**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**MARIANA DUARTE DE ARAÚJO**

**MONICA SILVESTRE CROZETTA SAVIATTO**

# ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE EM CONCRETO

Palhoça

2018

MARIANA DUARTE DE ARAÚJO
MONICA SILVESTRE CROZETTA SAVIATTO

# ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE EM CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Palhoça, 31 de outubro de 2018.

Orientador: Prof.ª Eng.ª Civil Marcelo Cechinel, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Eng. Civil Ricardo Mafra, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Carlos Cavalheiro, Engenheiro Civil
PROTENSUL Pré-Fabricados Ltda.

Dedicamos este trabalho aos nossos pais e familiares pelo efetivo incentivo e pela confiança no nosso potencial para a conquista deste ideal. Também, aos nossos amigos, colegas e professores, que entenderam nossas dificuldades e foram importantes na busca do título de Engenheiro Civil.

## AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Yara, por ser minha inspiração, que sempre me motivou a estudar na Escola Técnica Federal (IFSC), onde a qual me formei Técnica em Edificações, sendo ponto de partida para minha entrada na construção civil e me encaminhando para a Engenharia Civil. Por ela ter paciência quando em mim faltava e por sempre acreditar no meu potencial.

Ao meu pai, Carlos, que não me faltou em nenhum momento, dando todo o suporte necessário para eu seguir adiante, pelas palavras de carinho e estímulo, que sonhou junto comigo e fez com que hoje esteja se tornando realidade.

Aos meus amigos que me apoiaram e ajudaram a me manter firme nesse propósito e aos colegas do curso pelo companheirismo e por tornar os dias de estudo mais agradáveis.

A minha parceira Mônica, por fazer este trabalho junto comigo, sempre buscando conhecimento e melhorias para, assim, o concluir.

Ao nosso orientador, professor Marcelo Cechinel, por esclarecer nossas dúvidas, tendo muita paciência, competência, transmitindo confiança e conhecimentos.

E a todos demais que participaram de alguma forma na minha vida acadêmica e que contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

Mariana Duarte de Araújo

Inicialmente, agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, padrasto e madrasta, e a toda a minha família que me deram toda a estrutura para que me tornasse a pessoa que sou hoje e que, com muito carinho, me motivaram e aconselharam em diversos momentos importantes na minha vida, me dando suporte e apoio em cada decisão tomada.

Ao meu namorado Artur, por ter vivenciado comigo passo a passo todos os detalhes deste trabalho, por ter me dado todo o apoio que necessitava nos momentos difíceis, todo carinho, respeito, e por tornar minha vida cada dia mais feliz.

A minha parceira Mariana Duarte, por somar ideias e ajudar a transformar esse trabalho recompensador em realidade.

Ao nosso orientador, professor Marcelo Cechinel, pelo apoio e auxílio em todas as dificuldades.

E a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram com minha formação.

Monica Silvestre Crozetta Saviatto

# RESUMO

Com o crescimento do mercado de construção civil e a busca incessante pela execução no mais curto prazo possível, muitas obras acabam por apresentar excessivos erros de execução, nas várias etapas da obra. A impermeabilização é uma das etapas mais relegadas de uma construção, seja devido ao custo, desinformação ou até mesmo descaso por parte dos construtores e proprietários. Entretanto, é sabido que as patologias advindas desta negligência são deveras danosas para a edificação, além de gerar consideráveis custos para muitas vezes resultar em soluções apenas paliativas para o problema. A busca por uma solução de mercado para sanar este tão corriqueiro problema motivou o trabalho que segue. Neste buscou-se analisar um produto facilmente encontrado no mercado cujo objetivo é, ao ser adicionado à massa, conferir ao concreto uma resistência à percolação da água servindo como objeto de impermeabilização do mesmo. O trabalho foi fundamentado em ensaios laboratoriais onde testou-se o aditivo impermeabilizante X – Empresa A de forma a constatar a real eficiência do mesmo e os resultados acerca desta análise encontram-se inclusas neste que segue, apresentando um parecer pontual com base nos corpos de prova moldados e ensaiados de acordo com as várias normativas que regem o assunto, seja através da análise das resistências visando a constatação da inércia do produto ao concreto, seja da análise dos ensaios de absorção que comprovam ou não sua eficiência.



Palavras-chave: Construção Civil. Impermeabilização. Aditivo.

**ABSTRACT**

According to the Growth of the building market and the ceaseless search for the fastest and shortest way to finish the buildings, many executions usually appear full of problems during the building steps. Nowadays the waterproofing is one of the steps with no due attention on the building proccess. It happens because of the high costs to make this right, sometimes because of the low know how and also because most of the constructors do not really care about the final building result. However, it is well known that the pathologies resulting from this negligence are very damaging to the building as well as generating high costs to often result in only palliative solutions to the problem. The search for the market solutions to remedy this common problem motivated the work that follows. The purpose of this work was to analyze one product easily found in the market whose objective is to add to the mass to give the concrete a resistance to the percolation of the water serving as an object of waterproofing it. The work had been based on laboratory tests where the waterproofing additive X – Company A was tested in order to verify the actual efficiency of the experiment and the results about that obtained are included on this job, that follows showing a punctual opinion based on the molded test bodies and tested in accordance with the all governing regulations the matter, either through the analysis of the resistances in order to verify the inertia of the product to the concrete or the analysis of the absorption tests that prove its effectiveness or not.

Key-words: Building. Waterproofing. Additive.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de cimento Portland. ..... 16
Tabela 2 - Dosagem de aditivo para argamassa ..... 45
Tabela 3 – Traço do concreto PROTENSUL ..... 45
Tabela 4 – Traço do concreto Impermeável ..... 46
Tabela 5 – Sequência de abertura das malhas das peneiras ..... 50
Tabela 6 – Massa mínima por amostra de ensaio ..... 51
Tabela 7 - Controle de agregados graúdos ..... 54
Tabela 8 - Controle de agregado miúdo ..... 54
Tabela 9 - Limites da composição granulométrica para agregado graúdo ..... 55
Tabela 10 - Limites da composição granulométrica para agregado miúdo ..... 55
Tabela 11 - Quantidade de amostras por ensaio ..... 56
Tabela 12 - Teste de abatimento de tronco de cone (*Slump test*) ..... 57
Tabela 13 - Determinação da classe de consistência ..... 58
Tabela 14 - Determinação do número de camadas para moldagem dos corpos de prova ..... 58
Tabela 15 - Dados do corpo de prova com aditivo impermeabilizante ..... 61
Tabela 16 - Dados do corpo de prova sem aditivo impermeabilizante ..... 61
Tabela 17 - Tolerância para idade de ensaio ..... 63
Tabela 18 - Leitura da força de ruptura de corpo de prova com aditivo ..... 64
Tabela 19 - Leitura da força de ruptura de corpo de prova sem aditivo ..... 65
Tabela 20 - Leitura da força de ruptura de corpo de prova com aditivo aos 28 dias ..... 65
Tabela 21 - Leitura da força de ruptura de corpo de prova sem aditivo aos 28 dias ..... 65
Tabela 22 - Massa da amostra seca sem aditivo ..... 66
Tabela 23 - Massa da amostra seca com aditivo ..... 66
Tabela 24 - Peso das amostras sem aditivo ..... 67
Tabela 25 - Peso das amostras com aditivo ..... 67
Tabela 26 - Ensaio de compressão axial aos 7 dias ..... 71
Tabela 27 - Ensaio de compressão axial aos 28 dias ..... 71
Tabela 28 - Determinação da absorção de água e índice de vazios ..... 72
Tabela 29 - Determinação da massa específica da amostra saturada ..... 72
Tabela 30 - Determinação da massa específica real ..... 73

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lançamento do concreto Auto adensável ..... 23
Figura 2 – Passagem da água no Concreto Permeável ..... 26
Figura 3 – Água escorrendo pela superfície do Concreto Impermeável ..... 28
Figura 4 - Argamassa com aditivo hidrófugo ..... 32
Figura 5 – Aplicação de Resina Epóxi ..... 33
Figura 6 – Eflorescência em estrutura de concreto ..... 38
Figura 7 - Mancha de umidade devida presença de água ..... 39
Figura 8 - Bolhas na pintura ..... 39
Figura 9 - Objetivos da normalização ..... 41
Figura 10 – Fluxograma dos Procedimentos de normalização ..... 42
Figura 12- Dosagem do aditivo impermeabilizante conforme o traço ..... 46
Figura 13 - Separador mecânico ..... 48
Figura 14 - Quarteador Empresa B ..... 49
Figura 15 - Utilização do quarteador Empresa B ..... 49
Figura 16 - Peneiras granulométricas ..... 51
Figura 17 - Peneiras utilizadas para agregado graúdo (brita 1) ..... 52
Figura 18 - Peneiras utilizadas para agregado miúdo (areia média) ..... 52
Figura 19 - Agitação mecânica do conjunto de peneiras ..... 53
Figura 20 - Teste de abatimento do tronco de cone ..... 57
Figura 21 - Moldagem dos corpos de prova ..... 59
Figura 22 - Corpos de prova moldados ..... 59
Figura 23 - Processo de cura das amostras ..... 60
Figura 24 - Tipo de ruptura de corpo de prova ..... 62
Figura 25 - Ruptura de corpo de prova ..... 63
Figura 26 - Corpo de prova após ruptura ..... 64
Figura 27 – Colocação das amostras na estufa para secagem ..... 66
Figura 28 - Imersão das amostras no tanque em água a temperatura ambiente ..... 67
Figura 29 – Corpo de prova 1 com aditivo impermeabilizante sendo fervido a aproximadamente 105° C por 5 h ..... 68

**SUMÁRIO**

**1 INTRODUÇÃO ..... 12**
1.1 PROBLEMAS DE PESQUISA ..... 12
1.2 JUSTIFICATIVA ..... 12
1.3 OBJETIVOS ..... 13
**1.3.1 Objetivo geral ..... 13**
**1.3.2 Objetivo específico ..... 13**
1.4 METODOLOGIA ..... 14
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO ..... 14
**2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 15**
2.1 CONCRETO ..... 15
**2.1.1 HISTÓRICO DO CONCRETO ..... 15**
**2.1.2 HISTÓRICO DO CONCRETO ARMADO ..... 18**
2.2 DURABILIDADE DO CONCRETO ..... 19
**2.2.1 Transportes de fluídos no concreto ..... 20**
**2.2.2 Influência no sistema de poros ..... 20**
**2.2.3 Escoamento, difusão e sorção ..... 21**
2.3 CONCRETOS ESPECIAIS ..... 21
**2.3.1 CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO ..... 21**
**2.3.2 CONCRETO AUTO ADENSÁVEL ..... 22**
**2.3.3 CONCRETO DE PÓS REATIVOS (CPR) ..... 24**
**2.3.4 CONCRETO PERMEÁVEL ..... 25**
**2.3.5 CONCRETO IMPERMEÁVEL ..... 27**
2.4 PERMEABILIDADE ..... 28
**2.4.1 Permeabilidade do Concreto à água ..... 29**
2.5 IMPERMEABILIZAÇÃO ..... 30
**2.5.1 Tipos de sistemas impermeabilizantes ..... 30**
2.5.1.1 Impermeabilização rígida ..... 31
2.5.1.2 Impermeabilização flexível ..... 33
2.6 PATOLOGIA ..... 36
**2.6.1 Patologia na construção civil ..... 36**
**2.6.2 Manifestações patológicas decorrentes da não impermeabilização ..... 37**

2.6.2.1 Estruturas de concreto armado ..... 37
2.6.2.2 Patologias resultantes da falta de impermeabilização ..... 37
2.7 NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS ..... 39
**3 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE NO CONCRETO ..... 43**
3.1 ADITIVO X ..... 43
3.2 PRODUÇÃO DO CONCRETO ..... 45
**3.2.1 Procedimento do Ensaio de Granulometria ..... 47**
3.3 PROCEDIMENTO DO ENSAIO DE MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA ..... 56
3.4 PROCEDIMENTO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO ..... 60
3.5 PROCEDIMENTO DO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA 65
**4 CONCLUSÃO ..... 71**
**REFERÊNCIAS ..... 74**
**ANEXOS ..... 79**
**ANEXO A – DADOS GRANULOMETRIA BRITA 1 ..... 80**
**ANEXO B – DADOS GRANULOMETRIA BRITA 0 ..... 81**
**ANEXO C – DADOS GRANULOMETRIA AREIA MÉDIA ..... 82**
**ANEXO D – DADOS GRANULOMETRIA AREIA ARTIFICIAL ..... 83**

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 PROBLEMAS DE PESQUISA

A água é uma das principais matérias-primas para a construção civil, em contrapartida também um dos principais vilões, sendo grande causadora de patologias nas edificações. Por isto a necessidade de aplicação de sistemas de impermeabilização, para proteger e prolongar a vida útil das construções, e assim atender a norma regulamentadora ABNT NBR 15575:2013 - Desempenho de edificações habitacionais, a qual tem-se dado grande importância atualmente. A norma exige durabilidade dos sistemas construtivos, a garantia de conforto dos usuários e manutenibilidade da edificação.

A impermeabilização é uma etapa imprescindível, pois é um sistema responsável por selar, colmatar ou vedar os materiais porosos e suas falhas, as quais resultam em umidade e aparecimento de patologias como aspectos desagradáveis, ambientes insalubres, oxidação de armaduras, entre outros. Em alguns casos, são implementadas somente no final da obra, podendo acarretar a problemas que possivelmente poderiam ser solucionados no decorrer da obra.

Desta forma, a pesquisa que segue tratará deste assunto conferindo a confiabilidade do aditivo impermeabilizante da Empresa A, buscando avaliar sua eficiência e, se o mesmo apresenta alteração nas características do concreto quando utilizado.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Além de aplicar o sistema adequado para cada situação, o serviço de impermeabilização demanda alguns cuidados anteriores e posteriores, bem como possuir mão de obra especializada. Entretanto, ainda é um serviço por vezes negligenciado, por falta, escolha incorreta do sistema e/ou produto a ser aplicado ou por má execução e cuidados do mesmo, principalmente na fase de obra, onde concomitantemente ocorrem outros serviços que podem vir a danificá-lo.

O dimensionamento leva em consideração o nível de solicitação da área considerada, as solicitações que irá sofrer, tráfego, dispositivos de paisagismo, base para equipamentos e etc., sendo em algumas situações a aplicação de reforços com uso de tela estruturante. Portanto, para garantir a eficiência e durabilidade de uma proteção de

impermeabilização, além do que foi citado, é necessário a elaboração de um projeto detalhado, o qual irá prever tais solicitações e indicar as áreas afetadas e sistemas adequados.

