitola, quantidade e posição) fornecida pelo projetista ou fabricante. A armadura negativa deve ser apoiada e armada sobre a armadura de distribuição e estar colocada transversalmente às vigotas principais.

**Etapa 5:** limpeza cuidadosa da interface entre as nervuras e o concreto a ser lançado, evitando-se a presença de areia, pó, terra, óleo ou qualquer substância que possa prejudicar a transferência de esforços entre as superfícies de contato. Deve-se sempre umedecer a interface antes da concretagem, sem que haja acúmulo de água.

**Etapa 6:** concretagem da capa de concreto, que deve ser acompanhada de alguns cuidados. O concreto deve ser adensado suficientemente para que penetre nas juntas entre as vigotas e os elementos de enchimento. Além disso, o processo de cura deve ser adequado, por molhagem contínua por pelo menos 7 dias após a concretagem.

**Etapa 7:** retirada do escoramento, que deve ocorrer aproximadamente 15 dias depois do lançamento do concreto. Nos edifícios de múltiplos pavimentos, o escoramento do piso inferior não deve ser retirado antes do término da laje imediatamente superior.

## **2.4. Dosagem de concreto para lajes**

A norma ABNT NBR 12655 (ABNT, 2022) define que a composição de concreto de classe C20 ou superior, a ser utilizado na obra, deve ser definida, em dosagem racional e experimental, com a devida antecedência em relação ao início da concretagem da obra. O estudo de dosagem deve ser realizado com os mesmos materiais e condições semelhantes àquelas da obra, tendo em vista as prescrições do projeto e as condições de execução. O cálculo de dosagem do concreto deve ser refeito cada vez que for prevista uma mudança de marca, tipo ou classe do cimento, na procedência e qualidade do agregado e dos demais materiais. Os materiais para fabricação do concreto para lajes são agregado graúdo, miúdo e cimento e o tipo e quantidade de cada material são estabelecidos pela empresa fabricante do concreto para obter a relação água:cimento resistência característica do concreto de acordo com a classe de agressividade do local onde o concreto será aplicado (MORAES, 2010).

De acordo com a norma ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), deve-se avaliar a classe de agressividade do ambiente para definição da relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto, conforme tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Correspondência entre a classe de agressividade do ambiente e relação a/c do concreto

| Concreto (a)                          | Tipo (b, c) | Classe de Agressividade |             |             |             |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                       |             | I                       | II          | III         | IV          |
| Relação<br>água/cimento em massa      | CA          | $\leq 0,65$             | $\leq 0,60$ | $\leq 0,55$ | $\leq 0,45$ |
|                                       | CP          | $\leq 0,60$             | $\leq 0,55$ | $\leq 0,50$ | $\leq 0,45$ |
| Classe de concreto<br>(ABNT NBR 8953) | CA          | $\geq C20$              | $\geq C25$  | $\geq C30$  | $\geq C40$  |
|                                       | CP          | $\geq C25$              | $\geq C30$  | $\geq C35$  | $\geq C40$  |

(a) O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

(b) CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

(c) CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Tabela 2: Correspondência entre a classe de agressividade do ambiente e o cobrimento nominal

| Tipo de estrutura       | Componente ou elemento                          | Classe de Agressividade Ambiental |    |     |        |
|-------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|----|-----|--------|
|                         |                                                 | I                                 | II | III | IV (c) |
|                         |                                                 | Cobrimento nominal (mm)           |    |     |        |
| Concreto armado         | Laje (b)                                        | 20                                | 25 | 35  | 45     |
|                         | Viga/pilar                                      | 25                                | 30 | 40  | 50     |
|                         | Elementos estruturais em contato com o solo (d) | 30                                |    | 40  | 50     |
| Concreto protendido (a) | Laje                                            | 25                                | 30 | 40  | 50     |
|                         | Viga/pilar                                      | 30                                | 35 | 45  | 55     |

(a) Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

(b) Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas, as exigências desta tabela podem ser substituídas, respeitando um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

(c) Nas superfícies expostas a ambientes agressivos devem, ser atendidos cobrimentos da classe IV.

(d) No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

#### 2.4.1. Mistura do concreto

De acordo com a norma ABNT NBR 12655 (ABNT, 2022), a base de medida do concreto para estabelecimento da sua composição, da sua requisição comercial ou fixação do seu volume é o metro cúbico de concreto no estado fresco adensado. Os materiais para concreto de classe C20 e não estruturais, de acordo com a norma ABNT NBR 8953 (ABNT,

2015), devem ser medidos em massa, ou em massa combinada com volume. Por massa combinada com volume, entende-se que o cimento seja sempre medido em massa e que o canteiro deva dispor de meios que permitam a confiável e prática conversão de massa para volume de agregados, levando em conta a umidade da areia.

A medida volumétrica dos agregados somente é permitida para os concretos preparados no próprio canteiro de obras. Os materiais para concreto de classe C25 e superiores, de acordo com a norma ABNT NBR 8953 (ABNT, 2015), devem ser medidos em massa. Sílica ativa, metacaulim e outros materiais pozolânicos devem ser sempre medidos em massa. Os componentes do concreto devem ser misturados até formar uma massa homogênea. Esta operação pode ser executada na obra, na central de concreto ou em caminhão betoneira. O equipamento de mistura utilizado para este fim, bem como sua operação, deve atender as especificações do fabricante quanto à capacidade de carga, velocidade e tempo de mistura (AÏTCIN; FLATT, 2016).

De acordo com a norma ABNT NBR 7212 (ABNT, 2021), o volume de concreto não pode exceder a capacidade nominal de mistura do equipamento utilizado, devendo-se sempre respeitar a especificação do fabricante. O concreto preparado em centrais dosadoras deve ser misturado no caminhão-betoneira por tempo correspondente a 30 segundos para cada metro cúbico de concreto, no mínimo por 3 minutos em velocidade de mistura de 2 a 6 rotações por minuto. Para centrais misturadoras, devem ser seguidas as indicações do fabricante do equipamento. Quando o concreto preparado é transportado em caminhão-betoneira, este deve ser mantido em mistura em baixa rotação, entre 2 e 6 rotações por minuto, ou conforme indicação do fabricante do equipamento, até o momento da descarga.

#### **2.4.2. Lançamento do concreto**

A norma NBR 14931 (ABNT, 2004) descreve que, antes da aplicação do concreto, deve ser feita a remoção cuidadosa de detritos. O concreto deve ser lançado e adensado de modo que toda armadura, além dos componentes embutidos previstos no projeto, seja adequadamente envolvida na massa de concreto. Em nenhuma hipótese, deve ser realizado lançamento do concreto após o início da pega. Concreto contaminado com solo ou outros materiais não deve ser lançado na estrutura.

O concreto deve ser lançado o mais próximo possível de sua posição definitiva, evitando-se incrustação de argamassa nas paredes das formas e nas armaduras. Devem ser tomadas precauções para manter a homogeneidade do concreto. No lançamento convencional,

os caminhos não devem ter inclinação excessiva, de modo a evitar a segregação decorrente do transporte. O molde da forma deve ser preenchido de maneira uniforme, evitando o lançamento em pontos concentrados, que possa provocar deformações do sistema de formas.

O concreto deve ser lançado com técnica que elimine ou reduza significativamente a segregação entre seus componentes, observando-se maiores cuidados quanto maiores forem a altura de lançamento e a densidade de armadura. Estes cuidados devem ser majorados quando a altura da queda livre do concreto ultrapassar 2 m, no caso de peças estreitas e altas, de modo a evitar a segregação e falta de argamassa (como nos pés de pilares e nas de concretagem de paredes). Entre os cuidados que podem ser tomados, no todo ou em parte, recomenda-se o seguinte:

- Emprego de concreto com teor de argamassa e consistência adequada, a exemplo de concretos com características de bombeamento;
- Lançamento inicial de argamassa com composição igual à da argamassa do concreto estrutural;
- Uso de dispositivos que conduzam o concreto, minimizando a segregação (funis, calhas e trombas, por exemplo).

Deve haver um cuidado especial em evitar o deslocamento de armaduras, dutos de protensão, ancoragens e formas, bem como para não produzir danos nas superfícies das formas, principalmente quando o lançamento do concreto for realizado em peças altas, por queda livre. As formas devem ser preenchidas em camadas de altura compatível com o tipo de adensamento previsto (ou seja, em camadas de altura inferior à altura de agulha do vibrador mecânico) para se obter um adensamento adequado. Em peças verticais esbeltas, tipo paredes e pilares, pode ser conveniente utilizar concretos em diferentes consistências, de modo a reduzir o risco de exsudação e segregação. Cuidados especiais devem ser tomados até nas concretagens correntes, tanto em lajes inclinadas quanto em lajes planas, sempre conduzindo o concreto lançado contra o já adensado.

De acordo com a norma ABNT NBR 7212 (ABNT, 2021), as temperaturas recomendadas devem ser observadas na aplicação de concreto convencionais. Outras temperaturas sugerem cuidados especiais que devem ser indicados pelo responsável da aplicação. A temperatura do concreto, por ocasião do seu lançamento, deve ser no mínimo 5 °C e de no máximo 32 °C, de modo a minimizar ocorrências indesejáveis, como fissuração, variação de resistência mecânica, alterações de tempo de pega etc.

### 2.4.3. Adensamento

O adensamento do concreto é uma das etapas mais importantes na produção das estruturas e interfere significativamente em suas características e propriedades finais. De maneira geral, o adensamento para obras de médio e grande porte é feito por meio da aplicação de energia mecânica ao concreto. O adensamento deve fazer com que o concreto preencha todos os espaços das formas (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2014).

A norma ABNT NBR 14931 (ABNT, 2004) descreve que durante e imediatamente após o lançamento, o concreto deve ser vibrado contínua e energicamente com equipamento adequado à sua consistência. Durante o adensamento, devem ser tomados os cuidados necessários para que não formem ninhos ou haja a segregação dos materiais. Deve-se evitar a vibração da armadura para que não formem vazios ao seu redor, com prejuízos da aderência. No adensamento manual, a altura das camadas de concreto não deve ultrapassar 20 cm e a altura da camada de concreto a ser adensada deve ser menor que 50 cm, de modo a facilitar a saída de bolhas de ar.

O plano de lançamento deve estabelecer a altura de camadas do concreto e o processo mais adequado de adensamento. No caso de alta densidade de armaduras, cuidados especiais devem ser tomados para que o concreto seja distribuído em todo o volume da peça e o adensamento se processe de forma homogênea.

Quando forem utilizados vibradores de imersão, a espessura da camada deve ser aproximadamente igual a  $\frac{3}{4}$  do comprimento da agulha. Ao vibrar uma camada de concreto, o vibrador deve penetrar cerca de 10 cm na camada anterior. Tanto a falta como o excesso de vibração são prejudiciais ao concreto. Devem ser tomados os seguintes cuidados durante o adensamento com vibradores de imersão:

- Preferencialmente aplicar o vibrador na posição vertical;
- Vibrar o maior número possível de pontos ao longo do elemento estrutural;
- Retirar o vibrador lentamente, mantendo-o sempre ligado, a fim de que a cavidade formada pela agulha se feche novamente;
- Não permitir que o vibrador entre em contato com a parede da fôrma, para evitar a formação de bolhas de ar na superfície da peça, mas promover um adensamento uniforme e adequado em toda a massa de concreto, observando cantos e arestas, de maneira que não se formem vazios;

- Mudar o vibrador de posição quando a superfície se apresentar brilhante.

#### **2.4.4. Acabamento**

De acordo com a norma ABNT NBR 14931 (ABNT, 2004), para obter uma superfície durável e uniforme de concreto, processos adequados devem ser cuidadosamente seguidos. Inicialmente, a escolha do traço e conseqüentemente da consistência do concreto deve atender aos requisitos de projeto da estrutura e às condições de trabalhabilidade necessárias. Os processos de lançamento e adensamento devem ser realizados de forma a obter um material homogêneo e compacto, ou seja, sem apresentar vazios na massa de concreto, com o mínimo manuseio possível, para se obter os resultados desejados no acabamento das peças concretadas.

Deve ser evitada a manipulação excessiva do concreto, como processos de vibração muito demorados ou repetidos em um mesmo local, que provoca a segregação do material e a migração do material fino e da água para a superfície (exsudação), prejudicando a qualidade da superfície final com o conseqüente aparecimento de efeitos indesejáveis.

#### **2.4.5. Cura**

Após o início da pega, a hidratação do cimento se desenvolve com grande velocidade, e neste período, a água existente na mistura tem a tendência de sair pelos poros do material e evaporar. Esta evaporação pode comprometer as reações de hidratação do cimento, fazendo com que o concreto sofra uma diminuição do volume (retração) maior que o usual. Essa retração, parcialmente impedida pelas formas e armaduras, geram tensões de tração que não podem ser resistidas pelo concreto, principalmente por causa de sua idade, causando fissuras que levam à diminuição da resistência final que deveria ser atingida pelo concreto. Dessa maneira, é necessário tomar medidas que evitem a evaporação precoce ou, até mesmo, o fornecimento de água ao concreto, de modo a conservar a umidade necessária para as reações de hidratação até que as propriedades esperadas para este concreto sejam atingidas. Ao conjunto dessas medidas dá-se o nome de cura (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2014).