Desta forma, os problemas de infiltração causada por impermeabilização ineficiente tornam-se uma eterna dor de cabeça aos proprietários, visto que, tal problema é de detecção tardia e dependendo do grau em que se encontre o vazamento a percolação de água perdura dias e às vezes meses depois de sanado o problema.

Tal afirmação justifica, portanto, a necessidade de estudos acerca do assunto em questão, visando minimizar ao máximo sua ocorrência, e para tanto, apresenta-se neste a possibilidade de testes efetivos de estanqueidade pela aplicação de um produto encontrado no mercado nacional para que estes supracitados problemas sejam deveras minimizados, o impermeabilizante de reservatórios da Empresa A Impermeabilizantes e Aditivos.

Espera-se que o trabalho em questão torne-se uma fonte de consulta acerca do problema abordado, servindo de parâmetro para constatar a eficiência ou não do produto mencionado.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

O trabalho em questão tem por finalidade aprimorar os conhecimentos obtidos acerca da impermeabilização, bem como testar e apresentar a veracidade do aditivo produzido pela Empresa A, através de ensaios laboratoriais para determinação de absorção de água e compressão axial.

### 1.3.2 Objetivo específico

- Determinar a importância da impermeabilização, assegurando a estanqueidade das partes construtivas que a requeiram e proporcionando funcionalidade do sistema;
- Apresentar os problemas que podem ser ocasionados pela infiltração de água por percolação no concreto;
- Realizar testes laboratoriais acerca da eficiência do aditivo X – Empresa A, adicionado ao concreto apresentando um comparativo com o concreto sem adição;

## 1.4 METODOLOGIA

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos para facilitar a compreensão, que serão apresentados da seguinte maneira:

No primeiro capítulo, estão as considerações iniciais, os objetivos, a justificativa, os procedimentos metodológicos e a estrutura do trabalho.

A revisão bibliográfica integra o segundo capítulo correspondente a Fundamentação Teórica para a abordagem do tema discutido. A qual possui definição de concretos especiais (concreto autoadensável e concreto de alto desempenho); pós reativos; concreto permeável; e concreto impermeável. Aborda também, conceitos de impermeabilização e os tipos de impermeabilizantes, bem como suas patologias. E as Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas relacionadas à amostragem e ensaios de laboratório

No terceiro capítulo apresenta-se o planejamento da pesquisa, constando os métodos, técnicas e ensaios de laboratório, bem como o processo de utilização do aditivo impermeabilizante.

No quarto capítulo denota-se às considerações finais e a conclusão. Relatando também a eficiência do aditivo e se houve alteração na característica do concreto.

E no quinto capítulo, são determinadas as referências bibliográficas a qual nos auxiliaram na execução deste estudo.

# 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica que segue foi ordenada de forma a facilitar o entendimento acerca das ideias do estudo proposto, partindo dos conceitos mais genéricos aos mais específicos, de forma a embasar o leitor sobre todos os pontos envolvidos na pesquisa.

## 2.1 CONCRETO

### 2.1.1 HISTÓRICO DO CONCRETO

Arnoldo Forti Battagin (2018), chefe dos laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), ressalta que, o concreto é uma pedra artificial, que depois de endurecido, tem resistência similar às das rochas naturais e, quando no estado fresco, é composto plástico, o qual possibilita sua moldagem em formas e tamanhos variados.

A história do concreto tem suas primeiras evidências, aproximadamente, 2000 anos atrás em Roma, utilizado na construção de aquedutos e estradas. Mistura esta composta por cascalho, areia grossa, cal quente, água, pozolana, gordura, leite e até mesmo sangue animal. Outros povos também fizeram o uso do concreto, como sírius e babilônios, que usavam argila como material ligante, e os egípcios que utilizavam cal e cimento para a produção do mesmo. (JEZEK, 2018)

O concreto atualmente é uma combinação de cimento e água (aglomerantes), agregados (material granular: areia, pedregulho, seixo, rocha britada, escória de alto-forno e resíduos de construção e de demolição) e aditivos, estes sendo dos mais diversos tipos, dependendo das necessidades construtivas. (CIVILIZAÇÃO ENGENHEIRA, 2012)

Desta forma, Inês Battagin, superintendente do CB-18 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) assim o define: “O concreto é uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos e adições), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento”.

No que tange ao cimento, o mesmo é uma mistura fina de compósitos moídos, que, ao sofrer hidratação endurecem. Este é dito como cimento hidráulico, conhecido como cimento Portland.

Em 1824 Joseph Aspdin promoveu a queima, sob altas temperaturas, de calcário e argila finamente moídos e misturados, e em 1825 estabeleceu uma fábrica em Leeds,

Inglaterra, denominando seu cimento de Portland, devidas semelhanças na cor e propriedades de durabilidade e solidez das rochas da ilha britânica de Portland, usadas como material de construção na época. No entanto, o cimento de hoje não é o mesmo que fora patenteado por Aspdin, devido aos fornos precários, ele não conseguia obter o clínquer o qual é fabricado atualmente, resultado da queima de rocha calcária e argila, finamente moídas, até sua fusão inicial. (BATTAGIN, 2018)

Tabela 1 - Tipos de cimento Portland.

| Tipo de Cimento | Adições | Sigla | Norma |
|---|---|---|---|
| Cimento Portland Comum | Escória, pozolana ou fíler (até 5%) | CP I-S 32<br>CP I-S 40 | 5732 |
| Cimento Portland Composto | Escória (6-34%) | CP II-E 32<br>CP II-E 40 | 11578 |
| | Pozolana (6-14%) | CP II-Z 32 | |
| | Fíler (6-10%) | CP II-F 32<br>CP II-F 40 | |
| Cimento Portland de Alto-Forno | Escória (35-70%) | CP III 32<br>CP III 40 | 5735 |
| Cimento Portland Pozolânico | Pozolana (15-50%) | CP IV 32 | 5736 |
| Cimento Portland de Alta Resistência Inicial | Materiais carbonáticos (até 5%) | CP V-ARI | 5733 |
| Cimento Portland Resistente aos Sulfatos | Estes cimentos são designados pela sigla RS. Ex.: CP III-40 RS, CP V-ARI RS | | 5737 |

Fonte: ABCP, 2018.

O concreto de cimento Portland tem provado ser o material de construção mais adequado para estruturas, superando com larga vantagem outras alternativas viáveis, como madeira, aço ou alvenaria. (HELENE, 1992)

A respeito dos agregados, Petrucci (1998) afirma que são materiais granulares, sem forma e volume definidos, sendo eles rochas britadas, fragmentos rolados dos leitos de cursos de água e encontrados em jazidas, provenientes de alterações de rocha. Possuem papel importante na produção de argamassas e concreto, tanto economicamente como tecnicamente e influenciam beneficamente em características importantes como retração, aumento da resistência ao desgaste.

O agregado ocupa cerca de 60% a 80% do volume total do concreto, segundo Giammusso (1992), e ainda destaca:

> "A pasta de cimento, que é a parte mais cara do concreto, deve ser suficiente para envolver todas as partículas de agregados e preencher os vazios entre elas. Quanto menor o volume de vazios deixado no agregado menor será a quantidade de pasta - e, portanto, de cimento - necessária, e, consequentemente, menor o custo do concreto." (GIAMMUSSO, 1992, p. 43)

Neville (1997) afirma que o agregado utilizado na produção de concreto varia de dezenas de milímetros a partículas de seção transversal inferior a um décimo de milímetro. Sendo divido pelo menos em dois grandes grupos: os agregados miúdos que não possuem tamanho inferior a 5 mm, ou 4,8 mm e os agregados graúdos que possuem tamanho igual ou superior a 5 mm, ou 4,8 mm, tal distinção é chamada de granulometria.

Os agregados ainda podem ser classificados de acordo com a origem, são eles os agregados naturais e artificiais. (NEVILLE, 1997)

Os agregados naturais são aqueles provenientes da natureza: areias, pedregulhos ou seixos rolados. (NEVILLE, 1997)

Os denominados artificiais são os quais necessitam de aperfeiçoamento pela ação humana, como as areias e pedras resultantes da moagem de fragmentos maiores. (NEVILLE, 1997)

Pode-se também classificá-los conforme sua massa específica são os agregados leves (pedra-pomes, vermiculita, argila expandida, etc.), os normais (areia, seixos e pedras britadas) e os pesados (barita, magnetita e limonita). (NEVILLE, 1997)

Outro componente importante é a água e a relação da mesma com o cimento – fator a/c – como afirma Giammusso (1992), quanto maior for tal relação em massa menor será a porosidade da pasta, logo, maior sua resistência.

No concreto endurecido a água atua como fator de influência na resistência, retração, permeabilidade e consequentemente a carbonatação, durabilidade da pasta. (GIAMMUSSO, 1992)

A resistência da pasta aumenta conforme sua idade e o valor definido pela relação água/cimento. A mesma evolui com o tempo através da hidratação do cimento a medida que os espaços ocupados pelo gel formado da combinação do cimento com a água, são substituídos por uma pasta hidratada. (GIAMMUSSO, 1992)

Na retração, a água atua de forma indireta, tal fenômeno ocorre pela perda da mesma através dos capilares da pasta de cimento devido a evaporação, sofrendo consequente redução de volume da pasta. Quanto maior a quantidade de água e mais porosa for a pasta, maior será a retração sofrida. A retração é nociva para a resistência do concreto, visto que

provoca fissurações causando descontinuidades na estrutura da pasta, prejudicando a aderência dos agregados e à armadura, além de formar caminhos para umidade e outros agentes agressivos que podem atacar a estrutura como um todo. (GIAMMUSSO, 1992)

Quanto maior a porosidade, maior a permeabilidade da pasta, conferindo menor durabilidade a peça, assim sendo, um concreto impermeável impede o acesso de agentes agressivos ao seu interior. No entanto, a baixa permeabilidade favorece a carbonatação, que consiste na combinação do hidróxido de cal com o CO2 do ar, formando o carbonato de cálcio. Porém o carbonato torna o concreto mais compacto, inibindo a penetração de umidade e do ar. (GIAMMUSSO, 1992)

"Aditivos são produtos químicos usados em pequenos teores para melhorar propriedades do concreto fresco ou do concreto endurecido" (GIAMMUSSO, 1992, p. 51).

Segundo Giammusso (1992), pode-se dizer que o aditivo é o quarto componente do concreto e que em alguns casos faz-se necessário seu uso. Portando, a escolha de um aditivo depende sua atuação sobre o concreto. Dentre os principais citam-se os aditivos aceleradores, os retardadores, os plastificantes, os superplastificantes e os incorporadores de ar.

Ainda em casos especiais, citam-se, como objetivo deste trabalho, os aditivos impermeabilizantes, os quais, conforme Giammusso (1992), são formados por sabões de sódio que, por troca de íons, transformam-se em sabões de cálcio e vão obstruir os poros capilares da pasta.

### 2.1.2 HISTÓRICO DO CONCRETO ARMADO

Segundo Santos (1977), o primeiro exemplo que se conhece de associação de barras metálicas a pedras ou argamassa com finalidade de aumentar a resistência das construções, foram impostas entre os anos 212 e 217 pelo imperador romano Marcus Aurelius Antoninus, conhecido como Caracalla. No período do século XV, durante a recuperação da obra, descobriu-se barras de bronze dentro da argamassa de pozzolana (rocha de origem vulcânica) contendo areia, argila e silte.

Muitos anos depois, em 1849, deu-se início a empregabilidade/experiências práticas de ferragens com massas de cimento por, Joseph-Louis Lombot. O qual realizou a construção de um barco cuja estrutura era feita com treliça de vergalhões de aço, envolvida por argamassa de cimento. O protótipo original é preservado no Museu de Brignoles, França. (SANTOS, 1977)

O projeto de Joseph-Louis Lambot não obteve grande repercussão, mas foi o suficiente para chamar a atenção de um jardineiro chamado Joseph Monier, produtor de vasos de plantas ornamentais. Estes vasos eram produzidos em madeira ou cerâmica, os quais apodreciam ou quebravam com muita facilidade. Contudo, o produtor de vasos aproveitou-se da idéia de Lombot e desenvolveu grande quantidade de seus vasos e caixas de cimento armado, e na sequência criou caixas d'águas e tubos para encanamentos. (SANTOS, 1977)

Entre 1868 e 1873, Monier constituiu um reservatório de 25m³ e outro de 180 m³ para a estação de ferro de Aleçon. E mais um de 200m³ suportado por pilares em Nogent-sur-Marne. (SANTOS, 1977)

A primeira ponte de concreto armado foi construída em 1875 por Joseph Monier, possuindo 16,5 metros de vão e 4,0 metros de largura na propriedade de Marquês de Illière. Desde então, Monier começou a registrar patentes de tudo o que fazia, expandindo o seu trabalho de construção em cimento armado em outros países da Europa. (SANTOS, 1977)

Já no Brasil, a primeira obra em concreto armado foi uma ponte de 9,0 metros de vão, projetada pelo engenheiro François Hennebique e executada pelo empreiteiro Echeverria, no Rio de Janeiro, em 1908. (SANTOS, 1977)

## 2.2 DURABILIDADE DO CONCRETO

Neville (2016) afirma que, é crucial que toda estrutura de concreto mantenha sua resistência necessária e sua condição de utilização durante sua vida útil, ou seja, que desempenhe suas funções previstas. Contudo, é necessário lembrar que a durabilidade não significa uma vida infinita, sequer a resistência do concreto a qualquer ação. A durabilidade inadequada do concreto se manifesta pela deterioração, os quais ocorrem tanto por fatores externos quanto de causas internas. Estas ações podem ser físicas, mecânicas ou químicas.

Os danos mecânicos são causados por impacto, abrasão, erosão ou cavitação. As causas químicas incluem as reações álcali-sílica e álcali-carbonato. O ataque químico externo ocorre, principalmente, por meio de íons agressivos, como os cloretos, sulfatos, ou pelo gás carbônico (dióxido de carbono), bem como líquidos e gases industriais ou naturais. (NEVILLE, 2016)

“As causas físicas de deterioração incluem os efeitos da alta temperatura ou das diferenças entre os coeficientes de dilatação térmica do agregado e da pasta de cimento endurecida.” (NEVILLE, 2016, p. 502)

A deterioração do concreto raramente é decorrente de uma única causa, e é por esta razão que, exceto no que se referem às causas mecânicas, todas as influências negativas sobre a durabilidade do concreto envolvem transporte de fluídos através do concreto. (NEVILLE, 2016)

### 2.2.1 Transportes de fluídos no concreto

A água, pura ou com íons, o gás carbônico e o oxigênio são os três tipos de fluídos que influenciam na vida útil/durabilidade do concreto. Os mesmos podem se movimentar através de diversas formas, mas todo o transporte depende da estrutura da pasta de cimento hidratada. Como já citado acima, a durabilidade do concreto depende da facilidade com que os fluidos, líquidos ou gasosos, penetram e se movimentam no interior do concreto. Sendo esta a característica denominada permeabilidade do concreto. (NEVILLE, 2016)

### 2.2.2 Influência no sistema de poros

A natureza do sistema de poros no interior da pasta de cimento e também na região próxima à interface da pasta de cimento e o agregado são aspectos relevantes para a permeabilidade. "A zona de transição ocupa entre um terço e metade do volume total da pasta de cimento endurecida no concreto e tem, reconhecidamente, uma microestrutura diferente em relação ao restante da pasta" (NEVILLE, 2016, p. 504). E também, pode-se considerar o ponto de início da fissuração nas primeiras idades na interface. Diante dessas razões, pode-se esperar que a zona de transição contribua significativamente para a permeabilidade do concreto. (NEVILLE, 2016)

Os poros importantes para a permeabilidade são os poros contínuos, com diâmetro mínimo de 120 ou de 160 nanômetros. Já os poros descontínuos são irrelevantes para o escoamento do concreto, quando se procura um concreto com boa permeabilidade, e também, aqueles que possuem água adsorvida e os que contêm aberturas estreitas, mesmo que os poros em si sejam grandes. (NEVILLE, 2016)

Diante da diferença de tipos de poros, alguns contribuindo para a permeabilidade e outros não, portanto, é importante distinguir a diferença entre permeabilidade e porosidade.

> "Porosidade é a medida da proporção do volume total ocupado por poros e normalmente é expressa em porcentagem. Caso a porosidade seja elevada e os poros se intercomuniquem, eles contribuem para o transporte de fluidos através do concreto, de modo que sua permeabilidade também é elevada. Por outro lado, caso os poros

> sejam descontínuos ou, de alguma maneira, ineficazes para o transporte, o concreto tem baixa permeabilidade, mesmo que sua porosidade seja elevada..” (NEVILLE, 2016, p. 504)

### 2.2.3 Escoamento, difusão e sorção

Quando se trata da movimentação de fluidos através do concreto, podem ser diferidas em três mecanismos, permeabilidade, difusão e sorção.

“Permeabilidade se refere ao fluxo sob um diferencial de pressão. Difusão é o processo de movimentação de fluidos decorrente de um diferencial de concentração, e difusividade é a propriedade relevante do concreto”. (NEVILLE, 2016, p. 510)

Sorção é o resultado do movimento capilar nos poros do concreto abertos ao meio ambiente Induz-se, então, que a sucção capilar ocorre somente em concretos parcialmente secos. Não existindo sorção de água em concretos totalmente secos ou saturados. (NEVILLE, 2016)

## 2.3 CONCRETOS ESPECIAIS

Os concretos especiais possuem características particulares devido à evolução tecnológica, as quais melhoram as deficiências do concreto convencional ou incorporando propriedades não inerentes a este material, bem como para atender necessidades das obras em locais/condições em que o concreto convencional não pode ser aplicado. (CIVILIZAÇÃO ENGENHEIRA, 2016)

“Deve ser lembrado que os diversos concretos atualmente usados se originaram ou são melhoramentos do concreto tradicional, de modo que continua sendo essencial o conhecimento das propriedades fundamentais do concreto.” (NEVILLE, 1997, p. 5)

Neste item serão abordadas as definições gerais dos seguintes concretos especiais: concreto de alto desempenho (CAD), concreto auto adensável (CAA), concreto de pós reativos (CPR) e concreto impermeável, este último sendo o assunto principal deste trabalho.

### 2.3.1 CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

Segundo Neville (1997), o concreto de alto desempenho fora chamado anteriormente de “concreto de alta resistência”, sendo uma evolução e não contendo materiais não usados no concreto convencional, tendo como propriedade necessária a alta durabilidade, buscando-se também o módulo de elasticidade como característica fundamental. Em termos

de resistência, seu valor alterou significativamente ao longo do tempo, de 40 MPa para 60 MPa.

Este concreto é composto por agregados comuns, cimento Portland tipo I ou tipo III, fumo de sílica, em alguns casos outros materiais cimentícios como cinza volante ou escória granulada de alto forno e sempre a utilização de um aditivo superplastificante. Tal aditivo permite a redução do teor de água entre 45 l/m³ a 75 l/m³, reduzindo a relação água/cimento para menos de 0,35. O lançamento do concreto deve ser por meios convencionais e cura úmida usual. (NEVILLE, 1997)

Comparando a concretos comuns que possuem teor de água entre 170 L a 200 L por m³, sem incorporação de ar e com abatimento de 100 mm a 120 mm, o concreto de alto desempenho pode obter 180 mm a 200 mm de abatimento com teor de água entre 130 L a 140 L por m³, logo, como uma relação água/cimento entre 0,2 a 0,3. Conferindo ao mesmo alta resistência e baixa permeabilidade, devido ao baixo volume de poros, isto porque a mistura contém partículas graduadas até o menor tamanho, como o fumo de sílica que preenche os espaços vazios. Além da trabalhabilidade, a mistura deve ser devidamente dispersada a fim de obter uma arrumação mais densa das partículas, alcançado também através de elevados teores de superplastificantes combinados com cimento compatível para tal. (NEVILLE, 1997)

O uso do concreto de alto desempenho demanda de condições de altíssimo controle de qualidade dos componentes e dos procedimentos de preparação do mesmo pelas usinas de fabricação. (NEVILLE, 1997)

### 2.3.2 CONCRETO AUTO ADENSÁVEL

A origem do Concreto Autoadensável (CAA) foi partir do ano de 1986, devido necessidade da obtenção de estruturas duráveis de concreto proposto pelo Professor Okamura, com objetivo de melhorias quanto às formas complexas e/ou com alta densidade de armaduras no adensamento mecânico do concreto. Os estudos para desenvolver o concreto auto adensável, incluindo um estudo fundamental sobre a trabalhabilidade do concreto, foram realizados por Ozawa e Maekawa na Universidade de Tóquio. E o protótipo de concreto auto adensável foi completado pela primeira vez em 1988 utilizando materiais já existentes no mercado. (OUCHI, 2018)

Conforme European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC) (2002), para um concreto ser considerado auto adensável, o

mesmo precisa possuir três propriedades: fluidez, coesão necessária para que a mistura escoe intacta entre as barras de aço ou habilidade passante, e a resistência à segregação.

Figura 1 – Lançamento do concreto Auto adensável

Fonte: ABESC, 2018.

O surgimento do CAA fez-se possível através dos superplastificantes, sendo eles o princípio mais importante para concretos fluidos e resistentes a segregação. A admissão destes plastificantes permitiu a produção de composições mais fluidas no estado fresco, atingindo elevadas resistências sem exigir conteúdos excessivos de cimento, combinados com alto teor de materiais finos, sejam eles cimento Portland, adições minerais, fíler de rochas e/ou areia fina. (CAMPOS, 2013)

A Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (ABESC), afirma também que, o CAA é um concreto plástico, ou seja, apresenta grande fluidez e alta trabalhabilidade. Sua capacidade de resistência a segregação é obtida através do uso de aditivos superplastificantes e modificadores de viscosidade, combinados com alto teor de finos, como cimento Portland, fílers, etc. Este concreto quando lançado, é capaz de preencher os espaços vazios e se auto adensar sem necessidade de intervenção.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, define com a NBR 15823-1:2017 “os requisitos para classificação, controle e recebimento do concreto autoadensável no estado fresco, bem como define e estabelece limites para as classes de autoadensibilidade e prescreve

os ensaios para verificação das propriedades do concreto autoadensável (CAA).” (ABNT, 2018)

O CAA, de acordo com Tutikian, Alencar e Battagin (2018, p. 60), é descrito como uma das grandes revoluções ocorridas na tecnologia do concreto para a construção, e com sua utilização é possível obter vários ganhos diretos e indiretos, sendo eles:

> a) “Acelera a construção já que seu lançamento é muito rápido e dispensa o adensamento;
> b) Reduz a mão-de-obra no canteiro porque elimina a vibração e facilita o espalhamento e o nivelamento do concreto;
> c) Melhora o acabamento final da superfície;
> d) Pode aumentar a durabilidade por ser mais fácil de adensar e evitar, assim, que ocorram falhas de concretagem e grandes vazios resultantes da má vibração;
> e) Permite grande liberdade de formas e dimensões; o CAA preenche fôrmas curvas, esbeltas, com altas taxas de armadura e de difícil acesso;
> f) Permite concretagens em peças de seções reduzidas;
> g) Elimina o barulho de vibração, o que é muito importante em grandes centros urbanos, concretagens noturnas ou obras perto de escolas e hospitais;
> h) Torna o local de trabalho mais seguro em função da diminuição do número de trabalhadores;
> i) Permite obter um ganho ecológico porque utiliza em sua composição altos teores de resíduos industriais como cinza volante, escória alto forno ou cinza de casca de arroz;
> j) Pode reduzir o custo final do concreto e/ou da estrutura caso sejam computados economicamente todos os ganhos citados acima.” (TUTIKIAN e. col., 2019, p.60).

### 2.3.3 CONCRETO DE PÓS REATIVOS (CPR)

As pesquisas relacionadas aos pós reativos foram alavancadas por Richard e Cheyrezy. Inicialmente foi desenvolvido para ocupar algumas exigências específicas de estruturas de concreto pré-fabricado submetido a ambientes agressivos.

O CPR é baseado no princípio de formação de um produto com mínimo defeito, como microfissuras e poros capilares, obtidos pelo aumento da capacidade e resistência dos materiais constituintes do concreto. As pesquisas partiram de alguns princípios como (BINA, 1999):

a) Aumento da homogeneidade;
b) Aumento da compacidade pela otimização granulométrica da mistura e aplicação de pressão antes e depois da pega.
c) Progresso da microestrutura pelo tratamento térmico;
d) Melhoramento da ductilidade pela incorporação de fibras de aço;
e) Manter os processos de mistura e moldagem o mais próximo do padrão.

De acordo com Vanderlei e Gingo (2006), os concretos de pós reativos (CPR) possuem partículas com diâmetro máximo menor que 2mm, quando adicionadas fibras metálicas na sua composição a mistura oferece grandes resistências à compressão, à tração e à flexão. Por ser um material novo, suas propriedades mecânicas e seu comportamento estrutural estão sendo estudados.

Biz (2001), afirma que o concreto de pós reativos é composto basicamente por:

- Areia quartzo;
- Sílica ativa;
- Pó de quartzo;
- Fibras de aço de pequenas dimensões;
- Cimento;
- Superplastificante de alta eficiência.

A combinação dos materiais citados acima tende numa massa mais homogênea, combinada com aumento da compacidade otimizada pela granulometria dos materiais finos, melhoria nas propriedades mecânicas entre agregado e pasta e também na propriedade de ductilidade do concreto em função da adição de fibras de aço. (PAULON, 1991)

A dosagem do CPR visa criar uma mistura de alta densidade e mínimo de vazios, o método adotado para tal é o método de empacotamento das partículas, o qual o modelo matemático mais utilizado é o de Andreassen & Andersen, também utilizado para a obtenção de compósitos cerâmicos. (VANDERLEI et al., 2006)

As características do concreto de pós reativos coloca este material comparativamente ao aço, dando aos projetistas uma nova opção de material para ser utilizado nas futuras obras. (BINA, 1999)

### 2.3.4 CONCRETO PERMEÁVEL

O concreto permeável, também é conhecido como poroso ou drenante, possui uma estrutura com alto índice de vazios interligados que permitem e facilitam a passagem de água e ar. O preparo da massa com pouca ou nenhuma areia é o que colabora com a passagem desobstruída de partículas de água. (POLASTRE, SANTOS, 2006)

Os vazios interligados do concreto, que tornam a peça altamente permeável, acontecem devido quantidades controladas de água e cimento que formam um espesso revestimento em torno das partículas agregadas, criando os vazios. (POLASTRE, SANTOS, 2006)

Segundo Polastre e Santos (2006), este tipo de concreto vem ganhando mercado em países desenvolvidos, por causa de legislações de controle de qualidade da água proveniente do escoamento superficial. A utilização do concreto permeável permite recarregar os aquíferos subterrâneos e reduzir a velocidade e a quantidade de escoamento das águas pluviais. E também, possibilita uma utilização mais eficiente do solo, minimizando ou dispensando obras de micro drenagem local, como: pontes de retenção de água; valas e etc.

Normalmente alcança-se um índice de 15 a 25% de vazios e um fluxo de água variando entre 120lm²/min (2 mm/s) a 320/m²/min (5,4 mm/s). Quanto a resistência à compressão, podem atingir de 3,5 Mpa a 28 Mpa. Contudo, a alta porosidade do concreto reduz a resistência deste material em relação ao concreto comum. (POLASTRE, SANTOS, 2006)

Figura 2 – Passagem da água no Concreto Permeável

Fonte: Construliga, 2018.

Os benefícios da utilização de concreto permeável são abrangentes. No âmbito econômico, pode-se citar reduções de gastos com sistemas de drenagem urbana; é adaptável a diferentes regiões, fazendo uso de materiais locais para os agregados e outros componentes; áreas de retenção de águas pluviais podem ser reduzidas ou eliminadas, aproveitando a área útil do solo e etc. (POLASTRE, SANTOS, 2006)

Este tipo de concreto traz também algumas condições, como: Evita o acúmulo de água nas vias e calçadas; em pavimentos, a rugosidade do concreto permeável aumenta a tração dos veículos; Produção in loco ou industrial; podem ser produzidos com qualquer tipo de agregado; permite o acréscimo de pigmentos. (POLASTRE, SANTOS, 2006)

### 2.3.5 CONCRETO IMPERMEÁVEL

A impermeabilidade do concreto é uma característica desejável de modo geral na construção civil, principalmente quando estão sujeitos ao contato direto com a água, como tubulações, reservatórios, instalações de tratamento de água e esgoto e fundações. A permeabilidade é uma propriedade do material de permitir a passagem de fluídos através da sua estrutura. Sendo assim, o concreto impermeável tem por característica impedir esta passagem de fluídos. (TUTIKIAN et al, 2018)

Conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2018), o concreto apresenta, em sua massa, cavidades e canalículos de diferentes dimensões, que em certos casos, pode-se notar a olho nu. Esses vazios são formados, na maioria das vezes, por parte da água de amassamento que, não sendo destinada à hidratação do cimento, é, todavia, necessária para a trabalhabilidade da mistura. E também por vazios oriundos de pequenas bolhas de ar durante o processo de amassamento e, ainda, os devidos à retração da pasta. Todas estas características refletem em patologias quando o concreto impermeável não é utilizado em locais necessários.