A norma ABNT NBR 14931 (ABNT, 2004) descreve que, enquanto não atingir o endurecimento satisfatório, o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais para evitar a perda de água pela superfície exposta, assegurar uma superfície com resistência adequada e a formação de uma capa superficial durável. Os agentes deletérios mais comuns ao concreto em seu início de vida são: mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva

forte, água torrencial, congelamento, agentes químicos, bem como choques e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuras na matriz ou prejudicar a sua aderência a armadura. O endurecimento do concreto pode ser acelerado por meio de tratamento térmico ou pelo uso de aditivos que não contenham cloreto de cálcio em sua composição, não se dispensando as medidas de proteção contra a secagem.

Elementos estruturais de superfície devem ser curados até que atinjam resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ), de acordo com a norma ABNT NBR 12655 (ABNT, 2022), igual ou maior que 15 MPa. No caso de utilização de água, esta deve ser potável ou satisfazer às exigências da norma ABNT NBR 12655 (ABNT, 2022).

## **2.5. Impermeabilização de Lajes de Concreto**

A etapa de impermeabilização se faz necessária para proteger a edificação do efeito dos fluidos e da umidade, de acordo com a ABNT NBR 9575 (2010) impermeabilização é definida como conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto por uma ou mais camadas, que tem por finalidade proteger as construções contra a ação deletérias de fluídos, de vapores e da umidade.

A umidade acelera o processo de deterioração das estruturas por meio da indução de degradação do concreto, corrosão das armaduras, anomalias em tintas e outros revestimentos, comprometendo assim, a durabilidade da edificação. O sistema de impermeabilização eficiente traz como benefícios saúde, segurança e bem estar aos usuários, além da preservação do patrimônio IBI (2023).

A função de um sistema de impermeabilização é atender aos requisitos mínimos de proteção da construção contra a passagem de fluídos, bem como os requisitos de salubridade, segurança e conforto do usuário, de forma a ser garantida a estanqueidade dos elementos construtivos IBI (2023).

### **2.5.1. Projeto de Impermeabilização**

O projeto de impermeabilização deve ser elaborado de acordo com a norma ABNT NBR 9575 (2010) e tem como objetivo um estudo técnico e dimensional, no qual criam um conjunto de informações técnicas, gráficas e descritivas que definem as características do

sistema de impermeabilização empregado em uma construção, de forma a orientar a execução IBI (2023).

### **2.5.2. Impermeabilização Rígida**

A impermeabilização rígida é um conjunto de materiais ou produtos que compõem a camada de impermeabilização e não apresentam características de flexibilidade compatíveis e aplicáveis às partes construtivas sujeitas à movimentação e deformações admissíveis indicadas no projeto ABNT NBR 9575 (2010).

A norma ABNT NBR 9574 (2010) descreve como impermeabilizantes rígidos os seguintes materiais abaixo:

- a) Argamassa impermeável com aditivo hidrófugo;
- b) Argamassa modificada com polímero;
- c) Argamassa polimérica;
- d) Cimento cristalizante para pressão negativa;
- e) Cimento modificado com polímero;
- f) Membrana epoxídica.

### **2.5.3. Impermeabilização Flexível**

A impermeabilização flexível é um conjunto de materiais ou produtos que compõem a camada de impermeabilização e apresentam características de flexibilidade compatíveis e aplicáveis às partes construtivas sujeitas à movimentação e deformações admissíveis indicadas no projeto ABNT NBR 9575 (2010).

A norma ABNT NBR 9574 (2010) descreve como impermeabilizantes flexíveis os seguintes materiais abaixo:

- a) Membrana de asfalto modificado sem adição de polímero;
- b) Membrana de asfalto modificado com adição de polímero;
- c) Membrana de emulsão asfáltica;

- d) Membrana de asfalto elastomérico em solução;
- e) Membrana elastomérica de policloropreno e polietileno clorossulfonado;
- f) Membrana elastomérica de polisobutileno isopreno em solução;
- g) Membrana elastomérica de estireno-butadieno-estireno;
- h) Membrana elastomérica de estireno-butadieno-ruber;
- i) Membrana de poliuretano;
- j) Membrana de poliuretano modificado com asfalto;
- k) Membrana de polímero com cimento;
- l) Membrana acrílica;
- m) Mantas asfálticas;
- n) Manta de policloreto de vinila;
- o) Manta de polietileno de alta densidade;
- p) Manta elastomérica de etileno-dieno-monômero;
- q) Manta elastomérica de poliisobutileno isopreno.

## **2.6. Controle Tecnológico do Concreto**

O controle tecnológico do concreto deve ser feito para cada tipo e classe de concreto a ser colocado em uma estrutura. Para a avaliação da qualidade do concreto, são realizados ensaios no estado fresco e no estado endurecido.

### **2.6.1. Controle Tecnológico do Concreto no Estado Fresco**

De acordo com Mehta e Monteiro (2014), as principais propriedades do concreto fresco são a consistência, a trabalhabilidade e homogeneidade. De acordo com a norma ABNT NBR 12655 (ABNT, 2022), deve ser realizado o ensaio de consistência do concreto no estado fresco pelo abatimento do tronco cone, conforme a norma ABNT NBR 16889 (ABNT, 2020), ou de espalhamento, viscosidade plástica aparente, estabilidade visual e habilidade

passante em fluxo livre, no caso de concreto autoadensável, conforme as normas ABNT NBR 15823-2 (ABNT, 2017) e ABNT NBR 15823-3 (ABNT, 2017) respectivamente.



Figura 5: Ensaio de abatimento tronco cone

### **2.6.2. Controle Tecnológico do Concreto no Estado Endurecido**

No concreto endurecido, as principais propriedades de interesse são as mecânicas, destacando-se as resistências à compressão e à tração. De acordo com a norma ABNT NBR 12655 (ABNT, 2022), deve ser realizado o ensaio de resistência à compressão do concreto no estado endurecido para se a resistência alcançada atende às normas e exigências do projeto.

A resistência à compressão é determinada pelo ensaio de corpos de prova submetidos à compressão axial. Diversos fatores influenciam a resistência do concreto endurecido, dos quais os principais são a relação entre as quantidades de cimento, agregados e água (traço) e a idade do concreto (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2014).

Para avaliar a resistência de um concreto à compressão, é necessário realizar ensaios com no mínimo 2 corpos de prova. Entretanto, a experiência prática recomenda ao menos 6 corpos de prova. Os valores da resistência proporcionados pelos distintos corpos de prova são mais ou menos dispersos e a variação máxima aceitável para a dispersão dos resultados é de 5%, variando de uma obra para outra e de acordo com o rigor com que se produz o concreto. Por isso, tem sido adotado o conceito de resistência característica, uma medida estatística que leva em conta não só o valor da média aritmética das cargas de ruptura dos ensaios e dos

corpos de prova, mas também o desvio da série de valores, por meio do coeficiente de variação (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2014).

De acordo com a norma ABNT NBR 12655 (ABNT, 2022), as amostras devem ser coletadas aleatoriamente durante a operação de concretagem, conforme a norma ABNT NBR 16886 (2020). Cada exemplar deve ser constituído por dois corpos de prova da mesma amassada, conforme a norma ABNT NBR 5738 (2015), para cada idade de rompimento, moldados no mesmo ato. Toma-se como resistência do exemplar o maior dos dois valores obtidos nos ensaios de resistência à compressão.

## 2.7. Manifestações patológicas em lajes de concreto

Patologia das construções é o estudo das origens, causas, mecanismos de ocorrência, manifestação e consequências das situações em que os edifícios ou suas partes apresentam um desempenho abaixo do mínimo pré-estabelecido. Entende-se como o “mínimo pré-estabelecido” a eficiência e durabilidade dos materiais e técnicas construtivas necessárias para assegurar a vida útil de uma edificação. Normalmente, tais condições são previstas em normas técnicas, especificações, ensaios de resistência etc. (VITÓRIO, 2003).

A identificação das origens das manifestações patológicas é um ponto importante a ser avaliado para determinar qual será o método corretivo que será aplicado, o planejamento da obra na etapa de projeto e avaliação das técnicas construtivas que serão aplicadas na execução da edificação é fundamental para mitigar o aparecimento de manifestações patológicas. A tabela 3 mostra as principais causas das manifestações patológicas que ocorrem nas edificações, nota-se que o maior percentual das causas poderia ser resolvido nas etapas de planejamento do projeto. Essas falhas são geralmente mais graves que as relacionadas à qualidade dos materiais e aos métodos construtivos (VITÓRIO, 2003).

Tabela 3: Causas de Manifestações Patológicas (VITÓRIO, 2003)

| Etapa        | %  |
|--------------|----|
| Projeto      | 40 |
| Execução     | 28 |
| Materiais    | 18 |
| Uso          | 10 |
| Planejamento | 4  |

De acordo com Souza e Rippler (1998), as manifestações patológicas podem ocorrer por agentes intrínsecos e extrínsecos das estruturas de concreto. Na maioria dos casos, as suas causas são evidentes e podem ser evitadas pela escolha cuidadosa dos materiais e dos métodos de execução, pela elaboração de um projeto convenientemente detalhado ou pela concretização de um programa adequado de manutenção. Alguns defeitos, entretanto, como os devidos a causas mecânicas, como sobrecargas e impactos para os quais a estrutura não havia sido dimensionada, ou a acidentes, como sismos e incêndios, não são tão facilmente evitáveis. Pelo contrário, na maioria das vezes, estes agentes, que podem causar consideráveis danos às estruturas, inclusive levando-as à ruína, são impossíveis de serem considerados nas etapas de concepção e execução das estruturas.

### **2.7.1. Retração**

A retração do concreto é um movimento natural da massa que é contrariado pela existência de restrições opostas por obstáculos internos (barras de armadura) e externos (vinculação a outras peças estruturais). Se este processo não for considerado, quer em nível de projeto, quer de execução, são grandes as possibilidades do desenvolvimento de um quadro de fissuração, que pode levar à formação de trincas que seccionem completamente as peças mais esbeltas, como no caso de lajes e paredes (SOUZA; RIPPER, 1998).

O concreto apresenta um aumento de volume quando umedecido, e uma retração durante o processo de secagem. A retração aparece quando a porcentagem de água interna diminui, sendo mais intensa em tempo seco e quente. É de máxima importância o grau de umidade do meio ambiente para o desenvolvimento da retração. O processo de retração estende-se por anos, provocando tensões de tração, quando as deformações são impedidas por forças externas ou internas, originadas das armaduras. A retração dará origem a tensões de compressão no interior da peça e de tração na superfície. Nas vigas que possuem vários vãos, as fissuras de retração manifestam-se nas proximidades dos apoios, especialmente se eles são fixos. Nos muros de concreto diretamente apoiado no solo, as fissuras aparecem devido à resistência oferecida pelo atrito do concreto com o solo (HELENE, 1992).

Quando se trata de peça fortemente armada, a resistência oferecida pela armadura intervém no fenômeno de fissuração e a retração global pode resultar insignificante. Em lajes, as fissuras de retração são frequentes, principalmente, se elas não possuem elementos de enrijecimento, como vigas paralelas à armadura (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

### 2.7.2. Fissuração

As fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, sendo mesmo o dano de ocorrência mais comum e aquele que mais chama a atenção dos leigos, proprietários e usuários, para o fato de que algo de anormal está a acontecer. É interessante observar que, no entanto, a caracterização da fissuração como deficiência estrutural dependerá sempre da origem, intensidade e magnitude do quadro de fissuração existente, posto que o concreto, por ser material com baixa resistência à tração, fissurará por natureza, sempre que as tensões atuantes, que podem ser instaladas pelos mais diversos motivos, superarem a sua resistência última à tração (SOUZA; RIPPER, 1998).

O processo de fissuração pode, quando anômalo, instalar-se em uma estrutura como consequência da atuação das mais diversas causas, intrínsecas ou extrínsecas. Para que se consiga identificar com precisão as causas e os efeitos, é necessário desenvolver análises consistentes, que incluam a mais correta determinação da configuração das fissuras, bem como da abertura e de sua variação ao longo do tempo, da extensão e da profundidade. Portanto, ao se analisar uma estrutura de concreto que esteja fissurada, os primeiros passos a serem dados consistem na elaboração do mapeamento das fissuras e sua classificação, que vem a ser a definição da atividade ou não das mesmas. É necessário sempre atenção e competência, pois uma análise malfeita pode levar à aplicação de um método de recuperação ou de reforço inadequado e, caso não sejam eliminadas as causas, de nada vai adiantar tentar sanar o problema, pois poderá vir a agravar-se (SOUZA; RIPPER, 1998).

As lajes de concretos são elementos de concreto de extensa área quando comparado a sua espessura desta forma estes elementos sofrem com os efeitos da secagem e conseqüentemente com o aparecimento de fissuras devido à retração plástica do concreto. De acordo com Vitório (2003), a fissuração de uma estrutura pode ser caracterizada segundo a sua dimensão e aspecto sendo:

- Fissura: abertura em forma de linha que aparece nas superfícies de qualquer material sólido, proveniente da ruptura sutil de parte de sua massa, com espessura de até 0,5 mm.
- Trinca: abertura em forma de linha que aparece na superfície de qualquer material sólido, proveniente de evidente ruptura de parte de sua massa, com espessura de 0,5 a 1,0 mm.
- Rachadura: abertura expressiva que aparece na superfície de qualquer material sólido, proveniente de acentuada ruptura de sua massa, podendo-se “ver” através dela, e cuja espessura varia de 1,0 até 1,5 mm.

- Fenda: abertura expressiva que aparece na superfície de qualquer material sólido, proveniente de acentuada ruptura de sua massa, com espessura superior a 1,5 mm.