"O concreto absorve água porque a tensão superficial nos poros capilares da pasta de cimento hidratada 'puxa para dentro' a água por sucção capilar. Os aditivos impermeabilizantes visam impedir essa penetração da água no concreto." (NEVILLE, 1997, p. 270)

O objetivo principal dos aditivos impermeabilizantes é "empurrar para fora" dos poros capilares a água, aumentando o ângulo de contato entre ela e as paredes dos poros, tornando o concreto hidrófobo. (NEVILLE, 1997)

No entanto, é difícil atingir a impermeabilidade plena, visto que tal depende da pressão aplicada pela água, afetando o desempenho do aditivo, como no caso de estruturas para contenção de água ou fundações em solos com alto nível de lençol freático, os quais sofrem grande pressão hidrostática, tornando a validade do termo "impermeabilizante" discutível. Portanto, para garantir a estabilidade de um impermeabilizante, faz-se necessário um tempo suficientemente longo de experimento a fim de atestar a eficácia. (NEVILLE,

1997)

Figura 3 – Água escorrendo pela superfície do Concreto Impermeável

Fonte: Engenheiro Criativo, 2018

Dentre outras vantagens dos aditivos impermeabilizantes está a melhoria na trabalhabilidade da pasta pela presença de cera finamente subdividida ou emulsões betuminosas e consequentemente melhora da coesão, porém podendo resultar numa pasta "pegajosa". Porém não é tão resistente ao ataque de gases agressivos devido sua natureza (NEVILLE, 1997)

Deve-se ter atenção quanto sua composição, devido a presença de cloretos que o tornam o concreto sensível em situações que induzem a corrosão por esses íons. (NEVILLE, 1997)

## 2.4 PERMEABILIDADE

Podemos determinar permeabilidade como:

> "A rigor, permeabilidade se refere ao fluxo através de um meio poroso. O movimento dos diversos fluidos através do concreto ocorre não somente pelo escoamento por meio de um sistema de poros, mas também por difusão e por sorção, de modo que o interes- se real é pela penetrabilidade do concreto. Apesar disso, o termo normalmente aceito, "permeabilidade", será utilizado para a movimentação geral de fluidos para o interior e através do concreto, exceto quando, para maior clareza, forem necessárias distinções entre os vários tipos de movimentação." (NEVILLE, 2016, p. 503)

Existem inúmeras razões que atuam no resultado do concreto, e a permeabilidade do mesmo é a principal influência para a durabilidade, ou seja, alta resistência as ações do meio ambiente. E as características para obter a conservação/durabilidade do concreto são o

fator água-cimento, e o nível de absorção de água e ar do material (permeabilidade). (TECNOSIL, 2018)

Uma das principais funções da água é hidratar o cimento, porém ela também é responsável por dar plasticidade à mistura nas primeiras horas. De acordo com a quantidade de água adicionada na mistura (relação água-cimento), do tempo de cura, das condições ambientais e da espessura do elemento de concreto, a água passa a ser perdida por evaporação, deixando assim poros vazios ou não saturada. (TECNOSIL, 2018)

Tecnosil (2018), afirma que estes poros são classificados como:

- Poros de ar: podem surgir por ar aprisionado, que surgem no processo de adensamento do concreto, e o incorporado, que são resultados devido uso de aditivos próprios para a incorporação do ar;
- Poros interlaminares: surgem pelo uso de produtos da hidratação do cimento;
- Poros de capilares: ocorrem devido espaço não ocupado pelos produtos de hidratação.

A água, considerada como agente deteriorante e veículo de transporte de substâncias agressivas, influencia diretamente na durabilidade das estruturas de concreto armado. Desta maneira, para se elevar a durabilidade e vida útil da estrutura, deve-se aumentar a compacidade (rigidez) do concreto, visto que, à medida que diminui os vazios, reduz o fluxo de água que percola pelo interior do mesmo. Reduzindo, então, os diversos processos de desgastes do concreto e da armadura.

Contudo, mesmo com todos os procedimentos dosados e executados corretamente, com o tempo, há um aumento na permeabilidade devido às fissuras geradas no concreto. A propagação dessas microfissuras são ocasionadas tanto pelo peso próprio da estrutura quanto às ações do tempo. Diante disto, as mesmas se conectam e fazem com que a estrutura perca sua capacidade hermética, ocasionando no surgimento de patologias e diversos problemas. (TECNOSIL, 2018)

### 2.4.1 Permeabilidade do Concreto à água

As moléculas de água, devido seu pequeno tamanho, possuem capacidade de penetrar em cavidades e poros extremamente finos. É necessário exaltar essa característica quando a percolação da água será um problema para a estrutura de concreto.

Como já mencionado anteriormente, dependendo da quantidade de água empregada (fator água/cimento), do tempo de cura, das condições ambientais e da espessura

de um elemento de concreto, quase toda água evaporável será perdida, deixando poros vazios ou não saturados. A interconexão entre os vazios (poros) no concreto torna-o permeável à água. Essa propriedade é uma das principais considerando concretos expostos ao ar, que sofrem os ataques de águas agressivas ou a ação, destruidora dos agentes atmosféricos. (GOMES et al., 2003)

## 2.5 IMPERMEABILIZAÇÃO

Segundo Picchi (1986), a impermeabilização é conceituada como um serviço especializado dentro da construção civil, sendo um setor que demanda profissionais com uma razoável experiência, no qual detalhes são extremamente importantes e qualquer tipo de falha, ainda que localizada, pode comprometer todo o serviço. Além disso, há a necessidade de acompanhamento da rápida evolução dos materiais e sistemas, o que propicia o surgimento de projetistas especializados.

A impermeabilização tem por objetivo fazer com que a água ou outro líquido não atravesse tal superfície, ou seja, possui o intuito de tornar uma superfície estanque, impermeável. Sendo ela fundamental para evitar infiltrações e vazamentos que podem acarretar a sérios danos à estrutura. (FIBERSALS, 2018)

De acordo com Bauer, Vasconcelos e Granato (2010):

> "As falhas de desempenho dos sistemas de impermeabilização poderão gerar ainda custos de re-impermeabilização que superam 5 a 10% do custo da obra, já que muitas vezes as re-impermeabilizações envolvem quebras dos revestimentos de acabamento, sem levar em consideração os custos mais difíceis de se mensurarem, como os de depreciação do valor patrimonial, manchas, utilização normal da área impermeabilizada, dentre outros". (BAUER et. al, 2010)

### 2.5.1 Tipos de sistemas impermeabilizantes

Os tipos de impermeabilização são definidos por duas classes: rígidos e flexíveis. Sua empregabilidade depende das condições da estrutura e do ambiente a que a superfície está submetida, como: teor de umidade; incidência de chuva; tendência à movimentação da estrutura e etc.

#### 2.5.1.1 Impermeabilização rígida

Este procedimento é um "conjunto de materiais ou produtos que não apresentam características de flexibilidade compatíveis e aplicáveis às partes construtivas não sujeitas à movimentação do elemento construtivo." (NBR 9575:2010, p. 5)

De forma geral, este sistema é recomendado para estruturas que não sofrem deformação, e que ficam em contato direto do solo. Sendo elas: piscinas; reservatórios enterrados e elementos de fundações. (IBI, 2018)

O Instituto Brasileiro de Impermeabilização (2018), indica que os cimentos modificadores com polímeros também fazem parte do grupo de impermeabilização rígida. Tendo como característica fácil aplicação, ótima aderência e resistência mecânica. Sua aplicabilidade encaixa-se situações como: subsolos; poços de elevadores; muros de arrumo; baldrames e alicerces; pisos frios em contato com o solo; reservatórios de água potável; cozinha, banheiros, lavanderias e áreas frias em geral e etc.

São recomendadas para partes mais estáveis da edificação e que não recebam a luz do sol diretamente.

Normas técnicas conforme ABNT (2018):

- NBR 16072:2012 – Argamassa impermeável;
- NBR 11905:2015 – Argamassa polimérica industrializada para impermeabilização.

Alguns tipos de impermeabilização rígida estão descritas abaixo:

a) Argamassa impermeável (aditivo hidrófugo):

Argamassa impermeável com aditivo hidrófugo é semelhante à argamassa convencional, entretanto, a diferença entre elas é o uso do aditivo hidrófugo na água de amassamento, os quais atribuem propriedades impermeabilizantes a massa (VIEIRA, 2005).

Cunha e Neumann (1979), ressaltam que o aditivo hidrófugo é aplicado em argamassas de revestimentos de locais que não sejam submissos a movimentações estruturais, que ocasionariam a formação de trincas e fissuras.

O uso deste aditivo é considerado uns dos melhores custos benefícios dentro da impermeabilização rígida, pois, a execução da mão de obra é a mesma do método convencional, e o custo do produto é relativamente baixo. No entanto, sua resistência a movimentações é menor quando comparada com outros sistemas. (FIBERSALS, 2018)

Figura 4 - Argamassa com aditivo hidrófugo

Fonte: Fibersals, 2018.

b) Cristalizantes:

Os cristalizantes são compostos químicos indicados para impermeabilizações temporárias. Utilizados, principalmente, para conter infiltrações localizadas e prover impermeabilidade a grandes estruturas em concreto. (CICHINELLI, 2012)

Este sistema de impermeabilização age quando, ao entrarem em contato com a água de infiltração, cristalizam-se para formar uma barreira impermeável resistente a pressões negativas. Há produtos cristalizantes compostos de cimento, sílica e compostos químicos ativos, que reagem com a umidade do concreto fresco, formando cristais insolúveis que obstruem os poros e capilares da estrutura de concreto. (CICHINELLI, 2012)

c) Argamassa polimérica:

"São argamassas à base de cimento Portland modificadas com polímeros, com agregados com graduação adequada – geralmente com granulometria contínua [...]". (HELENE, 1992, p. 28)

Este sistema preenche os espaços e porosidades, impedindo a infiltração da água. E quando aplicada em forma de revestimento impermeável, apresenta bastante resistência mecânica. (FIBERSALS, 2018)

Apresenta facilidade de aplicação, e bom custo benefício. E os locais indicados para a utilização deste aditivo são: reservatórios enterrados; piscinas e paredes internas. (FIBERSALS, 2018)

d) Resina Epóxi:

A utilização da resina epóxi como impermeabilizante é considera uma solução nobre dentro dos sistemas rígidos. O mesmo é uma solução indicada para proteção

anticorrosiva do concreto, metais e argamassas. E possui resistência mecânica e à ataques químicos, sendo uma solução para ambientes agressivos. (FIBERSALS, 2018)

Este sistema possui um custo maior, e uma dificuldade de aplicação. Sua utilização é indicada para reservatórios de produtos químicos sem grande movimentação, estruturas e tubos metálicos. (FIBERSALS, 2018)

Figura 5 – Aplicação de Resina Epóxi

Fonte: Fibersals, 2018.

#### 2.5.1.2 Impermeabilização flexível

IBI (2018), afirma que a impermeabilização flexível é adequada para estruturas sujeitas à movimentação, como lajes de cobertura, piscinas e reservatórios elevados.

Os materiais empregados nas impermeabilizações flexíveis são: mantas asfálticas; membranas asfálticas moldadas a quente ou a frio; membranas acrílicas; membranas de poliuretano; membranas de poliuretano com asfalto. Estes sistemas possuem maiores alongamentos e, por este motivo, são indicados a áreas com movimentações, trepidações e ao intemperismo. (SILVA, 2018)

Abaixo segue algumas normas técnicas referentes à impermeabilização:

- NBR 9952:2014 – Manta asfáltica para impermeabilização;
- NBR 13724:2008 – Membrana asfáltica para impermeabilização com estrutura aplicada a quente;
- NBR 9685:2005 – Emulsão asfáltica para impermeabilização;
- NBR 15487:2007 – Membrana de poliuretano para impermeabilização;

- NBR 15414:2006 – Membrana de poliuretano com asfalto para impermeabilização.

Alguns tipos de impermeabilização flexível estão descritas abaixo:

a) Membrana de polímero modificado com cimento:

É um impermeabilizante bi componente, sendo o componente “A” formado por cimentos especiais, aditivos e cargas minerais, e “B” por resina acrílica e aditivos. Indicado para impermeabilização de piscinas e reservatórios de água, elevados ou enterrados, áreas frias no sistema convencional e no sistema Drywal. (MAXTON BRASIL, 2018)

Para aplicação, o substrato deve estar limpo e regularizado, sem partes soltas ou desagregadas, nata de cimento, óleos, desmoldantes, etc. Mistura-se os dois componentes mecanicamente ou manualmente de forma que dissolva possíveis grumos que possam se formar a fim de obter uma mistura homogênea. A aplicação pode ser feita com trincha, vassoura de pêlo ou rolo de pintura, sendo a primeira demão sobre a base úmida e aguardando a completa secagem para aplicação da segunda demão, a qual deve ser no sentido cruzado a anterior, incorporando uma tela industrial de poliéster resinada. As demais demãos também devem ser aplicadas em sentido cruzado em relação à anterior, aguardando o intervalo de secagem entre elas, até atingir o consumo recomendado. (MAXTON BRASIL, 2018)

Este sistema não altera a potabilidade da água, sendo atóxico e inodoro, acompanha as movimentações normais da estrutura, resiste a altas pressões hidrostáticas positivas. (MAXTON BRASIL, 2018)

b) Membranas asfálticas:

As membranas asfálticas podem ser tanto aplicadas a frio quanto a quente (IBI, 2018):

- A frio: aplicadas em forma de pintura (emulsão ou solução), com o produto na temperatura ambiente. Utilizadas em áreas de pequenas lajes na horizontal ou abobadadas, banheiro, cozinha, área de serviço, terraço, sacadas, etc.
- A quente: necessita-se da utilização de equipamentos para derreter os produtos e aplicá-los. Indicadas para muro de arrimo, cozinhas, áreas de serviço, lajes externas, piscinas, etc.

Segundo Siqueira (2018), podem ser classificadas quanto ao tipo de asfalto utilizado, sendo os três mais utilizados a emulsão asfáltica, asfalto oxidado e o asfalto modificado com adição de polímero elastomérico:

- Emulsão asfáltica: é um produto composto de material betuminoso ou asfalto disperso em água através de aditivos emulsionantes aplicado a frio;
- Asfalto oxidado: É um produto composto de cimento asfáltico obtido do asfalto destilado de petróleo por processo de oxidação sendo aplicado a quente;
- Asfalto modificado com adição de polímero elastomérico: É um produto composto de cimento asfáltico de petróleo com a adição de polímeros elastoméricos em temperatura adequada aplicado tanto a quente quanto a frio.

c) Membrana polimérica

É um impermeabilizante a base de resinas acrílicas de aplicação a frio, o qual dependo das condições de tráfego não necessita de proteção mecânica. Indicado para coberturas inclinadas, lajes de concreto, varandas, terraços, telhas de fibro cimento, marquises, calhas, paredes externas sujeitas a batidas de chuva, etc. (MAXTON BRASIL, 2018)

A aplicação é semelhante a membrana de polímero modificado com cimento, o substrato deve estar limpo e regularizado, homogeneizar o produto antes da aplicação, que pode ser feita com pincel, vassoura de pêlo macio, broxa, trincha ou rolo de pintura, espalhando o produto de forma uniforme sobre a superfície, em sentido cruzado entre demãos, obedecendo os intervalos de secagem. Em áreas sujeitas à movimentação estrutural, aplicar uma tela de poliéster entre a primeira e a segunda demão. (MAXTON BRASIL, 2018)

d) Manta asfáltica

A manta asfáltica é um impermeabilizante produzido com material asfáltico modificado com adição de elastômeros, plastômeros ou polímeros para garantir maior durabilidade e elasticidade, e armado com materiais diversos, sendo os mais comuns (filme polietileno, borracha, poliéster e fibras de vidro, etc.). É comercializada em rolos, geralmente com 1m de largura e 10m de comprimento, com espessura de 3 a 5 mm. (FIBERSALS, 2018)

e) Manta de PVC

É sistema de impermeabilização composto por geomembranas flexíveis de PVC, não aderido, ou seja, boa parte da membrana fica “solta” da estrutura impermeabilizada, assim, caso a mesma sofra movimentações que a afetem, o esforço não será transmitido ao sistema. Pode ser aplicada tanto em estruturas subterrâneas quanto expostas, as soldas são feitas com ar quente através de equipamento especial, possui grande elasticidade (o alargamento à ruptura pode ser superior a 350%), apesar de sua elasticidade não é um material fácil de soltar ou rasgar, não necessita de proteção mecânica. (PGG, 2018)

## 2.6 PATOLOGIA

Helene (1992, p. 19) define que: “Patologia pode ser entendida como parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.”.

### 2.6.1 Patologia na construção civil

Decorrente dos avanços tecnológicos existe uma série de soluções e técnicas para conter a ação da água e umidade. No entanto, mesmo com o custo competitivo entre o mercado, permanece a resistência de alguns construtores em usufruir destes recursos, levando a construção a possíveis deficiências quanto à durabilidade, conforto e segurança. Devido negligência, as patologias vão desde manchas nas paredes, até danos estruturais que podem comprometer a estabilidade da construção. Tal problema acarreta em danos a todos os usuários da obra da construção civil, tanto ao cliente, quanto o construtor perdendo credibilidade devido à má qualidade da mesma. (IBI, 2018)

Diante de tal patologia, a Norma de Desempenho 15575 se preocupa com a durabilidade das edificações e a mesma define os parâmetros mínimos de qualidade e durabilidade das construções para e edifícios habitáveis de até cinco pavimentos.

> “Os problemas patológicos só se manifestam após o início da execução propriamente dita, a última etapa da fase de produção. Normalmente ocorrem com maior incidência na etapa de uso. Certos problemas, como por exemplo os resultantes de reações álcali-agregados, só aparecem com intensidade após seis a doze anos. Há casos de corrosão de armadura em lajes de forro/piso de apartamentos que se manifestaram intensamente, inclusive com colapso parcial, depois de treze anos de “Habite-se”. ” (Helene, 1992, p. 21)

Cichinelli (2012) ressalta as principais consequências da umidade nas edificações como um todo, sendo elas:

> **“**Fundações - ao ascender pelas fundações, a umidade pode corroer a armadura de pilares, comprometendo a estrutura e desagregando a alvenaria;
> Paredes internas pintadas - os efeitos são variados: bolhas, manchas e eflorescências na pintura com posterior desagregação do revestimento (emboço, reboco e acabamento). Há ocorrência constante também de mofo e bolor nas paredes, tornando os ambientes insalubres;
> Paredes azulejadas - quando a umidade ascendente é muito severa, pode ocorrer o destacamento dos azulejos. Nas paredes azulejadas, a capacidade de ascensão da umidade se potencializa, pois a área de manifestação da umidade está restrita ou confinada pelos azulejos;

> Piso cerâmico - os pisos também sofrem com o efeito da umidade, que sobe pelas lajes. Neste caso, pode haver descoloração e destacamento da cerâmica, além de eflorescência no piso;
> Piso com assoalho - este é um caso bastante crítico. A madeira se deteriora com a presença de umidade. Pode empenar e apodrecer, favorecendo o ataque e a proliferação de cupins;
> Parede de concreto aparente - a pior patologia encontrada aqui é a carbonatação do concreto. O CO2 do ar reage com o hidróxido de cálcio solúvel na água que atravessa o concreto e forma o carbonato de cálcio, que causa danos estéticos e estruturais à parede." (CICHINELLI, 2012)

### 2.6.2 Manifestações patológicas decorrentes da não impermeabilização

#### 2.6.2.1 Estruturas de concreto armado

Segundo Helene (2003), durante muito tempo o concreto armado foi considerado um material que não necessitava de cuidados ao longo de sua vida útil, porém, este conceito foi revisando diante da grande quantidade de edificações com problemas de degradação em componentes estruturais.

A corrosão da armadura é uma das principais manifestações patológicas. A ausência ou deficiência da cura do concreto acarreta em fissuras, porosidade excessiva, diminuição da resistência e etc. (STORTE, 2018)

Righi (2006) afirma que, a corrosão é um ataque eletroquímico nas barras da estrutura, em que a presença de umidade, conduz a formação de óxidos/hidróxidos de ferro. A corrosão ocorre a partir das seguintes condições:

- Existência de eletrólito (representado pela água);
- Presença de ar atmosférico;
- Diferença de potencial obtido pela tração nas barras de aço.

#### 2.6.2.2 Patologias resultantes da falta de impermeabilização

a) Carbonatação do concreto

Carbonatação do concreto é a reação entre o cimento e a água, no qual resultam em compostos hidratados. A alcalinidade na superfície exposta de estruturas de concreto, pode ser reduzida com o tempo, e tendo como consequência a despassivação da armadura da estrutura. Essa redução acontece devido gás carbônico presente na atmosfera. (RIGH, 2006)

b) Degradação do concreto

De acordo com Righi (2006), a degradação do concreto é provocada pela ação da água trazendo a dissolução de sais e lixiviamento (solubilização) dos mesmos.

c) Degradação do forro de gesso

É a decomposição do revestimento executado em placas de gesso, decorrente da ação da água, resultando na dissolução de sais e lixiviamento dos mesmos, vindo a manifestar-se na superfície como bolor, descascamento da pintura e desagregamento do revestimento entre outros. (RIGH, 2006)

d) Desagregação de tijolos maciços

A desagregação de tijolos maciços acontece devido ao ataque de sulfatos e também de uma exagerada pressão hidrostática interna. Estes processos acarretam na formação de pó de coloração avermelhada e na forma de escamas, seguida de camadas alternadamente ao interior da peça. (RIGH, 2006)

e) Eflorescência

A eflorescência é definida pela formação de depósitos de sais cristalizados originados pela migração de água, rica em sais, do interior dos componentes de alvenaria e/ou concreto. Podem ser identificados por geralmente possuírem uma colocação esbranquiçada. (RIGH, 2006)

Figura 6 – Eflorescência em estrutura de concreto

Fonte: Cimento Itambé, 2018.

f) Mancha de umidade

Conforme Righi (2006), a mancha de umidade é uma parte circunscrita da superfície que se apresenta impregnada de água, apresentando cor diferente do restante da mesma.

Figura 7 - Mancha de umidade devida presença de água

Fonte: Civilização Engenheira, 2015.

g) Vegetação

O aparecimento/crescimento de plantas em determinados pontos da estrutura, geralmente em locais com fissuras e presença de umidade. (RIGH, 2006)

h) Vesícula

Segundo Righi (2006), vesículas são as formações de bolhas na pintura, que apresentam em seu interior, podendo ser nas cores branca, preta e vermelha acastanhado.

Figura 8 - Bolhas na pintura

Fonte: Civilização Engenheira, 2015.

## 2.7 NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS

O órgão responsável pela normalização técnica no Brasil é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), provendo todo o embasamento que o país necessita para o seu pleno desenvolvimento tecnológico. (ABNT, 2018)

A ABNT é uma entidade privada, sem fins lucrativos, reconhecida pela sociedade brasileira como o Foro Nacional de Normalização desde a sua fundação, em 28 de setembro de 1940. A mesma é membro fundador da ISO (International Organization for Standardization), da COPANT (Comissão Panamericana de Normas Técnicas) e da AMN (Associação Mercosul de Normalização). E desde sua fundação, também é mebro da IEC (Comissão Eletrotécnica Internacional). (ABNT, 2018)

Sua missão é:

> "Prover a sociedade brasileira de conhecimento sistematizado, por meio de documentos normativos, que permita a produção, a comercialização e uso de bens e serviços de forma competitiva e sustentável nos mercados interno e externo, contribuindo para o desenvolvimento científico e tecnológico, proteção do meio ambiente e defesa do consumidor". (ABNT, 2018)

Suas principais premissas são determinadas em tópicos, conforme a seguir:

> - "Ser o Foro Nacional de Normalização, previsto no Sistema Brasileiro de Normalização (SBN), no âmbito do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO);
> - Ter compromisso com as diretrizes estratégicas do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO);
> - Ser o representante do Brasil nos foros sub-regionais, regionais e internacionais de normalização;
> - Reconhecer como organismos internacionais de normalização a *International Organization for Standardization* (ISO), *International Eletrotechnical Commission* (IEC) e *International Telecommunications Union* (ITU) e como organizações internacionais com atividades de normalização o CODEX ALIMENTARIUS, *Bureau Internationale de Poids* e *Mesures* (BIPM), Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML), *International Accreditation Forum* (IAF) e *International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC).
> - Ser signatário do Código de Boas Práticas de Normalização da Organização Mundial do Comércio (OMC);
> - Ser entidade não-governamental, sem fins lucrativos e de utilidade pública, como agente privado de políticas públicas." (ABNT, 2018)

Conforme a ABNT (2018), para um melhor entendimento da função desta associação deve-se conhecer, também, o significado da normalização. A normalização é uma atividade que, em relação a problemas existentes ou potenciais, estabelece prescrições destinadas à utilização comum e repetitiva, visando obter um grau ótimo de ordem, em certo contexto.

O objetivo da normalização descrita pela ABNT (2018) é o estabelecimento de soluções das partes interessantes, tornando-se uma ferramenta na autodisciplina dos agentes ativos do mercado. Contudo, qualquer norma é considerada uma referência idônea do

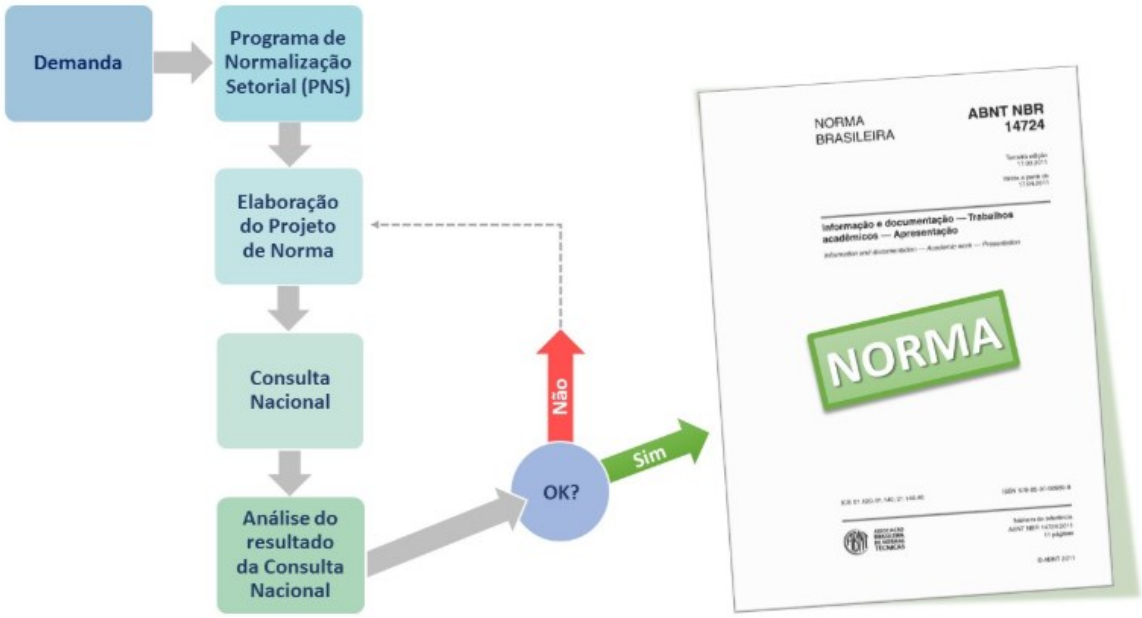
mercado a que se destina, sendo por este motivo utilizada em processos de regulamentação, acreditação, certificação, informação técnica, e nas relações comerciais Cliente-Fornecedor. Os objetivos da normalização estão descritos conforme Figura abaixo.

Figura 9 - Objetivos da normalização

Fonte: ABNT ISO/IEC Guia 2:2016, 2018.

Para que os objetivos da normalização sejam completamente acatados e que as normas técnicas sejam eficientes e reconhecidas por todos, a ABNT (2018) explica que o procedimento de composição das normas é discutido amplamente pelas Comissões de Estudo, com participação aberta a qualquer interessado, independente de ser ou não associado à ABNT, até atingir um consenso e gerar um Projeto de Norma. Após o Projeto ser editorado, o mesmo é submetido à Consulta Nacional, com ampla divulgação, disponibilizando a todas as partes interessadas para examiná-lo e emitir as considerações. Esta consulta é realizada pela internet, disponível no site da ABNT. Por fim, as sugestões aceitas são consolidadas no Projeto de Norma, que é homologado e publicado como documento técnico ABNT.

Figura 10 – Fluxograma dos Procedimentos de normalização




Fonte: ABNT, 2018.