### **2.7.3. Carbonatação**

A carbonatação resulta diretamente da ação do anidrido carbônico ( $\text{CO}_2$ ), presente no ar atmosférico, sobre o cimento hidratado, com a formação do carbonato de cálcio e a consequente redução de seu pH até valores inferiores a 9. Quanto maior for a concentração de  $\text{CO}_2$  presente no ar, mais espessa será a camada de concreto carbonatada. A carbonatação em si, se ficasse restrita a uma espessura inferior à da camada de cobrimento das armaduras, seria benéfica para o concreto, pois aumentaria as suas resistências químicas e mecânicas. Entretanto, em função da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera e da porosidade e nível de fissuração do concreto, a carbonatação pode levar à corrosão da armadura (SOUZA; RIPPER, 1998).

A existência de umidade no concreto influencia o avanço da carbonatação. Outros fatores que também contribuem para que o fenômeno se desenvolva com mais rapidez são a quantidade de  $\text{CO}_2$  do meio ambiente, a permeabilidade do concreto e a existência de fissuras (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

### **2.7.4. Corrosão da armadura**

A definição de corrosão pode ser entendida como a deterioração de um material, por ação química ou eletroquímica, aliada ou não a esforços mecânicos. No caso das barras de aço imersas no concreto, a corrosão é caracterizada pela destruição da camada passivadora existente ao redor da superfície das barras. A corrosão da armadura ocorre quando a porosidade do concreto, a existência de trincas e a deficiência no cobrimento, fazem com que a armadura seja atingida por elementos agressivos, levando à sua oxidação. A parte oxidada aumenta o seu volume em cerca de aproximadamente 8 vezes e a força da expansão expõe o concreto do cobrimento, expondo a armadura à ação agressiva do meio. A continuidade desse fenômeno pode levar à total destruição da armadura. (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A corrosão do aço no concreto é um processo eletroquímico formado quando dois metais diferentes são incorporados no concreto, como vergalhões de aço, ou quando existem variações significativas nas características da superfície do aço, pode haver concentração da formação de células corrosivas devido à diferença na concentração de íons dissolvidos, como

álcalis e cloretos, como resultado um dos metais ou parte dos metais torna-se anódica e a outra catódica gerando o processo de corrosão da estrutura. (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

#### **2.7.5. Desagregação**

Desagregação é a deterioração, por separação de partes do concreto, provocada, em geral, pela expansão devido à oxidação ou dilatação das armaduras, e pelo aumento de volume do concreto quando este absorve água. Deve-se entender como desagregação a própria separação física de placas ou fatias de concreto, com perda de estrutura e, na maioria das vezes, perda também da capacidade de empacotamento entre os agregados e da função ligante do cimento. A desagregação do material é um fenômeno que frequentemente pode ser observado nas estruturas de concreto, causado pelos mais diversos fatores, ocorrendo, na maioria dos casos, em conjunto com a fissuração. Como consequência, tem-se que uma peça com seções de concreto desagregado perderá, localizada ou globalmente, a capacidade de resistir aos esforços que a solicitam (SOUZA; RIPPER, 1998).

### **3. Mapeamento da qualidade de concretos utilizados em lajes em São Paulo**

O avanço dos materiais e técnicas construtivas cresce a cada dia devido ao surgimento e aprimoramento de novas tecnologias, que facilitam os serviços de construção e permitem um alto fluxo de informação. Dessa forma, foi possível evoluir dos arcos feitos de pedra para a utilização do aço e concreto, produzindo estruturas capazes de resistir solicitações maiores, tornando-as mais resistentes e esbeltas. Entre essas construções estão às lajes, que por sua vez são estruturas maciças e planas, que cumprem a função de receber as cargas acidentais e de realizar as interfaces entre os pavimentos de uma edificação. Normalmente, em prédios residenciais, as lajes são horizontais e retangulares, mas podem possuir diferentes formatos, trechos em balanço ou apoiados de acordo com as necessidades arquitetônicas.

Por muitas vezes as lajes eram constituídas de materiais diversos, porém o concreto armado foi ganhando espaço pela sua versatilidade e acessibilidade. Por esse motivo houve a necessidade de regulamentar e padronizar a produção, os processos e os componentes que constituem o concreto, tornando as estruturas mais seguras e duráveis e com essa finalidade criou-se as normas técnica.

A falta de um mapeamento de qualidade que define o padrão dos materiais e serviços comercializados pode resultar em serviços incompatíveis com os padrões exigidos na norma NBR ABNT 6118 (2014) e norma NBR ABNT 12655 (2022), gerando patologias nas edificações, que ocorrem durante toda vida útil da construção.

#### **3.1. Metodologia do mapeamento**

Para realização do mapeamento da qualidade dos concretos utilizados em lajes no estado de São Paulo, foi realizada uma pesquisa com 08 empresas fabricantes de concreto usinado localizadas no estado de São Paulo. Foram desenvolvidas 05 perguntas que foram respondidas no Google formulário, para levantar dados sobre os produtos, materiais e serviços oferecidos por tais empresas para lajes de concreto residencial. Além disso, foram analisadas as informações técnicas fornecidas para os clientes. As perguntas contidas no formulário e suas respectivas respostas esperadas estão apresentadas subsequentemente:

**Pergunta 1:** Qual é o nome da Empresa? Anexar a carta traço, contendo informações do concreto como: resistência à compressão, abatimento e descrição de materiais.

**Pergunta 2:** Quais são as recomendações/instruções passadas aos clientes no processo de manejo e cura de lajes?

**Resposta esperada:** A resposta deve estar de acordo com o disposto nas normas ABNT NBR 12655 (2022) e ABNT NBR 14931(2004).

É recomendado no processo de cura do concreto convencional que a superfície da estrutura esteja estável, esteja sempre úmida nos primeiros 7 dias e sob supervisão para que não haja perda água para o ambiente por superfície exposta.

**Pergunta 3:** A empresa fornece algum tipo de garantia? Se sim, quais aspectos são cobertos e qual é o período de garantia?

**Resposta esperada:** A resposta deve estar de acordo com o disposto nas normas ABNT NBR 12655 (2022) e NBR 7212 (2021):

Sim, a empresa de concreto se responsabilizará com o serviço de concretagem de acordo com as normas técnicas ABNT NBR 12655 (2022) e ABNT NBR 7212 (2021), controlando a qualidade dos materiais empregados e a mistura do concreto na prestação do serviço, desenvolvendo o serviço de acordo com os requisitos específicos contratados, como as composições de traços, com as resistências e abatimentos do concreto solicitado pelo cliente.

Após o serviço de concretagem, caso haja alguma patologia presente no concreto ou a cura não atinja a necessidade da obra, o cliente deve apresentar à empresa a reclamação em até 30 (trinta) dias após a realização do ensaio de resistência para a idade contratada. Caso seja comprovada a patologia, a empresa se responsabilizará pelos custos e despesas diretas razoáveis e comprovadas (projetista e reparo da área afetada).

O profissional responsável técnico pela empresa de concreto legalmente habilitado deve aprovar e acompanhar o preparo conforme controle do processo de dosagem da central, sendo mantidos os registros durante cinco anos.

**Pergunta 4:** Quais são os procedimentos utilizados para controle de qualidade dos materiais?

**Resposta esperada:** A resposta deve estar de acordo com o disposto na norma ABNT NBR 12655 (2022):

Para a obtenção de um padrão de qualidade do concreto, foi feito um estudo de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2022), no qual foi apontada grande importância com relação à família de concreto, obedecendo uma relação confiável entre as propriedades utilizadas, elaborados com cimento do mesmo tipo, classe de resistência, com materiais provenientes de um único fabricante e de uma única fábrica, contendo agregados de uma mesma origem geológica, tipo e dimensões.

Para o fornecimento, é necessário veículo dotado de dispositivo que efetua a mistura do concreto e mantenha a sua homogeneidade por simples agitação, constituído de eixo com paletas, sistema de lâminas especiais em hélice ou qualquer dispositivo equivalente, mantendo a homogeneidade do concreto durante o transporte e a descarga. Necessário um estudo de dosagem para conferência da obtenção do traço do concreto para atendimento dos requisitos especificados pelo projeto estrutural e pelas condições da obra.

**Pergunta 5:** A variável 'condição climática' é considerada no processo de fornecimento de concreto? Se sim, existe alguma recomendação especial para o cliente em condições climáticas diferenciadas?

**Resposta esperada:** A resposta deve estar de acordo com o disposto na norma ABNT NBR 7212 (2021):

Sim, a condição climática é considerada no processo de fornecimento e cura do concreto. Em temperaturas mais quentes, o concreto deve ter a atenção redobrada para que não perca a sua umidade de forma rápida, ocasionando fissuras de retração. Já em temperaturas mais frias deve se atentar às chances de ocorrer retardo nos tempos de pega do concreto, devendo a empresa reduzir a quantidade do aditivo plastificante de maneira que não afete a resistência do concreto. Em casos de chuva, o ideal é não concretar por haver risco de aumento de água na mistura, gerando uma relação água/cimento alterada em relação à mistura contratada.

### **3.2. Avaliação das respostas do questionário**

Foram avaliadas as respostas do questionário de forma a identificar quais empresas adotam metodologias e procedimentos em concordância com as normas da ABNT. As respostas foram classificadas de acordo com notas de 1 a 5, conforme descrição a seguir:

**Pontuação 1** – Resposta em total discordância com a esperada.

**Pontuação 2** – Resposta com baixa concordância com a resposta esperada.

**Pontuação 3** – Resposta com média concordância com a esperada.

**Pontuação 4** – Resposta com elevada concordância com a esperada.

**Pontuação 5** – Resposta em total concordância com a esperada.

Na avaliação das respostas do questionário, notou-se que alguns aspectos importantes foram negligenciados nas recomendações. Em poucas questões, obtiveram-se respostas em total concordância com a projeção das respostas. A figura 6 aborda a correlação com as respostas projetadas segundo as normas ABNT, com a escala desenvolvida.

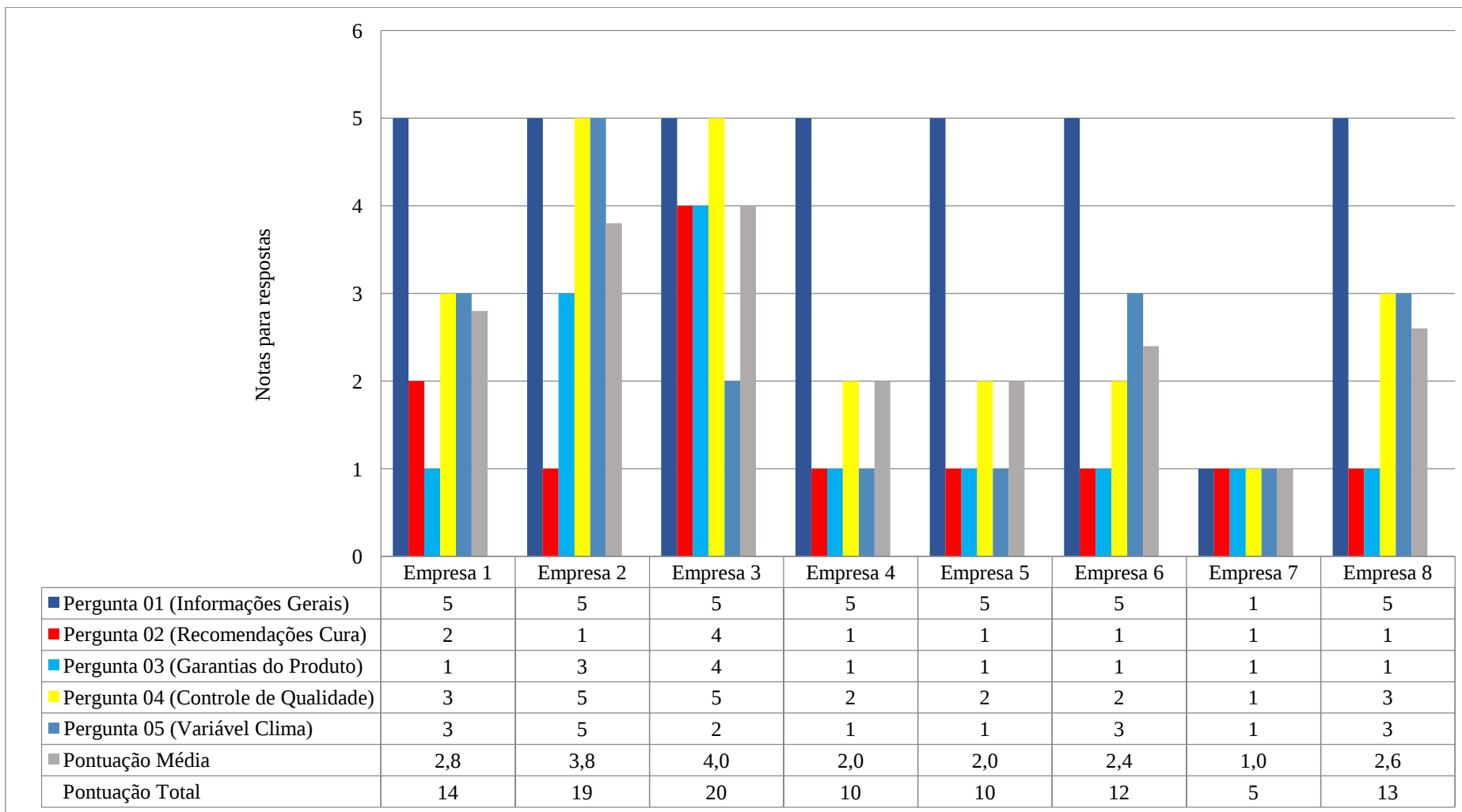


Figura 6: Avaliação e Notas para as Respostas das Empresas

Nota-se que as empresas denotam certa coerência em determinadas questões. Entretanto, nenhuma delas faz todas as recomendações possíveis, impactando na execução da estrutura de concreto e na qualidade final da edificação.

Ao comparar a pontuação acumulada por empresa, nota-se que nenhuma delas atingiu a pontuação máxima acumulada de 25 pontos, que seria a total concordância entre suas recomendações e as especificações da norma. Isso demonstra uma heterogeneidade das informações prestadas aos clientes e torna o processo executivo da concretagem instável e com maior risco de aparecimento de manifestações patológicas.

A falta de padrão nas recomendações causa uma variação na pontuação média das empresas em termos de concordância nas respostas e informações prestadas. Isso mostra que o mercado reconhece as boas práticas, todavia não existe padronização em suas recomendações transmitidas aos clientes.

### **3.3. Análise da dosagem do concreto fornecido**

Os dados contidos na carta traço, anexada na primeira pergunta do questionário, são essenciais para a avaliação do produto fornecido pelas empresas. Relacionando-os em tabelas, é possível estabelecer um parâmetro de comparação mais simples e evidente, como feito através das tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Dados da carta traço informações técnicas

| Empresas  | Consumo de Cimento (kg/m³) | Consumo de Água (kg/m³) | Aditivo | $f_{ck,28}$ (MPa) | Abatimento (cm) | Agregado graúdo (kg/m³) |         | Agregado miúdo (kg/m³) |             |
|-----------|----------------------------|-------------------------|---------|-------------------|-----------------|-------------------------|---------|------------------------|-------------|
|           |                            |                         |         |                   |                 | Brita 0                 | Brita 1 | Areia fina             | Areia média |
| Empresa 1 | 429                        | 210                     | Sim     | 40                | $12 \pm 2$      | 122                     | 691     | 390                    | 390         |
| Empresa 2 | 362                        | 199                     | Sim     | 30                | $10 \pm 2$      | 211                     | 642     | 311                    | 467         |
| Empresa 3 | 341                        | 190                     | Sim     | 35                | $12 \pm 2$      | 131                     | 953     | 422                    | 284         |
| Empresa 4 | 280                        | 214                     | Sim     | 25                | Não declarado   | 700                     | 0       | 388                    | 570         |
| Empresa 5 | 286                        | 218                     | Sim     | 25                | Não declarado   | 790                     | 0       | 325                    | 660         |
| Empresa 6 | 274                        | 192                     | Sim     | 25                | Não declarado   | 833                     | 0       | 300                    | 701         |
| Empresa 7 | 320                        | 192                     | Sim     | 25                | Não declarado   | 212                     | 846     | 156                    | 625         |
| Empresa 8 | 400                        | 213                     | Sim     | 30                | $12 \pm 2$      | 706                     | 392     | 575                    | 0           |

Tabela 5: Dados da carta traço materiais do concreto.

| Empresas  | Cimento      | Água         | Faixa granulométrica do agregado graúdo | Faixa granulométrica do agregado miúdo | Aditivo       |
|-----------|--------------|--------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|---------------|
| Empresa 1 | CPII F 40 RS | Água potável | 4,8 a 19 mm                             | 0,075 a 1 mm                           | Plastificante |
| Empresa 2 | CPIII 40 RS  | Água potável | 4,8 a 19 mm                             | 0,075 a 1 mm                           | Plastificante |
| Empresa 3 | -            | Água potável | 4,8 a 19 mm                             | 0,075 a 1 mm                           | Plastificante |
| Empresa 4 | CP II F 32   | Água potável | 4,8 a 9,5 mm                            | 0,075 a 1 mm                           | Plastificante |
| Empresa 5 | CP II E 40   | Água potável | 4,8 a 9,5 mm                            | 0,075 a 1 mm                           | Plastificante |
| Empresa 6 | CP II E 40   | Água potável | 4,8 a 9,5 mm                            | 0,075 a 1 mm                           | Plastificante |
| Empresa 7 | CPIII 40 RS  | Água potável | 4,8 a 19 mm                             | 0,075 a 1 mm                           | Plastificante |
| Empresa 8 | CPIII 40 RS  | Água potável | 4,8 a 19 mm                             | 0,075 a 0,25 mm                        | Plastificante |

Observa-se que as empresas recomendam diferentes traços de concreto para a mesma finalidade (laje residencial). Ao considerar uma laje residencial, fatores como segurança e durabilidade são importantes e uma avaliação criteriosa dos aspectos técnicos são fundamentais para a qualidade da obra. Entretanto, quando as empresas fornecem o concreto para o cliente, que por vezes é leigo no assunto, o fator preço é determinante na tomada de decisão.

As mudanças no traço do concreto advêm da necessidade de produzir um material com melhor custo-benefício para fins comerciais. A figura 7 demonstra a resistência a compressão especificada na carta traço do concreto fornecido ao cliente para lajes. Com a finalidade de comparar tais fatores elaborou-se os gráficos abaixo com as informações contidas nas tabelas e fez-se a comparação entre o exigido nas normas da ABNT NBR 6118, NBR 12655 e NBR 15575 e os dados coletados.

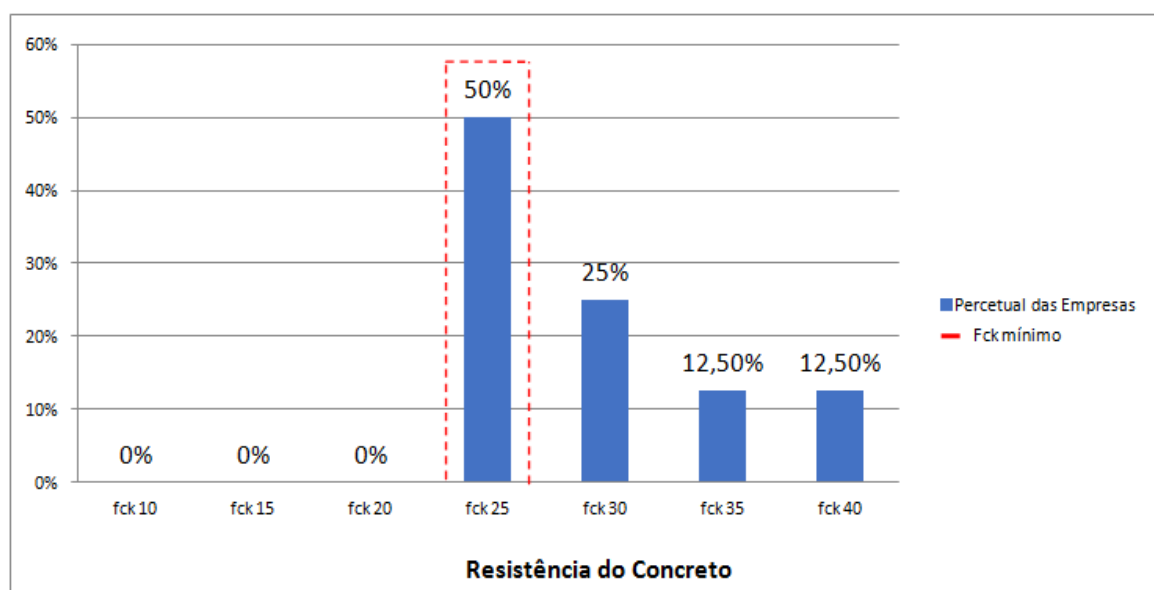


Figura 7: Resistência característica do concreto à compressão utilizada na carta-traço.

A maioria das empresas recomenda um concreto com resistência igual ou superior ao  $f_{ck}$  25 para lajes residenciais. Não há norma que estabeleça recomendações para a resistência máxima do concreto que compõe elementos estruturais, sendo assim não há limites para a utilização do concreto *in loco*. A figura 8 demonstra a correlação entre a quantidade de cimento utilizado por  $m^3$  de concreto, pela quantidade especificada na norma NBR 12655 (ABNT, 2022).

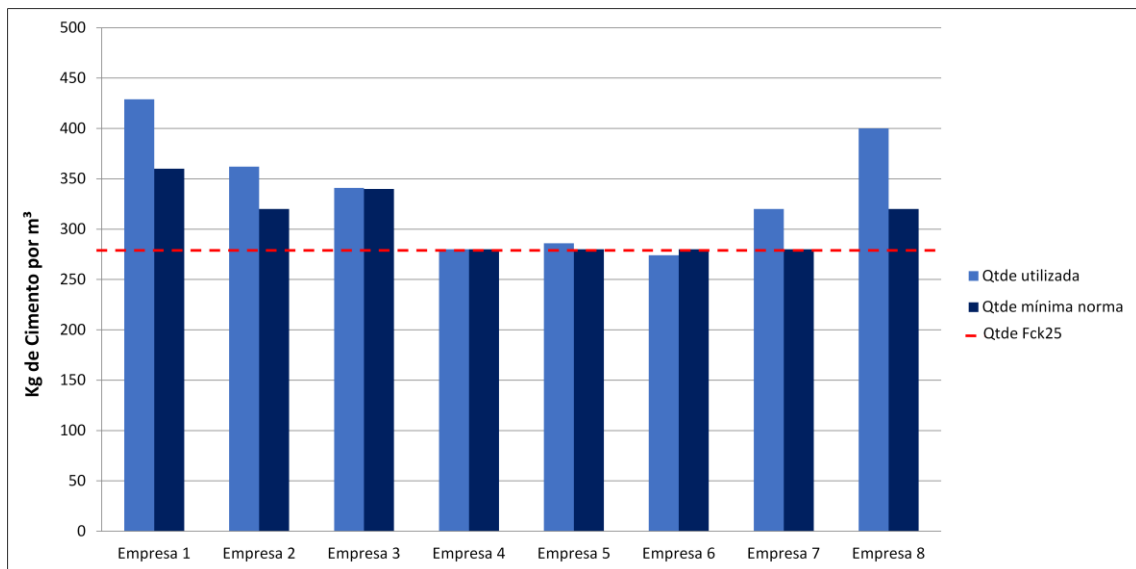


Figura 8: Comparação entre teor de cimento utilizado por m³.

As empresas que utilizaram menor quantidade de cimento na mistura também tiveram uma relação água/cimento superior às demais empresas. Ainda analisando o gráfico verifica-se que sete das oito empresas estão em conformidade com as recomendações da NBR 12655. A figura 9 demonstra como a relação água cimento é tratada de maneira diferente entre as empresas entrevistadas. Ao comparar as figuras 7 e 8 nota-se que as empresas de concreto que recomendam a utilização de um concreto mais resistente também são aquelas que consomem uma maior quantidade de cimento e por consequência uma relação água/cimento menor que as demais. A relação água cimento em três de oito empresas estão acima de 0,65 que é o máximo recomendado na norma ABNT 6118 (ABNT, 2014).

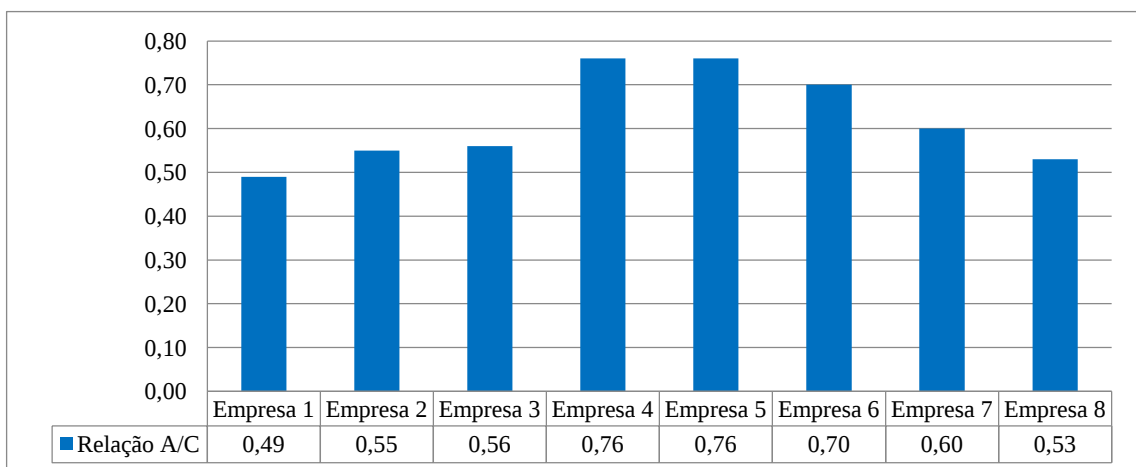


Figura 9: Relação água e cimento nas misturas.

Dentre as informações constantes nas figuras 6 a 9 e nas tabelas 4 e 5, o de maior impacto na qualidade e durabilidade de uma estrutura representada na figura 9 que trata da relação água/cimento que é um fator determinante para a qualidade de um elemento de concreto. Ao observar o gráfico nota-se que algumas empresas estão próximas do limite e/ou ultrapassam, o que mostra uma inobservância grave em relação as recomendações da NBR 12655 que está exposta na tabela 4 e 5.

A distribuição granulométrica dentro da mistura se faz necessária para que se produza um concreto balanceado, com resistência, massa específica, porosidade e outras características adequadas para a conformidade prevista em projeto e/ou na norma. A figura 10 indica a adoção das empresas de concreto quanto as diferentes classes de agregados presentes em suas misturas.