Ainda segundo site oficial, a ABNT (2018) cita os benefícios da normalização:

- Organização do mercado;
- Constituição de uma linguagem única entre produtor e consumidor;
- Melhoramento da qualidade de produtos e serviços;
- Orientação das concorrências públicas;
- Aumento da produtividade, com consequente redução dos custos de produtos e serviços, e contribuição para o aumento da economia do país e o desenvolvimento da tecnologia nacional. (ABNT, 2018)

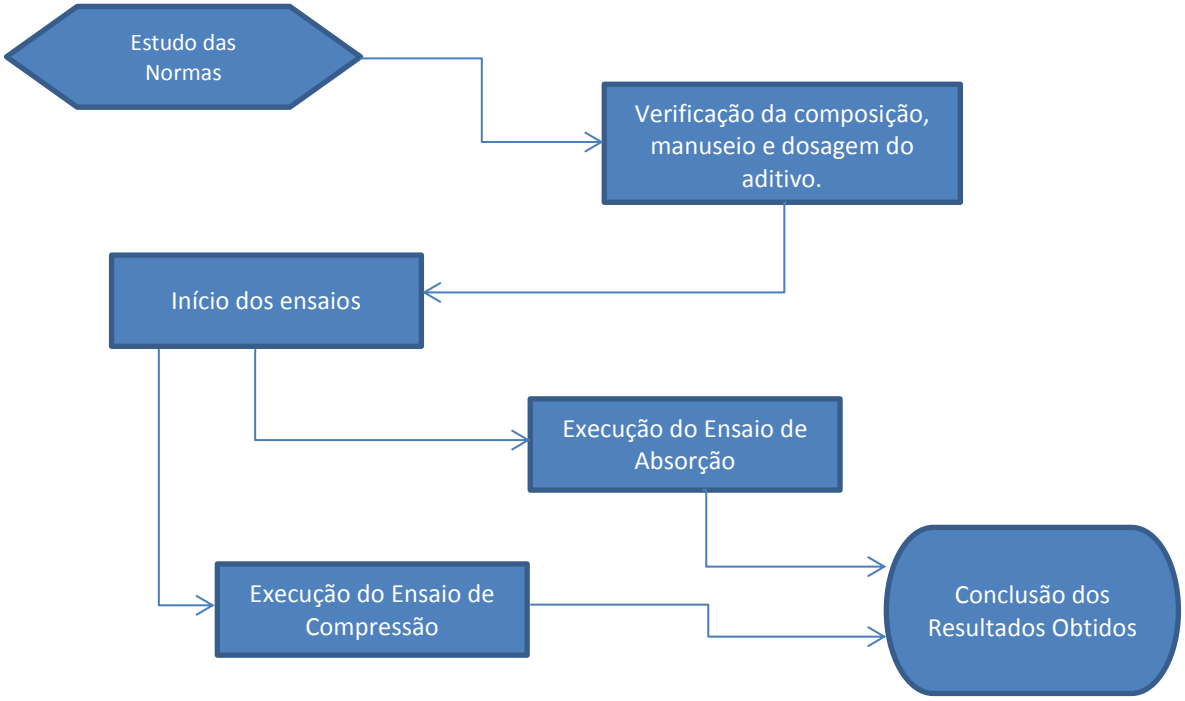
Assim sendo, estabelece-se o conceito das Normas Brasileiras (NBR's), que é: um documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que fornece, para uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para atividades ou seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto (ABNT, 2018).

# 3 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE NO CONCRETO

Os estudos e ensaios de laboratório foram elaborados e executados, pelas autoras, com a pretensão de especificar a influência do aditivo redutor de permeabilidade X aplicado em concreto. Os procedimentos foram seguidos conforme fluxograma.

Este estudo propõe verificar a qualidade do produto supracitado, quando associado ao concreto, quanto à absorção de água, realizando ensaios conforme NBR 9778:2005, e também, à interferência na resistência do concreto, realizando o ensaio de compressão axial de acordo com a NBR 5739:2018.

Através de materiais técnicos, buscou-se mostrar as particularidades e analisar o desempenho do aditivo.




Fonte: Autoras, 2018

## 3.1 ADITIVO X

O aditivo utilizado no ensaio é fabricado pela Empresa A, localizada na cidade de Palhoça-SC, a qual desenvolve aditivos e impermeabilizantes para a construção civil. O

produto é um impermeabilizante em pó encapsulado utilizado na impermeabilização de argamassas e concretos, conhecido como X.

O aditivo X refere-se aos impermeabilizantes nanotecnológicos, ou seja, possuem nano partículas que se agregam em ligação molecular com os átomos do material de base criando uma substância hidrofugante (repele a água). O nome Nanotec, é relacionado à forma como o aditivo foi desenvolvido, sendo através de tecnologias que envolvem a manipulação da matéria em uma escala atômica ou molecular atuando nas menores partes da substância para garantir que o mesmo trabalhe com total eficiência de repelir a água.

O aditivo em análise é uma mistura de polímeros à base de álcool polivinílico e silano, que atuam reagindo com o cimento durante o processo de hidratação liberando o princípio ativo que bloqueia a rede capilar, proporcionando uma elevada impermeabilidade ao concreto e argamassa.

Suas propriedades são:

a) Não altera os tempos de pega da argamassa ou concreto;
b) Produto de fácil mistura e dosagem;
c) Alta durabilidade;
d) Efeito de repelência permanente;
e) Concreto e argamassa impermeável em todo seu volume;
f) Isento de cloretos, permite a utilização em concretos armados e protendidos;
g) Resistente à umidade positiva e negativa.

Campos aplicáveis:

a) Reboco interno e externo;
b) Argamassa de assentamento de blocos e tijolos (umidade ascendente);
c) Subsolos, fundações e pisos;
d) Concreto impermeável;
e) Muro de arrimo;
f) Piscinas, reservatórios e caixas d'água;
g) Túneis e galerias, etc.

A dosagem para argamassas de assentamento e revestimento deve ser adotada conforme o traço de cimento areia segundo orientações da tabela abaixo.

Tabela 2 - Dosagem de aditivo para argamassa

| Traço cimento/areia | 1/3 | 1/5 | 1/7 |
|---|---|---|---|
| % VEDA-FÁCIL *Nanotec* sobre cimento | 0,4% - 1,0% | 0,5% - 1,5% | 1,0% - 2,0 % |
| Para 25 kg cimento | 100g – 250g | 125g – 375g | 250g – 500g |
| Para 50 kg cimento | 200g – 500g | 250g – 750g | 500g – 1,0kg |

**Obs. Deve se evitado a utilização de argamassa com cal e argamassa estabilizada.**

Fonte: MAXTON Brasil, 2018.

Para o emprego de concreto impermeável, a dosagem deve ser entre 0,5%-2,0% de aditivo sobre o cimento. A adição do mesmo é necessária após a mistura de cimento, agregado, areia e água.

A ficha técnic a afirma que a dosagem deste aditivo em concreto impermeável sempre se deve levar em consideração o grau de umidade que a estrutura deve suportar, em estruturas com pressão positiva e negativa recomenda-se dosagem superior a 1,5% de aditivo X.

## 3.2 PRODUÇÃO DO CONCRETO

A produção de concreto foi realizada no dia 01 de outubro de 2018, no laboratório da Empresa B PRÉ-FRABRICADOS LTDA, localizada no município de São José – SC.

Utilizou-se o traço de concreto disponibilizado pela empresa, o qual é projetado para obter uma resistência característica à compressão (Fck) de 40 Megapascais (MPa). As quantidades e os materiais utilizados no traço estão demonstrados na Tabela 3.

Foram produzidos dois tipos de concreto, um concreto sem aditivo impermeabilizante e outro, impermeável com a adição do produto X.

Para o concreto impermeável foi adicionado a porcentagem máxima recomendada pelo fabricante, correspondente a 2% da massa de cimento utilizada no traço (0,216g), Tabela 2.

Tabela 3 – Traço do concreto PROTENSUL

| **Material** | **Massa (kg)** |
|---|---|
| Cimento (CP V ARI) | 10,8229 |
| Areia Natural | 4,3795 |

| | |
|---|---|
| Areia Artificial | 17,7446 |
| Brita 0 | 11,3515 |
| Brita 1 | 11,3515 |
| Aditivo Redutor de água | 0,0723 |
| Água | 4,6292 |

Fonte: Autoras, 2018.

Tabela 4 – Traço do concreto Impermeável

| **Material** | **Massa (kg)** |
|---|---|
| Cimento (CP V ARI) | 10,8229 |
| Areia Natural | 4,3795 |
| Areia Artificial | 17,7446 |
| Brita 0 | 11,3515 |
| Brita 1 | 11,3515 |
| Aditivo Redutor de água | 0,0723 |
| Água | 4,6292 |
| VEDA-FÁCIL Nanotec | 0,216 |

Fonte: Autoras, 2018.

Figura 11- Dosagem do aditivo impermeabilizante conforme o traço

Fonte: Autoras, 2018.

Os agregados (graúdos e miúdos) possuem uma granulometria variável, podendo ser encontrados desde fragmentos de rocha até partículas com dimensões extremamente reduzidas. Portanto, efetuou-se a caracterização dos agregados utilizados no traço de concreto, efetuando o ensaio de granulometria conforme ABNT NBR NM 248:2003.

### 3.2.1 Procedimento do Ensaio de Granulometria

A análise granulométrica nos propõe conhecer o tamanho das partículas que a constituem e sua distribuição em determinados intervalos. E para a realização do ensaio, utilizou-se as dependências do laboratório da Empresa B PRÉ-FRABRICADOS LTDA.

Os equipamentos utilizados para a execução do ensaio foram:

a) Balança;
b) Peneiras;
c) Agitador mecânico;
d) Bandejas;
e) Escova;
f) Fundo avulso de peneira;
g) Quarteador;
h) Sacos plásticos.

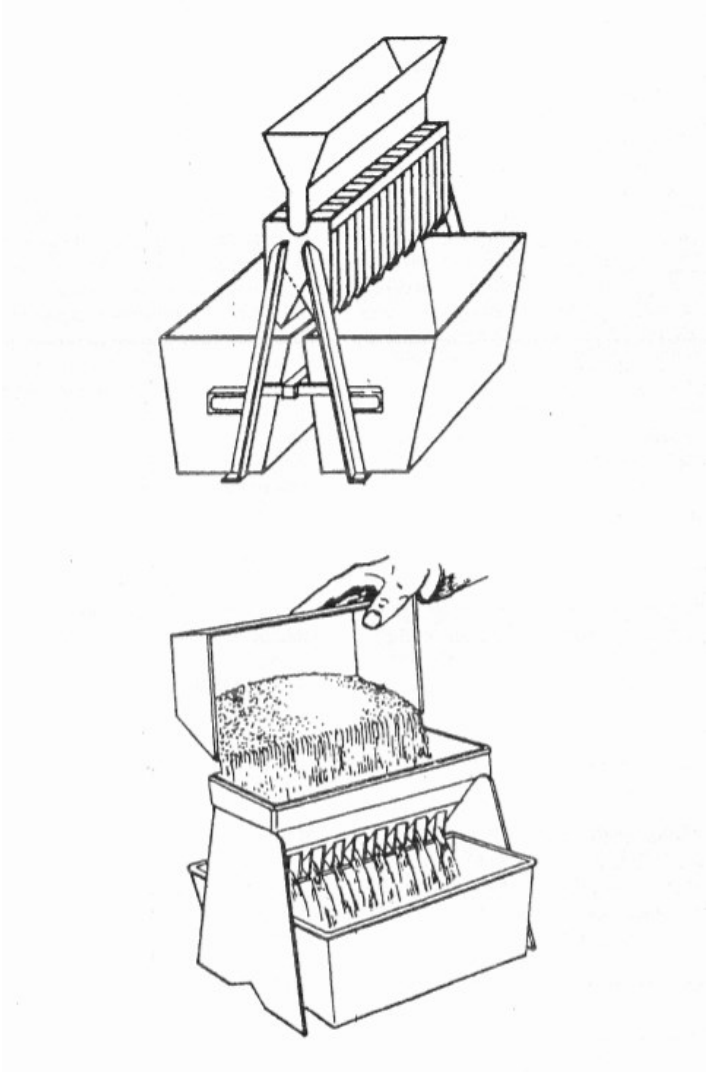
Deu-se início ao ensaio com a escolha da amostra de cada agregado com o auxílio da NBR NM 26:2001, a qual estabelece os procedimentos para a amostragem de agregados destinados a ensaios de laboratório.

As amostras de cada tipo de agregado foram umedecidas e posteriormente levadas ao sol até que ficassem completamente secas, a fim evitar a segregação da amostra, conforme NBR 27:2001. O objetivo da secagem é, também, para facilitar o transporte e armazenamento, pois com as amostras húmidas podem gerar a deterioração e corrosão dos recipientes, com consequente perda de material e provável contaminação. No entanto, as amostras secas ao ar, ainda possuem pequena percentagem de humidade, porém, não são muito elevadas.

Na seleção das amostragens, já secas, as mesmas foram reduzidas às frações com o intuito de deixá-las mais representativas, conforme a NBR NM 27:2001, utilizando o Método A – Separador mecânico, conforme Figura 13.

As amostras de solo colhidas tiveram peso variável entre 2 e 3 kg, e a partir das mesmas, retirada uma pequena porção para realizar a caracterização da amostra laboratorial.

Figura 12 - Separador mecânico



Fonte: ABNT NBR NM 27:2001, 2018.

A homogeneização das amostras foram realizadas com o separador mecânico do laboratório da Empresa B (Figura 14), o qual possuía 16 calhas com as mesmas dimensões nas aberturas. Sendo estabelecido pela NBR NM 27:2001 o mínimo de oito calhas para agregado graúdo, e doze calhas de para agregado miúdo.

Figura 13 - Quarteador Empresa B

Fonte: Autoras, 2018.

No separador, colocou-se a amostra distribuindo-a uniformemente e em velocidade constante para que o agregado pudesse passar livremente pelas calhas. Repete-se este procedimento por três vezes, e quando finalizado, selecionou-se uma das bandejas receptoras para a realização do ensaio subsequente de peneiramento, conforme Figura 15.

Figura 14 - Utilização do quarteador Empresa B

Fonte:Autoras, 2018.

O procedimento de quarteamento foi realizado para os seguintes agregados:

- Agregado Graúdo:
  - Brita 0;
  - Brita 1.
- Agregado Miúdo:
  - Areia Artificial;
  - Areia Fina.

Para o peneiramento utilizou-se a série normal de peneiras sucessivas que atendem a NBR NM 248:2003, com as aberturas de malhas estabelecidas na Tabela abaixo.