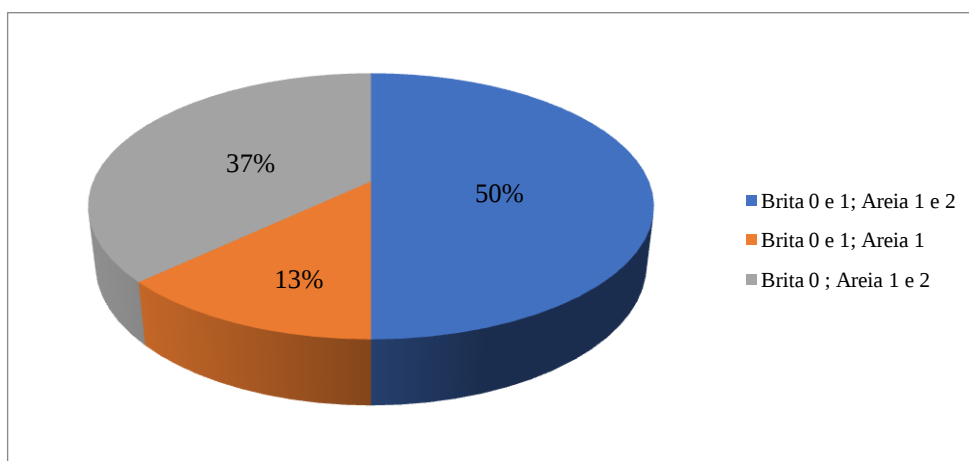


Figura 10: Utilização de agregados por empresa.

A granulometria dos agregados é um fator importante na composição e empacotamento dos grãos do concreto, e o tamanho da partícula e a distribuição granulométrica dos agregados melhoram o empacotamento das partículas, fazendo com que haja uma redução da porosidade final do concreto, o cimento e os aditivos são os ligantes do concreto. A figura 10 demonstra que todas as empresas utilizam as classes de agregados cuja classificação remete as menores dimensões, acarretando um concreto com maior densidade e por consequência maior massa específica e 50% dos fornecedores utilizam todas as classes de agregados possíveis, o que resulta em um concreto com melhor empacotamento dos agregados, todavia uma parcela considerável das empresas não faz uso de brita com dimensões entre 9,5 mm e 19 mm, e elas contribuem na redução do custo, no peso específico e em um menor impacto ambiental em lajes constituídas por concreto armado.

### **3.4. Análise das instruções fornecidas sobre o manejo e cura da laje**

A variação na qualidade das respostas por empresa indica que algumas empresas possuem um conhecimento maior sobre as normas regulamentadoras de concreto. Entre todas as perguntas do questionário, a pergunta 4 que trata de controle de qualidade do concreto foi a que recebeu respostas mais alinhadas com a norma. O controle tecnológico e a padronização do concreto usinado, é uma das características que confere ao concreto usinado desempenho superior ao concreto produzido em obra, resultando em uma edificação com a vida útil e desempenho mais satisfatório.

### **3.5. Análise dos procedimentos de controle de qualidade das empresas de concreto**

O mais comum ao se realizar uma obra é que o projeto da edificação a ser construída evidencie as características necessárias para melhor atender as solicitações de uma estrutura. Entretanto, em edifícios residenciais é comum se deparar com projetos mais simplificados devido ao seu baixo custo. Essa simplificação gera a necessidade de consultar especialistas no momento da compra do concreto.

Analizando a figura 8, é possível notar que a maioria das empresas recomendam um concreto cuja resistência é próxima do recomendável. Porém, uma parcela das empresas recomenda para lajes residenciais um  $f_{ck}$  superior ao necessário aumentando o custo final da edificação.

### **3.6. Conclusões parciais do mapeamento da qualidade de concretos**

A pesquisa de mapeamento da qualidade de concretos utilizados em lajes em São Paulo foi fundamental para identificar as práticas das empresas em relação a qualidade e tipo de produto que é fornecido aos clientes. Com estas informações obtidas na pesquisa foi possível identificar que as empresas têm diferentes práticas de mercado, tipo de concreto e qualidade da informação para a mesma aplicação.

Nota-se na figura 8 que as empresas entregam concreto com resistência a compressão dentro dos parâmetros mínimos recomendados pela norma NBR ABNT 6118 (2014) isto é um bom indicador, porém, em alguns casos com qualidade inferior adotando relação água cimento superior ao recomendado na norma.

#### **4. Desenvolvimento de aditivos impermeabilizantes para concretos destinados a lajes**

Este capítulo contém informações sigilosas protegidas por termo de confidencialidade não sendo autorizada divulgação parcial ou total das informações contidas nele.

## 5. Caracterização de concretos produzidos com os aditivos desenvolvidos

A caracterização e avaliação de desempenho dos concretos com o uso dos aditivos impermeabilizantes desenvolvidos tem o objetivo de verificar a eficiência do aditivo desenvolvido. Os testes para avaliação do desempenho do aditivo impermeabilizante líquido e sólido foram realizados em 2 campanhas, sendo a campanha experimental 1 trata dos testes de avaliação de desempenho realizados com o aditivo impermeabilizante sólido e a campanha experimental 2 trata dos testes de desempenho realizados com o aditivo impermeabilizante líquido. A figura 11 apresenta o fluxograma de caracterização dos concretos.

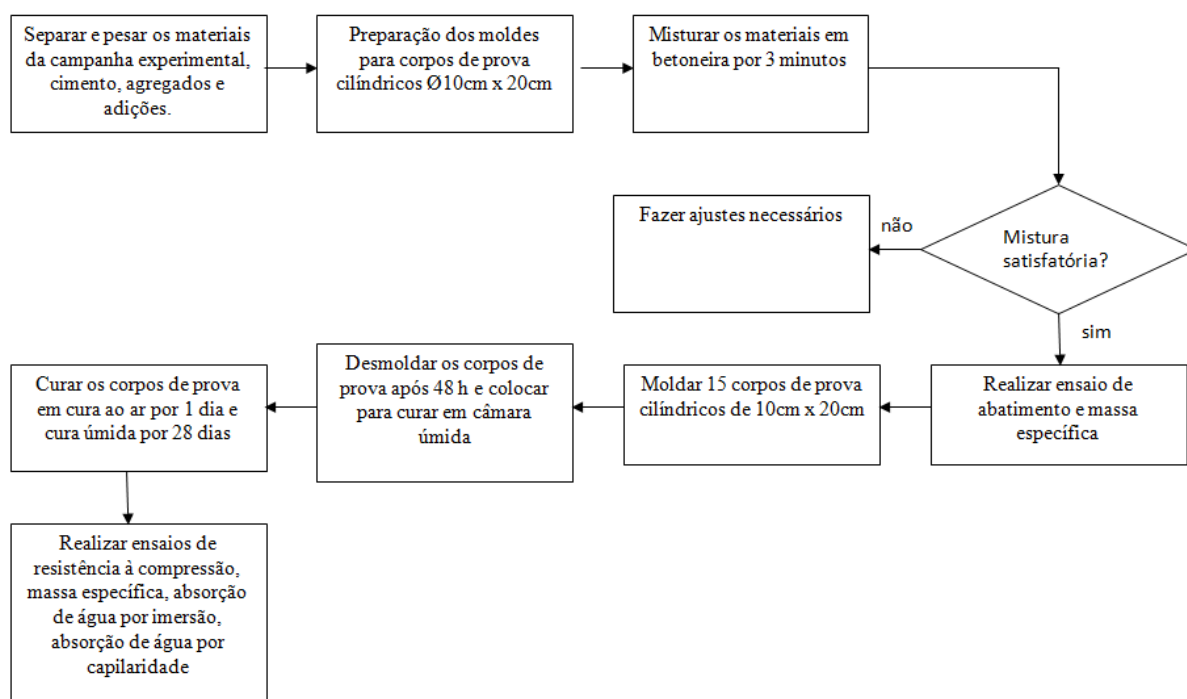


Figura 11: Fluxo de avaliação de desempenho do concreto

Para caracterizar as propriedades do concreto com o uso do aditivo impermeabilizante, foram utilizados os mesmos traços com diferentes teores de cada um dos aditivos.

## 5.1. Campanha experimental 1

### 5.1.1. Materiais

Para realização da campanha experimental 1, os materiais foram selecionados de acordo com a tabela 12.

Tabela 6: Materiais selecionados para a campanha experimental 1.

| Material                         | Tipo                    |
|----------------------------------|-------------------------|
| Aditivo impermeabilizante sólido | Desenvolvido            |
| Aditivo dispersante              | Éter de policarboxilato |
| Agregado miúdo                   | Areia natural de rio    |
| Agregado graúdo                  | Brita 0                 |
| Água                             | Potável                 |
| Cimento                          | CP II F 32              |

### 5.1.2. Dosagem

A dosagem do concreto da campanha experimental 1 foi realizada de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2022). Os materiais foram pesados em laboratório de acordo com os traços pré-definidos. Foram realizados 4 testes com o uso do aditivo e 1 teste sem o uso do aditivo impermeabilizante como referência para comparação e verificação da eficiência do aditivo em termos de impermeabilização do concreto. Os traços utilizados na campanha experimental 1 estão relacionados na tabela 13. Parte do agregado miúdo foi substituído pelo aditivo impermeabilizante sólido para manter a quantidade de material em cada teste.

Tabela 7: Traço da campanha experimental 1.

| Material (kg/m <sup>3</sup> )    | Referência | Teste 1 | Teste 2 | Teste 3 | Teste 4 |
|----------------------------------|------------|---------|---------|---------|---------|
| Aditivo impermeabilizante sólido | 0          | 11,07   | 16,07   | 21,07   | 26,07   |
| Aditivo dispersante              | 2,24       | 2,24    | 2,24    | 2,24    | 2,24    |
| Agregado miúdo                   | 781,0      | 770,5   | 765,5   | 760,5   | 755,5   |
| Agregado graúdo                  | 1058,0     | 1058,0  | 1058,0  | 1058,0  | 1058,0  |
| Água                             | 192,0      | 192,0   | 192,0   | 192,0   | 192,0   |
| Cimento CP II F 32               | 320,0      | 320,0   | 320,0   | 320,0   | 320,0   |

### **5.1.3. Procedimento de preparação do concreto e corpos de prova**

O processo de mistura, moldagem, desmoldagem e cura dos corpos de prova de concreto foram realizados no laboratório da universidade São Judas em conformidade com as normas ABNT NBR 12821 (ABNT, 2009) e ABNT NBR 9833 (ABNT, 2008).

#### **Etapa 1: Mistura do concreto**

Com os materiais separados e pesados conforme traço, foi feita a mistura do concreto em betoneira de 400 L. O processo de mistura consistiu em 5 passos, de acordo com a ABNT NBR 12655 (ABNT, 2015), descritos subsequentemente.

- Adição do agregado graúdo e 1/3 da quantidade de água e mistura por 1 min.
- Adição do cimento e 1/3 da quantidade de água e mistura por 1 min.
- Adição do agregado miúdo e 1/3 da quantidade de água e mistura por 1 min.
- Raspagem da parede interna da betoneira durante 1 min.
- Adição do aditivo dispersante e mistura por 3 min.
- Adição do aditivo impermeabilizante e mistura por 5 min.

#### **Etapa 2: Ensaios no estado fresco**

Após a mistura, foram realizados ensaios de abatimento do tronco cone e massa específica no estado fresco, conforme as normas ABNT NBR 12821 (ABNT, 2009) e ABNT NBR 9833 (ABNT, 2008).

#### **Etapa 3: Moldagem dos corpos de prova**

Os moldes de corpo de prova de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura receberam uma fina camada de óleo desmoldante. Em seguida, os corpos de prova foram moldados em 1 camada e vibrados em mesa vibratória por 20 s para melhor compactação do concreto. Após a moldagem, os corpos de prova foram identificados para controle de traço e rastreabilidade. Para finalizar, após 48 horas os corpos de prova foram desmoldados e colocados na câmara de cura.

#### **Etapa 4: Cura dos corpos de prova**

Os corpos de prova foram curados por imersão em solução saturada de hidróxido de cálcio pelo período determinado em cada campanha de ensaios. Os corpos de prova foram retirados da cura 1 dia antes da realização dos ensaios mecânicos.

##### **5.1.4. Ensaios de caracterização do concreto**

Após o período de cura úmida, foi realizada a preparação dos corpos de prova em retífica para realização dos ensaios no estado endurecido e avaliação do desempenho do concreto produzido com o aditivo impermeabilizante.

O ensaio de resistência à compressão tem a finalidade de avaliar a influência do aditivo impermeabilizante no concreto. O ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 5739 (ABNT, 2018). As aparelhagens utilizadas no ensaio de resistência à compressão seguiram as recomendações da norma ABNT NBR 5739 (ABNT, 2018). Os testes foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaios acoplada a uma célula de carga de 1100 kN, com taxa de carregamento igual a 0,45 MPa/min, conforme NBR 5739 (ABNT, 2018). Foram ensaiados 4 corpos de prova na idade de 2, 30 e 90 dias.

Os ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica foram realizados em conformidade com a norma ABNT NBR 9778 (ABNT, 2005).

##### **5.1.5. Resultados**

A tabela 14 demonstra os resultados dos ensaios de resistência a compressão, absorção de água, massa específica e índice de vazios dos ensaios realizados na campanha experimental 1. Observa-se que a incorporação do aditivo impermeabilizante sólido influenciou de maneira positiva os resultados de absorção de água, índice de vazios do concreto e resistência à compressão e pouco influenciou as características do concreto em termos de massa específica.

Tabela 8: Resultados médios dos ensaios campanha experimental 1.

| Amostra /<br>Quantidade<br>Aditivo por<br>m <sup>3</sup> | Idade<br>(dias) | Resistência à<br>compressão média<br>(MPa) | Desvio Padrão<br>(MPa) | Absorção de<br>água média<br>(%) | Massa<br>específica média<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Índice de<br>vazios média<br>(%) |
|----------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------|
| Referência / 0<br>kg                                     | 2               | 6,4                                        | 0,5                    | -                                | -                                                 | -                                |
|                                                          | 30              | 24,6                                       | 5,1                    | 1,67                             | 2,479                                             | 3,97                             |
|                                                          | 90              | 27,4                                       | 4,2                    | 1,46                             | 2,438                                             | 3,44                             |
| Teste 1 / 11,07<br>kg                                    | 2               | 7,4                                        | 0,8                    | -                                | -                                                 | -                                |
|                                                          | 30              | 22,8                                       | 1,7                    | 1,59                             | 2,469                                             | 3,78                             |
|                                                          | 90              | 26,5                                       | 3,5                    | 1,48                             | 2,432                                             | 3,47                             |
| Teste 2 / 16,07<br>kg                                    | 2               | 6,4                                        | 0,1                    | -                                | -                                                 | -                                |
|                                                          | 30              | 26,7                                       | 4,6                    | 1,71                             | 2,469                                             | 4,04                             |
|                                                          | 90              | 31,1                                       | 2,6                    | 1,58                             | 2,442                                             | 3,71                             |
| Teste 3 / 21,07<br>kg                                    | 2               | 7,3                                        | 0,3                    | -                                | -                                                 | -                                |
|                                                          | 30              | 24,3                                       | 4,3                    | 1,55                             | 2,474                                             | 3,70                             |
|                                                          | 90              | 32,2                                       | 3,3                    | 1,52                             | 2,456                                             | 3,61                             |
| Teste 4 / 26,07<br>kg                                    | 2               | 8,0                                        | 0,3                    | -                                | -                                                 | -                                |
|                                                          | 30              | 26,2                                       | 1,0                    | 1,48                             | 2,471                                             | 3,53                             |
|                                                          | 90              | 31,5                                       | 2,7                    | 1,39                             | 2,457                                             | 3,30                             |

A tabela 15 demonstra o resultado do ensaio de absorção de água por capilaridade da campanha experimental 1. Observa-se que com o uso do aditivo impermeabilizante sólido pouco influenciou no resultado de absorção de água por capilaridade.

Tabela 9: Resultados médios absorção de água por capilaridade campanha experimental 1.

| Amostra /<br>Quantidade<br>Aditivo por m <sup>3</sup> | Idade<br>(dias) | Absorção média<br>3h (g/cm <sup>2</sup> ) | Absorção média<br>24h (g/cm <sup>2</sup> ) | Absorção<br>média<br>48h (g/cm <sup>2</sup> ) | Absorção média<br>72h (g/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Referência / 0<br>kg                                  | 30              | 0,109                                     | 0,229                                      | 0,285                                         | 0,355                                      |
| Teste 1 / 11,07<br>kg                                 | 30              | 0,093                                     | 0,200                                      | 0,252                                         | 0,323                                      |
| Teste 2 / 16,07<br>kg                                 | 30              | 0,116                                     | 0,233                                      | 0,287                                         | 0,351                                      |
| Teste 3 / 21,07<br>kg                                 | 30              | 0,095                                     | 0,198                                      | 0,245                                         | 0,310                                      |
| Teste 4 / 26,07<br>kg                                 | 30              | 0,101                                     | 0,210                                      | 0,254                                         | 0,316                                      |

#### 5.1.6. Conclusões parciais campanha experimental 1

Na avaliação dos ensaios realizados em laboratório observa-se que o aditivo impermeabilizante em pó desenvolvido na campanha experimental 1 diminuiu a absorção de água por imersão e aumentou a resistência à compressão do concreto conforme pode ser verificado na tabela 14. O aditivo impermeabilizante em pó tornou o concreto menos permeável e mais resistente atingindo o objetivo inicial da pesquisa.

## 5.2. Campanha Experimental 2

### 5.2.1. Materiais do concreto

Para realização da campanha experimental 2 os materiais foram selecionados de acordo com a tabela 16.

Tabela 10: Materiais selecionados para a campanha experimental 2.

| Material                          | Tipo                    |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Aditivo impermeabilizante líquido | Desenvolvido            |
| Aditivo dispersante               | Éter de policarboxilato |
| Agente antiespumante              | Éster hidrofóbico       |
| Agregado miúdo                    | Areia natural de rio    |
| Agregado graúdo                   | Brita 0                 |
| Água                              | Potável                 |
| Cimento                           | CP II F 32              |

### 5.2.2. Dosagem do concreto

A dosagem do concreto da campanha experimental 2 foi realizada de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2022), os materiais foram pesados em laboratório de acordo com os traços pré-definidos. Foram realizados 2 testes com o uso do aditivo e 1 teste sem o uso do aditivo impermeabilizante como referência para comparação e verificação da eficiência do aditivo em termos de impermeabilização do concreto. Os traços utilizados na campanha experimental 2 estão relacionados na tabela 17.

Tabela 11: Traço referência da campanha experimental 2.

| Material (kg/m <sup>3</sup> )     | Referência | Teste 1 | Teste 2 |
|-----------------------------------|------------|---------|---------|
| Aditivo impermeabilizante líquido | 0          | 5,58    | 10,10   |
| Aditivo dispersante               | 2,24       | 1,40    | 1,40    |
| Agregado miúdo                    | 875,0      | 875,0   | 875,0   |
| Agregado graúdo                   | 988,0      | 988,0   | 988,0   |
| Água                              | 179,5      | 179,5   | 179,5   |
| Cimento CP II F 32                | 320,0      | 320,0   | 320,0   |

### 5.2.3. Procedimento de preparação do concreto e corpos de prova

O procedimento de mistura e preparação do concreto e corpos de prova foram os mesmos realizados no item 5.1.3.

### 5.2.4. Ensaaios de caracterização do concreto

Os ensaios de caracterização do concreto foram os mesmos utilizados no item 5.1.4

### 5.2.5. Resultados

A tabela 18 mostra os resultados dos ensaios de resistência a compressão, absorção de água, massa específica e índice de vazios da campanha experimental 2. Observa-se que a incorporação do aditivo impermeabilizante líquido não influenciou de maneira positiva os resultados de resistência compressão, absorção de água e índice de vazios do concreto. A massa específica diminuiu, indicando incorporação de ar no concreto.

Tabela 12: Resultados médios dos ensaios campanha experimental 2.

| Amostra /<br>Quantidade<br>Aditivo por m <sup>3</sup> | Idade<br>(dias) | Resistência à<br>compressão<br>média (MPa) | Desvio<br>Padrão (MPa) | Absorção<br>de água<br>média (%) | Massa<br>específica<br>média (g/cm <sup>3</sup> ) | Índice de<br>vazios média<br>(%) |
|-------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------|
| Referência / 0<br>kg                                  | 2               | 7,0                                        | 0,5                    | -                                | -                                                 | -                                |
|                                                       | 30              | 24,7                                       | 1,1                    | 1,55                             | 2,45                                              | 3,68                             |
|                                                       | 90              | 25,1                                       | 2,0                    | 1,89                             | 2,47                                              | 4,47                             |
| Teste 1 /<br>5,58 kg                                  | 2               | 6,8                                        | 0,5                    | -                                | -                                                 | -                                |
|                                                       | 30              | 22,0                                       | 1,5                    | 1,72                             | 2,39                                              | 3,95                             |
|                                                       | 90              | 22,3                                       | 1,3                    | 1,96                             | 2,41                                              | 4,53                             |
| Teste 2 / 10,10<br>kg                                 | 2               | 7,4                                        | 0,8                    | -                                | -                                                 | -                                |
|                                                       | 30              | 22,8                                       | 1,3                    | 1,70                             | 2,40                                              | 3,92                             |
|                                                       | 90              | 24,8                                       | 2,8                    | 2,03                             | 2,43                                              | 4,70                             |

A permeabilidade do concreto no estado endurecido foi avaliada pelo processo de absorção de água por capilaridade foram realizados em conformidade com a norma ABNT NBR 9779 (ABNT, 2012). A tabela 19 demonstra o resultado do ensaio de absorção de água por capilaridade da campanha experimental 2.

Tabela 13: Resultados médios absorção de água por capilaridade campanha experimental 2.

| Amostra /<br>Quantidade<br>Aditivo por m <sup>3</sup> | Idade<br>(dias) | Absorção média<br>3h (g/cm <sup>2</sup> ) | Absorção média<br>24h (g/cm <sup>2</sup> ) | Absorção<br>média<br>48h (g/cm <sup>2</sup> ) | Absorção média<br>72h (g/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Referência / 0 kg                                     | 30              | 0,090                                     | 0,192                                      | 0,230                                         | 0,271                                      |
| Teste 1 / 5,58 kg                                     | 30              | 0,085                                     | 0,188                                      | 0,220                                         | 0,258                                      |
| Teste 2 / 10,10 kg                                    | 30              | 0,092                                     | 0,195                                      | 0,233                                         | 0,274                                      |

#### 5.2.6. Conclusões parciais campanha experimental 2

Na avaliação do aditivo impermeabilizante líquido desenvolvido na campanha experimental 2 nota-se que não houve mudança significativa nas propriedades do concreto e não reduziu a permeabilidade do concreto. Observa-se um efeito colateral e o concreto apresentou um aumento da permeabilidade quando comparado ao traço referência, a massa específica do concreto diminuiu tornando o concreto menos denso e mais permeável desta forma o objetivo de impermeabilizar o concreto não foi alcançado.

## 6. Estudo de campo

Este tópico trata de um estudo de campo realizado em uma laje de concreto em escala real para avaliar o desempenho do aditivo impermeabilizante que foi desenvolvido e apresentou melhor desempenho. A laje de concreto que foi testada em campo faz parte da área administrativa no imóvel situado na Estrada do Corredor nº 3355 – Jardim Luana – Cidade Itaquaquecetuba – SP. O imóvel está em fase de construção e pertence à empresa TEC-MACHINE Fibras Estruturais, que cedeu o local e patrocinou o teste em campo.

### 6.1. Projeto da laje

Para realização da concretagem da laje, foi marcada a região de concretagem com e sem uso do aditivo impermeabilizante. Os volumes de concreto para cada região foram utilizados conforme projeto apresentado na figura 12.

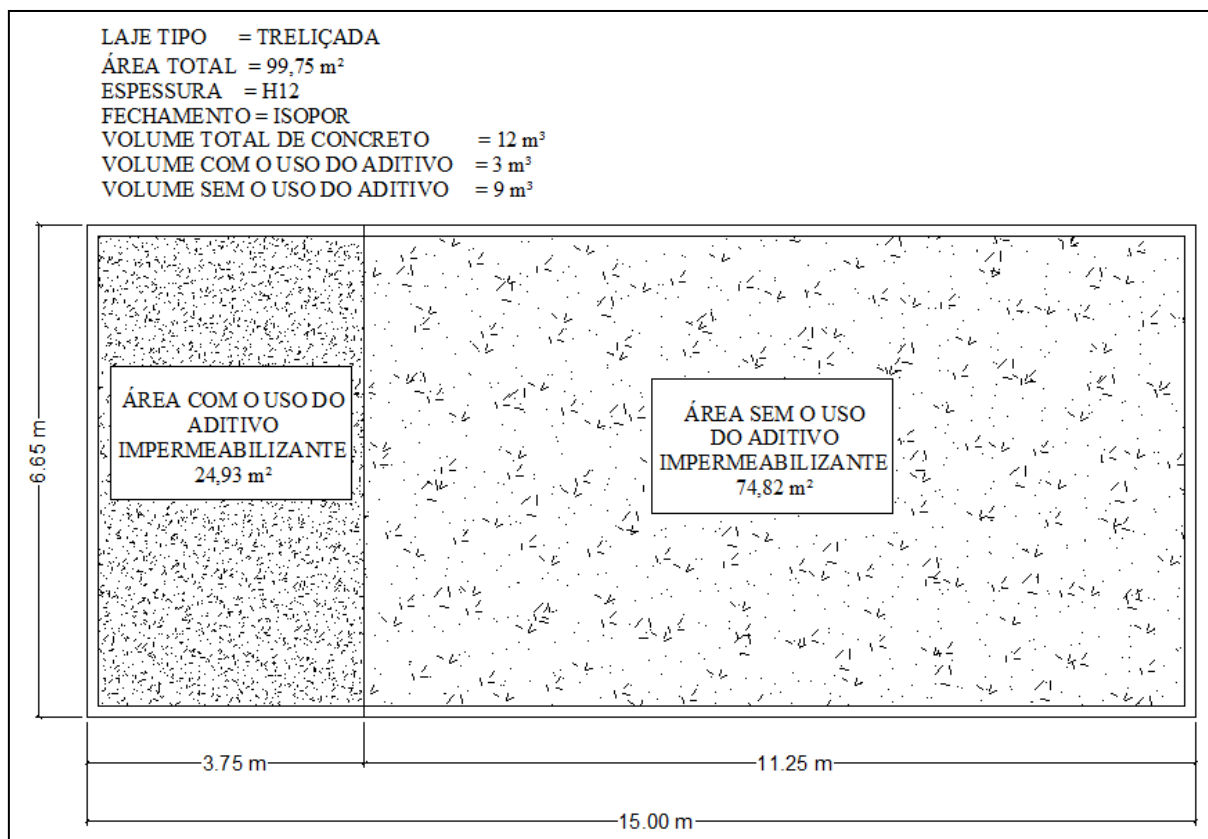


Figura 12: Projeto da laje com áreas de concretagem com e sem o uso do aditivo

## 6.2. Dosagem do concreto para o teste em campo

Com base na caracterização do concreto com o uso do aditivo impermeabilizante para laje realizado no capítulo 5 deste trabalho, definiu-se que o aditivo impermeabilizante sólido da campanha experimental 1 seria utilizado para o teste em campo. A concretagem da laje do teste em campo foi feita com concreto usinado de resistência  $f_{ck}$  25 conforme estabelecido na norma ABNT NBR 6118 (2014). A tabela 20 descreve o traço com os materiais utilizados no concreto para o teste em campo, sendo o concreto referência sem o uso do aditivo impermeabilizante e o concreto utilizado para o teste em campo com o uso de aditivo. Para concretagem da região da laje com o uso do aditivo impermeabilizante foram necessários 3 m<sup>3</sup> de concreto.