Tabela 5 – Sequência de abertura das malhas das peneiras

| Serie Normal / *Série Normal* | Serie Intermedia / *Série Intermediária* |
|---|---|
| 75 mm | - |
| - | 63 mm |
| - | 50 mm |
| 37,5 mm | - |
| -- | 31,5 mm |
| -- | 25 mm |
| 19 mm | - |
| - | 12,5 mm |
| 9,5 mm | - |
| - | 6,3 mm |
| 4,75 mm | - |
| 2,36 mm | - |
| 1,18 mm | - |
| 600 µm | - |
| 300 µm | - |
| 150 µm | - |

Fonte: ABNT NBR NM 248:2003, 2018.

Figura 15 - Peneiras granulométricas

Fonte: Blog Splador, 2018.

Após a escolha das amostragens dos agregados nos procedimentos anteriores, separou-se um quilograma de cada material com o auxílio de uma balança para o início do peneiramento, sendo a massa mínima por amostra de ensaio indicada na tabela abaixo.

Tabela 6 – Massa mínima por amostra de ensaio

| Dimensión máxima nominal del agregado / *Dimensão máxima nominal do agregado* mm | Masa mínima de la muestra de ensayo / *Massa mínima da amostra de ensaio* kg |
|---|---|
| < 4,75 | 0,3* |
| 9,5 | 1 |
| 12,5 | 2 |
| 19,0 | 5 |
| 25,0 | 10 |
| 37,5 | 15 |
| 50 | 20 |
| 63 | 35 |
| 75 | 60 |
| 90 | 100 |
| 100 | 150 |
| 125 | 300 |

(*) Después del secado. / *Após secagem.*

Fonte: ABNT NBR NM 248:2003, 2018.

Utilizou-se 1 kg de cada tipo de agregado, ajustando as peneiras em ordem crescente da base para o topo, junto com o fundo avulso ilustradas nas Figuras 17 e 18.

Figura 16 - Peneiras utilizadas para agregado graúdo (brita 1)

Fonte: Autoras, 2018.

Figura 17 - Peneiras utilizadas para agregado miúdo (areia média)

Fonte: Autoras, 2018.

Com as peneiras devidamente limpas, colocou-se a amostra sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar uma camada espessa sobre qualquer uma das peneiras,

pois o acúmulo de material sobre a mesma pode impedir o acesso de todos os grãos à tela.

Na sequência, promoveu-se a agitação mecânica do conjunto de peneiras, conforme Figura 19, com tempo total de 4 minutos.

Figura 18 - Agitação mecânica do conjunto de peneiras

Fonte: Autoras, 2018.

Após a agitação das peneiras, removeu-se o material retido em cada uma delas com o auxílio de uma escova e pesou-se o mesmo. O material removido pelo lado interno é considerado como retido. Seguindo com este processo em todas as peneiras consecutivas e, repetindo-o para os quatro tipos de agregados, adquirindo as quantidades, em gramas, retida de cada peneira ilustrada nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Controle de agregados graúdos

| **Controle Tecnológico de Agregados** | | **Controle Tecnológico de Agregados** | |
|---|---|---|---|
| **Material:** | Brita 1 | **Material:** | Brita 0 |
| **Fornecedor:** | Sul Catarinense | **Fornecedor:** | Sul Catarinense |
| **Data do Ensaio:** | 01/10/2018 | **Data do Ensaio:** | 01/10/2018 |
| **Peneiras (mm)** | **Peso Retido (g)** | **Peneiras (mm)** | **Peso Retido (g)** |
| 19,00 | 25 | 19,00 | - |
| 12,50 | 615 | 12,50 | - |
| 9,50 | 325 | 9,50 | 90 |
| 6,30 | 30 | 6,30 | 390 |
| 4,75 | - | 4,75 | 275 |
| 2,36 | - | 2,36 | 225 |
| 1,18 | - | 1,18 | 10 |
| 0,60 | - | 0,60 | - |
| 0,30 | - | 0,30 | - |
| 0,15 | - | 0,15 | - |
| 0,075 | - | 0,075 | - |
| **Fundo** | 5 | **Fundo** | 10 |
| **Total (g):** | 1000 | **Total (g):** | 1000 |

Fonte: Autoras, 2018.

Tabela 8 - Controle de agregado miúdo

| **Controle Tecnológico de Agregados** | | **Controle Tecnológico de Agregados** | |
|---|---|---|---|
| **Material:** | Areia Média | **Material:** | Areia Artificial |
| **Fornecedor:** | Santa Ana | **Fornecedor:** | Sul Catarinense |
| **Data do Ensaio:** | 01/10/2018 | **Data do Ensaio:** | 01/10/2018 |
| **Peneiras (mm)** | **Peso Retido (g)** | **Peneiras (mm)** | **Peso Retido (g)** |
| 19,00 | - | 19,00 | - |
| 12,50 | - | 12,50 | - |
| 9,50 | - | 9,50 | - |
| 6,30 | - | 6,30 | - |
| 4,75 | - | 4,75 | - |
| 2,36 | 70 | 2,36 | 95 |
| 1,18 | 275 | 1,18 | 240 |
| 0,60 | 285 | 0,60 | 175 |
| 0,30 | 175 | 0,30 | 135 |
| 0,15 | 140 | 0,15 | 130 |
| 0,075 | 45 | 0,075 | 120 |
| **Fundo** | 10 | **Fundo** | 105 |
| **Total (g):** | 1000 | **Total (g):** | 1000 |

Fonte: Autoras, 2018.

Para cada uma das amostras de ensaio, calculou-se a porcentagem média retida em

cada peneira; a porcentagem média acumulada em cada peneira; a dimensão máxima característica e o módulo de finura.

A distribuição granulométrica deve atender os limites indicados para o agregado graúdo constantes conforme determina a NBR 7211:2005. E também para agregados miúdos, define que os limites determinados na Tabela 9 devem ser atendidos.

Tabela 9 - Limites da composição granulométrica para agregado graúdo

| Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1) | Porcentagem, em massa, retida acumulada | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Zona granulométrica *d/D*[1)] | | | | |
| | 4,75/12,5 | 9,5/25 | 19/31,5 | 25/50 | 37,5/75 |
| 75 mm | - | - | - | - | 0 – 5 |
| 63 mm | - | - | - | - | 5 – 30 |
| 50 mm | - | - | - | 0 – 5 | 75 – 100 |
| 37,5 mm | - | - | - | 5 – 30 | 90 – 100 |
| 31,5 mm | - | - | 0 – 5 | 75 – 100 | 95 – 100 |
| 25 mm | - | 0 – 5 | 5 – 25[2)] | 87 – 100 | - |
| 19 mm | - | 2 - 15[2)] | 65[2)] - 95 | 95 – 100 | - |
| 12,5 mm | 0 – 5 | 40[2)]- 65[2)] | 92 – 100 | - | - |

Fonte: ABNT NBR 7211:2005, 2018

Tabela 10 - Limites da composição granulométrica para agregado miúdo

| Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1) | Porcentagem, em massa, retida acumulada | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Limites inferiores | | Limites superiores | |
| | Zona utilizável | Zona ótima | Zona ótima | Zona utilizável |
| 9,5 mm | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6,3 mm | 0 | 0 | 0 | 7 |
| 4,75 mm | 0 | 0 | 5 | 10 |
| 2,36 mm | 0 | 10 | 20 | 25 |
| 1,18 mm | 5 | 20 | 30 | 50 |
| 600 µm | 15 | 35 | 55 | 70 |
| 300 µm | 50 | 65 | 85 | 95 |
| 150 µm | 85 | 90 | 95 | 100 |

NOTAS

1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: ABNT NBR 7211:2005, 2018

Os resultados obtidos do ensaio de peneiramento dos agregados miúdos e graúdos apresentaram granulometria dentro dos respectivos limites. Os Anexos A, B, C, e D, apresentam as fichas dos ensaios para cada tipo de agregado.

## 3.3 PROCEDIMENTO DO ENSAIO DE MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA

As moldagens de corpos de prova foram realizadas no dia 01 de outubro de 2018 no laboratório da PROTENSUL, com a finalidade de executar o ensaio de absorção de água e compressão axial nos concretos produzidos.

Foram moldados doze corpos de prova com o concreto sem aditivo impermeabilizante (Tabela 3) e mais doze com o concreto impermeável (Tabela 4), a fim de se executar todos os ensaios necessários para o estudo, de acordo com tabela 11.

Tabela 11 - Quantidade de amostras por ensaio

| Ensaio | CP's Moldados (com aditivo) | CP's Moldados (sem aditivo) |
|---|---|---|
| Compressão Axial | 6 un | 6 un |
| Absorção de Água | 3 un | 3 un |
| Testemunho | 3 un | 3 un |

Fonte: Autoras, 2018.

Para o procedimento de moldagem e cura dos corpos de prova, utilizou-se a NBR 5738:2015, a qual prescreve os procedimentos. As amostras foram preparadas em moldes cilíndricos de aço com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, respeitando as indicações da norma.

Na execução da moldagem dos corpos de prova, primeiramente foi elaborado o teste de abatimento do concreto, também conhecido como *Slump test*, para determinar a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento, conforme determina a NBR NM 67:1998, demonstrado na Figura 20.

Aparelhagem utilizada para o abatimento de tronco de cone:

a) Molde metálico;
b) Complemento do molde (tronco-cônico);
c) Haste de compactação de seção circular em aço (16 mm de diâmetro e 600 mm de comprimento);
d) Placa metálica de apoio do molde;
e) Colher de pedreiro;

f) Trena de 5m.

Figura 19 - Teste de abatimento do tronco de cone

Fonte: Autoras, 2018.

Na produção de concreto, foram elaboradas duas betoneiras com concreto normal (sem aditivo), e mais duas com o aditivo impermeabilizante. No ensaio do *Slump test*, encontrou-se os valores mencionados na Tabela 12, o qual determina a classe de consistência das amostras em S220, como indica a Tabela 13, utilizando o método de adensamento manual.

Tabela 12 - Teste de abatimento de tronco de cone (*Slump test*)

| **Mistura** | **Tipo do Concreto** | **Slump (cm)** |
|---|---|---|
| 1 | Impermeável | 23 |
| 2 | Permeável | 23 |
| 3 | Impermeável | 25 |
| 4 | Permeável | 23 |

Fonte: Autoras, 2018.

Tabela 13 - Determinação da classe de consistência

| Classe | Abatimento Mm | Método de adensamento |
|---|---|---|
| S10 | 10 ≤ A < 50 | Mecânico |
| S50 | 50 ≤ A < 100 | Mecânico ou manual |
| S100 | 100 ≤ A < 160 | |
| S160 | 160 ≤ A < 220 | Manual |
| S220 | A ≥ 220 | |

Fonte: ABNT NBR 5738:2015, 2018.

Definida a classe e o método de adensamento, foi determinado o número de camadas e golpes para o adensamento nos moldes conforme indica a Tabela 14, baseado no tipo e diâmetro do molde e tipo de adensamento, definidos pela NBR 5738:2015.

Tabela 14 - Determinação do número de camadas para moldagem dos corpos de prova

| Tipo de corpo de prova | Dimensão básica (*d*) mm | Número de camadas em função do tipo de adensamento | | Número de golpes para adensamento manual |
|---|---|---|---|---|
| | | Mecânico | Manual | |
| Cilíndrico | 100 | 1 | 2 | 12 |
| | 150 | 2 | 3 | 25 |
| | 200 | 2 | 4 | 50 |
| | 250 | 3 | 5 | 75 |
| | 300 | 3 | 6 | 100 |
| | 450 | 5 | – | – |
| Prismático | 100 | 1 | 1 | 75 |
| | 150 | 1 | 2 | 75 |
| | 250 | 2 | 3 | 200 |
| | 450 [b] | 3 | – | – |

[b] Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

[c] No caso de dimensão básica de 450 mm, somente é permitido adensamento mecânico.

Fonte: ABNT NBR 5738:2015, 2018.

Sendo assim, respeitando as indicações da norma, realizou-se a moldagem das amostras com duas camadas de doze golpes para adensamento, de acordo com a Figura 21. E na sequência, o rasamento dos corpos de prova com uma colher de pedreiro.

Figura 20 - Moldagem dos corpos de prova

Fonte: Autoras, 2018

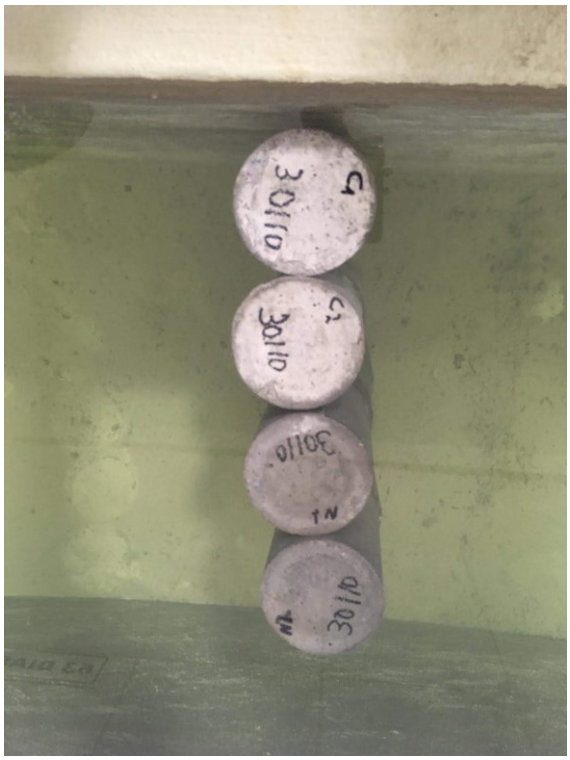
Figura 21 - Corpos de prova moldados

Fonte: Autoras, 2018.

Os corpos de prova permaneceram armazenados no laboratório da Empresa B em local protegido de intempéries durante 24h (|Figura 22) e, posteriormente depositadas em um tanque para a cura do concreto mantendo as peças imersas. A cura do concreto é um

procedimento que visa retardar a evaporação da água empregada na preparação da mistura, permitindo assim a completa hidratação do cimento.

Figura 22 - Processo de cura das amostras




Fonte: Autoras, 2018.

## 3.4 PROCEDIMENTO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO

O ensaio de compressão tem por objetivo aferir as propriedades mecânicas do material em estudo, ou seja, o corpo de prova é submetido a uma força axial distribuída uniformemente em toda a seção transversal a fim de se determinar a força necessária para o rompimento do mesmo.

Para a realização do ensaio de compreensão utilizou-se as dependências do laboratório da empresa Empresa B, a qual dispõe uma prensa.