Tabela 14: Traço do concreto utilizado no teste em campo.

| Material (kg/m <sup>3</sup> )    | Referência | Teste Campo |
|----------------------------------|------------|-------------|
| Aditivo impermeabilizante sólido | 0          | 26,07       |
| Aditivo dispersante              | 2,24       | 2,24        |
| Agregado miúdo                   | 781,0      | 755,5       |
| Agregado graúdo                  | 1058,0     | 1058,0      |
| Água                             | 192,0      | 192,0       |
| Cimento CP II F 32               | 320,0      | 320,0       |

## 6.3. Concretagem da laje

Para realização da concretagem, a laje foi previamente escorada com pontaletes de madeira para sustentação do concreto durante o período de cura da laje, conforme ilustrado na figura 13.



Figura 13: Escoramento da laje com pontaletes

No recebimento do caminhão betoneira, os materiais do aditivo foram adicionados no balão do caminhão conforme demonstrado na figura 14.



Figura 14: Adição dos materiais no balão do caminhão

Os materiais foram misturados por 5 minutos. Em seguida, foi avaliado o abatimento para verificação da consistência do concreto conforme figura 15.



Figura 15: Ensaio de abatimento e consistência do concreto em obra

Após análise e liberação do abatimento e da consistência, iniciou-se o processo de concretagem tomando-se o cuidado de manter o concreto da laje o mais nivelado possível, conforme ilustrado na figura 16.



Figura 16: Lançamento e adensamento do concreto da laje.

#### 6.4. Cura da laje teste em campo

O processo de cura do concreto é essencial nas idades iniciais do concreto para evitar a fissuração causada por retração. A cura da laje foi feita umedecendo o concreto com água em toda a extensão da laje durante os 7 primeiros dias da concretagem e com intervalo de 30 minutos a cada molhagem durante o dia atentando-se para não deixar de hidratar nenhuma parte da laje. A figura 17 demonstra o processo de cura do concreto.



Figura 17: Processo de cura do concreto da laje.

Após período de cura úmida de 7 dias da concretagem e cura ao ar de 28 dias os escoramentos da laje foram removidos e a laje está pronta para uso.

### **6.5. Avaliação de desempenho do concreto com aditivo impermeabilizante**

Para a avaliação do concreto do teste em campo, definiu-se que seriam realizados ensaios de laboratório de resistência à compressão de acordo com a norma ABNT NBR 5739 (2018), absorção de água, índice de vazios e massa específica de acordo com a norma ABNT NBR 9778 (2005), determinação da absorção de água por capilaridade de acordo com a norma NBR 9779 (ABNT, 2012) e para avaliar a permeabilidade do concreto foi desenvolvido um método não destrutivo do concreto da laje e sem prejudicar sua integridade o ensaio de absorção direta de água será apresentado no subitem 6.6.2.

### **6.6. Ensaio de laboratório do concreto no estado endurecido**

Durante a concretagem da laje, corpos de prova cilíndricos de 20cm x 10cm foram moldados e adensados manualmente com haste metálica conforme norma ABNT NBR 5738 (2015) para melhor compactação do concreto. Após a moldagem, os corpos de prova foram identificados. Após 48 horas, os corpos de prova foram desmoldados e colocados na câmara de cura úmida por 28 dias. Após o processo de cura, os corpos de prova foram ensaiados em laboratório para verificação das propriedades do concreto da laje.

Para verificação das propriedades do concreto, foram realizados ensaios de resistência à compressão de acordo com a norma ABNT NBR 5739 (2018), absorção de água, índice de

vazios e massa específica de acordo com a norma ABNT NBR 9778 (2005), determinação da absorção de água por capilaridade de acordo com a norma NBR 9779 (ABNT, 2012). Os resultados dos ensaios estão descritos na tabela 22.

Tabela 15: Resultado médio dos ensaios de desempenho do concreto com o uso do aditivo.

| Amostra Teste Campo | Idade (dias) | Resistência à compressão (MPa) | Resistência à compressão média (MPa) | Absorção de água média (%) | Massa específica média (g/cm <sup>3</sup> ) | Índice de vazios média (%) |
|---------------------|--------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| CP 1                | 2            | 4,32                           | 4,2                                  | -                          | -                                           | -                          |
| CP 2                | 2            | 4,10                           |                                      | -                          | -                                           | -                          |
| CP 3                | 28           | 20,31                          | 19,1                                 | 2,34                       | 2,41                                        | 5,33                       |
| CP 4                | 28           | 17,29                          |                                      |                            |                                             |                            |
| CP 5                | 28           | 19,16                          |                                      |                            |                                             |                            |
| CP 6                | 28           | 18,26                          |                                      |                            |                                             |                            |
| CP 7                | 28           | 18,75                          |                                      |                            |                                             |                            |
| CP 8                | 28           | 21,10                          |                                      |                            |                                             |                            |

Os resultados dos ensaios físicos para avaliação das propriedades físicas do concreto tabela 20 apresentaram resultados ligeiramente abaixo do esperado em termos de resistência à compressão para a idade do concreto em 28 dias.

#### 6.6.1. Avaliação comparativa da laje no teste em campo

Na avaliação da laje ao final da etapa de cura foi avaliada de maneira qualitativa as condições que as lajes se encontravam em relação a fissuração, permeabilidade e outras patologias para avaliar a eficiência e se o aditivo impermeabilizante para laje atingiu o seu objetivo ou não.

Observa-se que a região da laje que foi utilizado o aditivo impermeabilizante não apresentou nenhuma fissura conforme demonstrado na figura 18. O concreto da região da laje que não foi utilizado o aditivo impermeabilizante apresentou fissuras conforme demonstrado na figura 19.

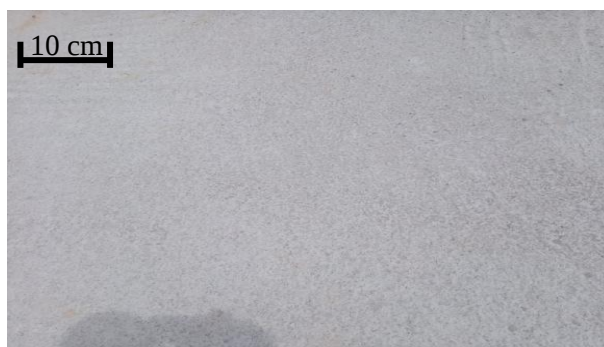


Figura 18: Laje de concreto com o uso do aditivo e sem fissuração



Figura 19: Laje de concreto sem o uso do aditivo e com fissuração

#### **6.6.2. Ensaio em campo de absorção de água direta**

Além dos ensaios normatizados realizados em corpos de prova em laboratório, foi realizado em campo um teste não destrutivo de absorção direta de água por gravidade na laje. Este ensaio não é normatizado e foi desenvolvido especificamente para avaliar a permeabilidade do concreto da laje na região com e sem o uso do aditivo impermeabilizante para laje e realizar a comparação dos resultados.

O ensaio de absorção direta de água por gravidade consiste na colocação de um tubo transparente com dimensões internas de 56mm x 250mm fixado em 3 pontos na laje da região com e sem o uso do aditivo impermeabilizante para laje, a fixação dos tubos transparentes foi feita com o uso de massa de vedação. Em seguida colocou a quantidade de 500ml de água que equivale a 203mm de altura do volume de água a conforme figura 18. Os tubos 1, 2 e 3 foram instalados na parte da laje com o uso do aditivo impermeabilizante e os tubos 4,5 e 6 foram instalados na parte da laje sem o uso do aditivo impermeabilizante.



Figura 20: Tubos transparentes para ensaio de absorção de água direta no início do ensaio

Nota-se na figura 18 nos tubos 04 e 06 que o processo de saída da água dos tubos é de imediato o que não ocorrem nos tubos 1, 2, 3 e 5 que estavam em local sem nenhuma fissuração. A saída rápida de água dos tubos 04 e 06 são provenientes da fissuração existente na laje na parte onde não foi utilizado o aditivo impermeabilizante para laje, isto é uma indicação que a fissuração promove uma movimentação dos fluídos dentro do concreto, sendo assim, pode-se afirmar que a fissuração é uma patologia indesejável para laje expostas a chuvas e outros fluídos.

A figura 19 demonstra os tubos após realização do ciclo final de medições no intervalo de 48 horas com a coluna de água de 203 mm com volume de 500 ml do início do teste com as medições finais.



Figura 21: Tubos transparentes para ensaio de absorção de água direta após 48 horas

Após a colocação da água nos tubos foram respeitados os intervalos estabelecidos de medição do volume de água dos tubos de 3 horas, 6 horas e 24 horas. As medições para verificação da absorção de água direta de cada intervalo estão descritas na tabela 23.

Tabela 16: Resultado do ensaio de absorção direta do concreto com e sem o uso do aditivo.

| Tipo do Teste                          | Marcação | Início do Teste (mm) | 3 horas (mm) | 6 horas (mm) | 24 horas (mm) | Absorção (%) |
|----------------------------------------|----------|----------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Com o uso do Aditivo Impermeabilizante | Tubo 1   | 203                  | 197          | 195          | 185           | 8,86         |
|                                        | Tubo 2   | 203                  | 201          | 197          | 194           | 4,43         |
|                                        | Tubo 3   | 203                  | 197          | 192          | 187           | 7,88         |
| Sem o uso do Aditivo Impermeabilizante | Tubo 4   | 203                  | 157          | 134          | 124           | 38,91        |
|                                        | Tubo 5   | 203                  | 190          | 182          | 155           | 23,64        |
|                                        | Tubo 6   | 203                  | 110          | 39           | 1             | 99,50        |

Nota-se na tabela 22 que o percentual de absorção do volume de água no concreto com o uso do aditivo impermeabilizante após as 48 horas do teste é significativamente inferior ao percentual de absorção do volume de água no concreto da região sem o uso do aditivo impermeabilizante.

### 6.7. Conclusões parciais do teste em campo

O aditivo impermeabilizante desenvolvido conferiu melhores propriedades físicas ao concreto com resultados satisfatórios cumprindo os objetivos que foram estabelecidos no início do desenvolvimento, demonstrando ser um produto de fácil aplicação com excelente benefício.

Na avaliação do concreto das lajes nota-se que a laje que teve o uso do aditivo impermeabilizante apresentou melhores propriedades físicas e não apresentou nenhuma fissura e a permeabilidade do concreto no teste de absorção de água direta diminuiu na comparação com o concreto produzido sem o aditivo impermeabilizante, isto indica que o aditivo impermeabilizante atendeu as expectativas.

## **7. Manual de instruções e boas práticas para laje de concreto**

A concretagem de uma laje é um ponto importante em toda edificação e conforme analisado no mapeamento da qualidade de concretos utilizados em lajes em São Paulo no capítulo 3, sendo assim, se faz necessária à elaboração de um manual de instruções e boas práticas para execução de uma laje de concreto sem apresentar manifestações patológicas e com qualidade superior.

Este capítulo fornecerá instruções e abordarão os pontos importantes na execução de uma laje de concreto desde a preparação, montagem da laje, escoramento, adições, mistura, concretagem, acabamento e cura do concreto. Serão apresentadas as boas práticas recomendadas em cada etapa processo visando obter-se uma laje de concreto dentro dos padrões normativos de execução.

### **7.1. Formas e escoramento da laje**

Para a montagem das formas e dos escoramentos deve-se analisar o projeto da laje e utilizar materiais com rigidez suficiente para assegurar o formato da e as dimensões da estrutura projetada.

As formas devem ser fixadas na estrutura de forma a preservar as dimensões do projeto e os materiais devem suportar os esforços sem sofrer alterações no momento da concretagem, não podem reagir com o concreto e permitir que a operação de lançamento e adensamento do concreto seja feita de maneira adequada conforme descrito na norma NBR 15696 (ABNT, 2009).

O escoramento da laje deve ser executado de modo a suportar comportamento da estrutura em serviço evitando qualquer tipo de recalque que possa prejudicar a estrutura da laje, os escoramentos devem estar apoiados em bases resistentes, ajustáveis e apropriados para facilitar sua remoção e não submeter à laje a impactos, sobrecargas e outros danos.

Caso o piso não esteja concretado deve-se colocar em cada escoramento uma base para evitar que o escoramento afunde no solo e prejudique o nivelamento da estrutura da laje, a distância de cada escoramento deve ser de 1,00m a 1,30m com travamentos laterais, o apoio das vigotas de concreto deve estar nivelado à figura 22 descreve de maneira esquemática a como deve ser a montagem das formas e do escoramento.

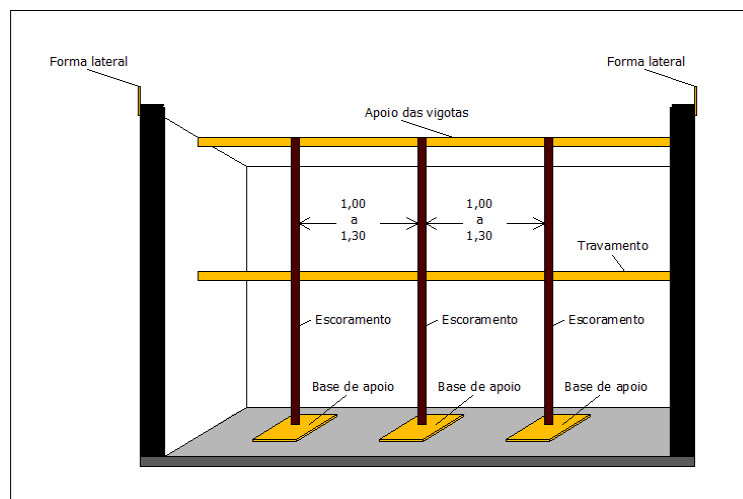


Figura 22: Esquema de montagem das formas e escoramentos da laje

## 7.2. Montagem da laje

A montagem da laje deve seguir o projeto estrutural e o posicionamento das vigotas deve ser perpendicular aos apoios do escoramento, desta forma as vigotas ficam apoiadas de forma a suportar a carga do concreto sem sofrer deformações, as lajotas cerâmicas ou isopor devem ser montados em esquadro para evitar vazamento de concreto. A figura 23 demonstra a montagem das vigotas e lajotas apoiadas perpendicularmente aos apoios do escoramento.

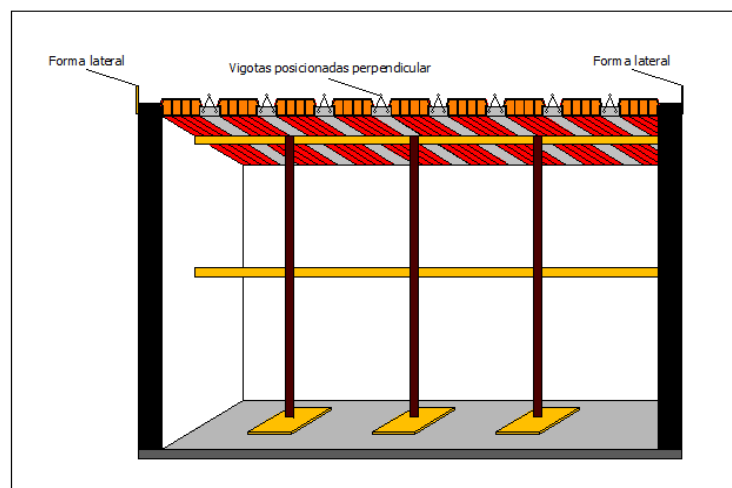


Figura 23: Esquema de montagem da laje apoiada nos escoramentos

### 7.3. Adições do concreto

Para melhorar as propriedades do concreto quando necessário são incorporados aditivos que conferem ao concreto, aumento do abatimento, tempo de secagem, aumento de resistência, menor consumo de água, redução da permeabilidade, redução do tempo de secagem, aumento do tempo de secagem, reforço fibroso e outras propriedades desejadas.

Para adição dos aditivos ao concreto deve ser separada a quantidade a ser utilizada por m<sup>3</sup> do concreto conforme necessidade do projeto e recomendação do fabricante e deve ser dosado no balão do caminhão betoneira. A figura 23 demonstra a etapa de dosagem dos materiais no balão do caminhão betoneira.



Figura 24: Adição dos aditivos no balão do caminhão de concreto

### 7.4. Mistura do concreto

A mistura do concreto deve ser realizada após a adição de todos os materiais e a quantidade de água suplementar do concreto após estas adições misturar por 3 a 5 minutos na velocidade maior que 12 rotações por minuto conforme descreve a norma NBR 7212 (ABNT, 2021) e fazer o teste de abatimento do concreto, a medida recomendada do abatimento é de  $(15 \text{ cm} \pm 2) \text{ cm}$  caso não atinja a medida recomendada adicionar a quantidade suplementar do aditivo plastificante.

### 7.5. Lançamento do concreto

Para realização do lançamento do concreto do concreto deve ser verificado se existem detritos ou materiais soltos que possam afetar a qualidade da estrutura da laje e então inicia-se o lançamento do concreto na quantidade necessária para laje e o mais próximo possível do local onde o concreto será adensado com isto reduz-se a mão de obra e tempo de concretagem. A figura 25 demonstra a etapa de lançamento do concreto na laje.



Figura 25: Lançamento do concreto na laje

### 7.6. Adensamento e acabamento do concreto

O adensamento e acabamento do concreto devem ser feito com ferramenta tubular, o adensamento deve ser feito com movimento leve circular para cima e para baixo gerando leve vibração ao concreto que promoverá o adensamento do concreto. Após o adensamento fazer movimento suave e constante puxando o concreto para traz fazendo o acabamento do concreto. A figura 26 demonstra a etapa de adensamento e acabamento do concreto.

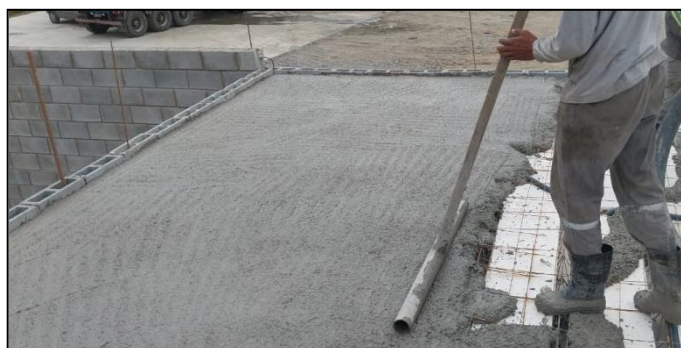


Figura 26: Adensamento e acabamento do concreto na laje

### 7.7. Cura do concreto

O processo de cura do concreto é essencial para evitar a fissuração causada por retração, a cura do concreto pode ser feita com água em toda a extensão da laje durante os 07 primeiros dias da concretagem e com intervalo de 30 minutos a cada hidratação durante o dia atentando-se para não deixar de hidratar nenhuma parte da laje. A figura 27 demonstra o processo de cura do concreto.



Figura 27: Processo de cura do concreto da laje.

### 7.8. Desforma da laje

A desforma da laje pode ser feita após período de cura de 28 dias os escoramentos podem ser removidos tomando os devidos cuidados para não gerar impactos e batidas desnecessárias que possam prejudicar a estrutura da laje. Após a etapa da desforma a laje está pronta e liberada para uso. A figura 28 demonstra a laje sem os escoramentos e desformada.



Figura 28: Laje pronta sem o escoramento pronta para uso.

## 8. Considerações finais

Com o avanço dos materiais e técnicas construtivas que facilitam os processos construtivos nota-se um crescimento nas pesquisas de inovação e desenvolvimento de novos materiais que aceleram a execução das obras.

O mapeamento da qualidade do concreto fornecido para lajes residenciais no estado de São Paulo foi fundamental para esta dissertação, pois forneceu uma base de dados com informações atuais sobre o que as empresas de concreto estão fornecendo em termos de qualidade, tipo de concreto e informações sobre os processos de manejo da laje após a concretagem aos seus clientes, haja visto que a concretagem da laje não é a etapa final deste elemento estrutural são necessários processos de cura e desforma do concreto da laje que requerem cuidados e atenção dos proprietários que devem ser orientados.

Após análise dos dados do mapeamento da qualidade de concretos utilizados em lajes em São Paulo foram identificadas algumas práticas de mercado que prejudicam a qualidade do concreto e em muitos casos geram infiltrações de água que são prejudiciais a edificação e as pessoas que habitam neste local. O desenvolvimento de aditivos impermeabilizantes para laje é uma inovação que agrega qualidade ao concreto e reduz patologias que geram infiltração de água melhorando a vida útil da edificação e a qualidade de vida dos moradores.

No estudo do mapeamento da qualidade do concreto fornecido para lajes residenciais no estado de São Paulo nota-se que alguns pontos importantes para laje são negligenciados e a falta de informação passada sobre o manejo da laje aos proprietários afetam o processo de cura do concreto e consequentemente a qualidade da laje o fornecimento de um manual de instruções e boas práticas para as empresas de concreto e proprietários é fundamental para diminuir esta lacuna de informação.

Nesta dissertação foram estudados e avaliados 2 tipos de aditivos impermeabilizante sendo um do tipo líquido e o outro sólido que foram testados em escala de laboratório e avaliados as propriedades físicas. O aditivo impermeabilizante sólido apresentou desempenho superior e foi o aditivo impermeabilizante sólido foi o escolhido para ser aplicado no teste em campo, onde se confirmou o excelente desempenho em relação à eliminação de fissuração do concreto e redução da permeabilidade do concreto, este aditivo pode ser estudado no futuro em outras edificações com diferentes composições, dosagens e traços de concreto para aprimoramento e redução máxima de consumo por m<sup>3</sup> de concreto.

A laje é um importante elemento estrutural na edificação e requer todo cuidado necessário em toda etapa do processo desde a montagem do escoramento até o término do processo de cura e desforma da laje. O manual de instruções e boas práticas para execução de uma laje apresentam de maneira simples e didática detalhes importantes sobre os cuidados necessários para execução de uma laje com qualidade e menor possibilidade de apresentar patologias que podem gerar infiltração de água.

Novos estudos podem feitos no futuro para aprimoramento das fórmulas, análise dos custos e avaliação de viabilidade comercial do produto que se trata de algo inovador no mercado da construção civil.

## 9. Referências

APAY, A. C. et al. Investigation and modelling the effects of water proofing and water repellent admixtures dosage on the permeability and compressive strengths of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 113, p. 698–711, 2016.

AİTCIN, P.-C.; FLATT, R. J. **Science and Technology of Concrete Admixtures**. Cambridge: Elsevier Ltd, 2016.

AİTCIN, P. C. **Binders for durable and sustainable concrete**. 1. ed. England: Taylor & Francis, 2008.

AL-RASHED, R.; AL-JABARI, M. **Concrete protection by combined hygroscopic and hydrophilic crystallization waterproofing applied to fresh concrete**. Case Studies in Construction Materials, v. 15, n. July, p. e00635, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos-Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 9574**: Execução de Impermeabilização. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 9575**: Impermeabilização - Seleção e Projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 10787**: Concreto endurecido-Determinação de água sob pressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 13956**: Silica ativa para uso em cimento Portland em concreto, argamassa e pasta. Rio de Janeiro: ABNT, 2012a.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos-Determinação de absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012b.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 8953**: Concretos para fins estruturais, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 5738**: Concreto-Procedimento para moldagem e cura dos corpos de

prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7680-1**: Concreto-Extração, preparo, ensaio e análise testemunhos de estruturas de concreto. Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro: ABNT, 2015c.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR ISO 7500-1**: Materiais metálicos-Calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão-Calibração e verificação do sistema de medição da força. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 14859-1**: Lajes pré-fabricadas de concreto parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15823-2**: Concreto autoadensável Parte2:Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual-Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro: ABNT, 2017a.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15823-3**: Concreto autoadensável Parte 3:Determinação da habilidade passante-Método do anel J. Rio de Janeiro: ABNT, 2017b.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 5739**: Concreto-Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018a.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018b.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 16889**: Concreto-Determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020a.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 16886**: Concreto-Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 2020b.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7212**: Concreto dosado em central - Preparo, fornecimento e controle. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Parte 1:Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland-Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASPIOTIS, K. et al. Durability assessment of self-healing in ordinary Portland cement concrete containing chemical additives. **Construction and Building Materials**, v. 305, n. December 2020, 2021.

BASTOS, P. S. **Lajes de Concreto Armado**. Universidade Estadual Paulista (UNESP), p. 109, 2021.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, J. R. DE. **Concreto Armado**. São Carlos: [s.n.].

FLÓRIO, M. C. **Projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas em concreto armado**. Universidade Federal de São Carlos, p. 240, 2004.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: 1992.

IBRACON. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Volume 1- ed. São Paulo: IBRACON, 2017.

IBI – INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. **Guia Orientativo para o Desempenho dos Sistemas de Impermeabilização**. Volume 2 – Ed. São Paulo: IBI, 2023.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedade e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014.

MORA, E. et al. Control of water absorption in concrete materials by modification with hybrid hydrophobic silica particles. **Construction and Building Materials**, v. 221, p. 210–218, 2019.

MORAES, K. A. **Otimização De Uso De Adições Minerais Para A Produção De Concreto Autoadensável**. Universidade Federal de Pernambuco, 2010.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2016.

RAJASEGAR, M.; KUMAAR, C. M. Hybrid effect of poly vinyl alcohol, expansive minerals, nano-silica and rice husk ash on the self-healing ability of concrete. **Materials Today: Proceedings**, v. 45, p. 5944–5952, 2020.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação E Reforço De Estruturas De Concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

TKACH, E. V et al. Highly Effective Water-repellent Concrete with Improved Physical and Technical Properties. **Procedia Engineering**, v. 111, p. 763–769, 2015.

YANG, J. et al. Rational application of nano-SiO<sub>2</sub> in cement paste incorporated with silane: Counterbalancing and synergistic effects. **Cement and Concrete Composites**, v. 118, n. February, p. 103959, 2021.

VITÓRIO, J. A. P. **Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia.** Instituto Pernambucano de Avaliações e Perícias de Engenharia, p. 58, 2003.

ZHU, H. et al. Water-repellent additive that increases concrete cracking resistance in dry curing environments. **Construction and Building Materials**, v. 249, p. 1–10, 2020.