Dando início ao ensaio, os corpos de provas foram devidamente secos e limpos, para na sequência serem posicionados no centro do prato da pensa hidráulica em que foi ensaiado. A calibragem e a velocidade da prensa estavam conforme determina a norma, o carregamento foi aplicado continuamente e sem choques.

Antes de romper as amostras, as mesmas foram pesadas e medidas para se calcular a resistência a compressão em Mpa, conforme as tabelas 15 e 16.

Tabela 15 - Dados do corpo de prova com aditivo impermeabilizante

| CP | Diâmetro (cm) | Altura (cm) | Peso (kg) | Volume (cm³) | Densidade (kg/m³) |
|---|---|---|---|---|---|
| **CP 1** | 9,99 | 19,99 | 3,72 | 1566,078 | 2375,360 |
| **CP 2** | 10 | 19,99 | 3,71 | 1569,215 | 2364,239 |
| **CP 3** | 10 | 20 | 3,755 | 1570,000 | 2391,720 |

Fonte: Das autoras, 2018

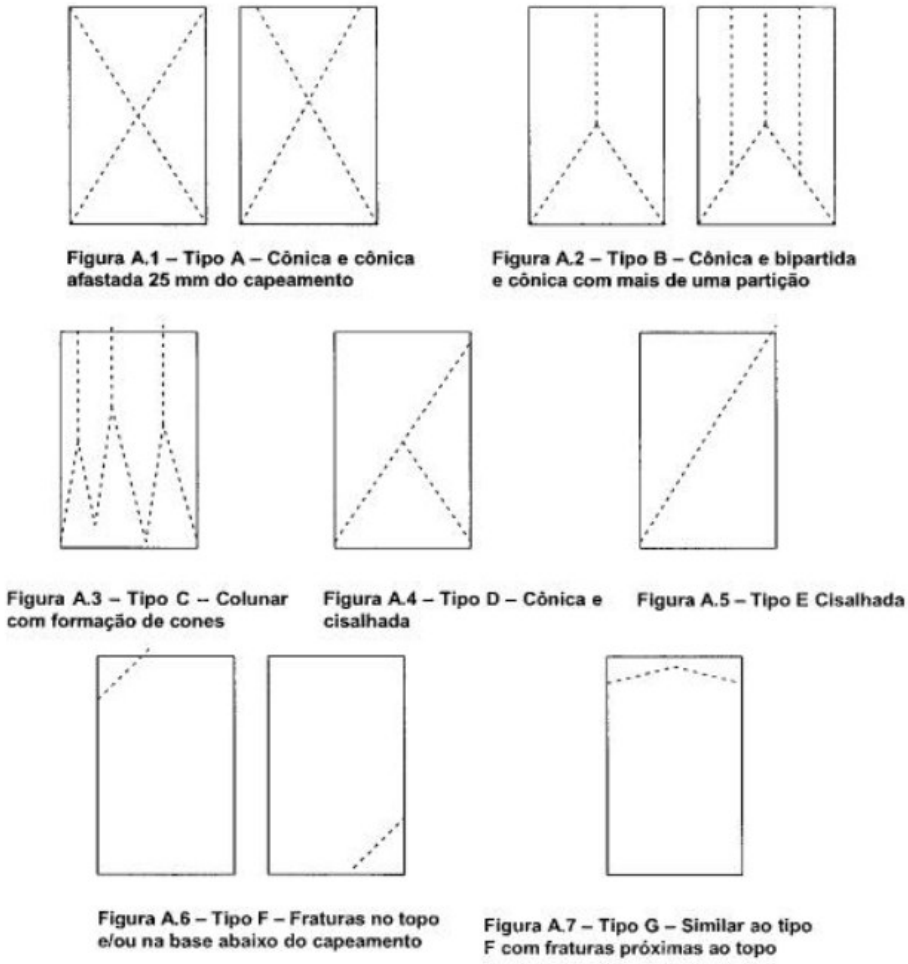
Tabela 16 - Dados do corpo de prova sem aditivo impermeabilizante

| CP | Diâmetro (cm) | Altura (cm) | Peso (kg) | Volume (cm³) | Densidade (kg/m³) |
|---|---|---|---|---|---|
| **CP 1** | 10 | 19,99 | 3,760 | 1569,215 | 2396,103 |
| **CP 2** | 10 | 20 | 3,735 | 1570,000 | 2378,981 |
| **CP 3** | 9,98 | 20 | 3,720 | 1563,726 | 2378,933 |

Fonte: Das autoras, 2018

Aplicado o carregamento nos corpos de prova, até que houvesse uma queda de força indicando a ruptura do concreto, realizou-se a classificação do tipo de ruptura conforme indica a NBR 5739:2018, ilustrado na Figura 24.

Figura 23 - Tipo de ruptura de corpo de prova




Fonte: ABNT NBR 5729:2018, 2018.

O ensaio de compressão dos corpos de prova foi realizado com sete dias de idade sendo que, a idade das amostras de concreto é contada a partir da hora da moldagem conforme Tabela 17.

Tabela 17 - Tolerância para idade de ensaio

| Idade de ensaio | Tolerância permitida<br>h |
|---|---|
| 24 h | 0,5 |
| 3 d | 2 |
| 7 d | 6 |
| 28 d | 24 |
| 63 d | 36 |
| 91 d | 48 |
| NOTA: Para outras idades de ensaio, a tolerância deve ser obtida por interpolação. | |

Fonte: ABNT NBR 5739:2018, 2018.

Figura 24 - Ruptura de corpo de prova

Fonte: Autoras, 2018.

Figura 25 - Corpo de prova após ruptura

Fonte: Autoras, 2018.

Os resultados obtidos através da execução do ensaio estão demonstrados nas Tabelas 18 e 19. E as resistências em Megapascal (MPa) foram encontradas através da seguinte equação:

$$Fc = \frac{4.Q}{\pi.D^2}$$

Onde:

*Fc* – Resistência à compressão em MPa.

*Q* – Carga máxima alcançada em Newton.

*D* – Diâmetro do corpo de prova em milímetros.

Tabela 18 - Leitura da força de ruptura de corpo de prova com aditivo

| CP | Aditivo | Slump | Tipo de Ruptura | Leitura (kgf) | Leitura (Mpa) |
|---|---|---|---|---|---|
| CP 1 | Com | 25 | C | 41390,00 | 51,71 |
| CP 2 | Com | 25 | B | 43480,00 | 54,32 |
| CP 3 | Com | 25 | B | 42400,00 | 52,97 |

Fonte: Autoras, 2018.

Tabela 19 - Leitura da força de ruptura de corpo de prova sem aditivo

| CP | Aditivo | Slump | Tipo de Ruptura | Leitura (kgf) | Leitura (Mpa) |
|---|---|---|---|---|---|
| CP 1 | Sem | 23 | C | 49260,00 | 61,54 |
| CP 2 | Sem | 23 | E | 47980,00 | 59,94 |
| CP 3 | Sem | 23 | B | 48140,00 | 60,14 |

Fonte: Autoras, 2018.

Efetuou-se o mesmo procedimento de rompimento das amostras aos 28 dias de idade, e os resultados estão indicados nas Tabelas 20 e 21.

Tabela 20 - Leitura da força de ruptura de corpo de prova com aditivo aos 28 dias

| CP | Aditivo | Slump | Tipo de Ruptura | Leitura (kgf) | Leitura (Mpa) |
|---|---|---|---|---|---|
| CP 3 | Com | 23 | C | 47450,00 | 59,28 |
| CP 4 | Com | 23 | D | 47910,00 | 59,85 |
| CP 5 | Com | 23 | E | 49340,00 | 61,64 |

Fonte: Autoras, 2018.

Tabela 21 - Leitura da força de ruptura de corpo de prova sem aditivo aos 28 dias

| CP | Aditivo | Slump | Tipo de Ruptura | Leitura (kgf) | Leitura (Mpa) |
|---|---|---|---|---|---|
| CP 3 | Sem | 23 | C | 54320,00 | 67,86 |
| CP 4 | Sem | 23 | D | 52400,00 | 65,46 |
| CP 5 | Sem | 23 | E | 55200,00 | 68,96 |

Fonte: Autoras, 2018.

## 3.5 PROCEDIMENTO DO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

O ensaio de determinação de absorção de água, iniciado dia 8 de outubro de 2018, foi realizado no laboratório de Engenharia da Universidade do Sul de Santa Catarina, no campus Pedra Branca.

A NBR 9778:2005 prescreve os métodos para a determinação da absorção de água, dos índices de vazios por imersão e fervura, e das massas específicas das amostras endurecidas. Desta forma, realizou-se os ensaios em três corpos de prova com aditivo impermeabilizante, e, também, em outras três sem aditivo, com o objetivo de verificar a eficiência do impermeabilizante nestas condições.

Os equipamentos utilizados para a execução do ensaio foram:

a) Balança hidrostática;

b) Recipientes (para imersão e fervura das amostras);

c) Estufa.

Aos sete dias de idade, os corpos de prova foram colocados em uma estufa, conforme figura 27, e submetidos à secagem por um período de 72 horas a 105° C. Após este procedimento, determinou-se a massa da amostra seca ($m_s$), de acordo com as tabelas 22 e 23.

Figura 26 – Colocação das amostras na estufa para secagem

Fonte: Autoras, 2018.

Tabela 22 - Massa da amostra seca sem aditivo

| **Massa Seca ($m_s$) - Sem Aditivo** | |
|---|---|
| CP 1 | 3499,9 g |
| CP 2 | 3502,7 g |
| CP 3 | 3500,4 g |
| **Média** | **3501,0 g** |

Fonte: Autoras, 2018.

Tabela 23 - Massa da amostra seca com aditivo

| **Massa Seca ($m_s$) - Com Aditivo** | |
|---|---|
| CP 1 | 3479,9 g |
| CP 2 | 3510,9 g |
| CP 3 | 3536,1 g |
| **Média** | **3508,97 g** |

Fonte: Autoras, 2018.

Na sequência, realizou-se a saturação das amostras, emergindo-as em um recipiente com água, conforme figura 28, e mantendo-as completamente submersas a uma temperatura de 23° C, durante 72 horas. Completada esta etapa, os corpos de prova foram

levados para outro recipiente e submetidos à ebulição por 5 horas, de acordo com a Figura 29. Feito isto, após o resfriamento das amostras, até a temperatura de 25° C, com o auxilio de uma balança hidrostática, registrou-se as massas imersas ($m_i$).

Logo após, as amostras foram secas com o auxílio de um pano úmido e pesadas para o registro de sua massa saturada ($m_{sat}$), conforme as tabelas 24 e 25.

Tabela 24 - Peso das amostras sem aditivo

| Amostra | Massa Imersa ($m_i$) Sem Aditivo | Massa Saturada ($m_{sat}$) Sem Aditivo |
|---|---|---|
| CP 1 | 2049,68 g | 3719,14 g |
| CP 2 | 2049,00 g | 3718,00 g |
| CP 3 | 2047,58 g | 3715,33 g |
| **Média** | **2048,75 g** | **3717,49 g** |

Fonte: Autoras, 2018.

Tabela 25 - Peso das amostras com aditivo

| Amostra | Massa Imersa ($m_i$) Com Aditivo | Massa Saturada ($m_{sat}$) Com Aditivo |
|---|---|---|
| CP 1 | 2055,52 g | 3702,20 g |
| CP 2 | 2070,00 g | 3728,27 g |
| CP 3 | 2085,75 g | 3756,64 g |
| **Média** | **2070,42 g** | **3729,04 g** |

Fonte: Autoras, 2018.

Figura 27 - Imersão das amostras no tanque em água a temperatura ambiente

Fonte: Autoras, 2018.

Figura 28 – Corpo de prova 1 com aditivo impermeabilizante sendo fervido a aproximadamente 105° C por 5 h

Fonte: Autoras, 2018.

Para os cálculos, foram utilizadas as médias dos resultados dos ensaios das três amostras sem impermeabilizante e das três com o aditivo, conforme estabelecido na NBR 9778:2005.

a) Determinação da absorção de água (*A*):

$$A = \frac{msat - ms}{ms} \times 100$$

a. Sem aditivo impermeabilizante:

$$A = \frac{3717{,}49 \ - 3501}{3501} \times 100$$

$$A = 6{,}18\%$$

b. Com aditivo impermeabilizante:

$$A = \frac{3729{,}04 \ - 3508{,}97}{3508{,}97} \times 100$$

$$A = 6{,}27\%$$

b) Determinação do índice de vazios ($I_v$):

$$Iv = \frac{msat - ms}{msat - mi} \times 100$$

a. Sem aditivo impermeabilizante:

$$Iv = \frac{3717{,}49 - 3501}{3717{,}49 - 2048{,}75} \times 100$$

$$Iv = 12{,}97\%$$

b. Com aditivo impermeabilizante:

$$Iv = \frac{3729{,}04 - 3508{,}97}{3729{,}04 - 2070{,}42} \times 100$$

$$Iv = 13{,}27\%$$

c) Determinação da massa específica da amostra seca ($\rho_s$):

$$\rho s = \frac{ms}{msat - mi}$$

a. Sem aditivo impermeabilizante:

$$\rho s = \frac{3501}{3717{,}49 - 2048{,}75}$$

$$\rho s = 2{,}10\ g/cm^3$$

b. Com aditivo impermeabilizante:

$$\rho s = \frac{3508{,}97}{3729{,}04 - 2070{,}42}$$

$$\rho s = 2{,}12\ g/cm^3$$

d) Determinação da massa específica da amostra saturada ($\rho_{sat}$):

$$\rho sat = \frac{msat}{msat - mi}$$

a. Sem aditivo impermeabilizante:

$$\rho sat = \frac{3717{,}49}{3717{,}49 - 2048{,}75}$$

$$\rho sat = 2{,}23\ g/cm^3$$

b. Com aditivo impermeabilizante:

$$\rho sat = \frac{3729{,}04}{3729{,}04 - 2070{,}42}$$

$$\rho sat = 2{,}25\ g/cm^3$$

e) Determinação da massa específica real ($\rho_r$):

$$\rho r = \frac{ms}{ms - mi}$$

a. Sem aditivo impermeabilizante:

$$\rho r = \frac{3501}{3501 - 2048{,}75}$$

$$\rho r = 2{,}41\ g/cm^3$$

b. Com aditivo impermeabilizante:

$$\rho r = \frac{3508{,}97}{3508{,}97 - 2070{,}42}$$

$$\rho r = 2{,}44\ g/cm^3$$

# 4 CONCLUSÃO

Com o objetivo de avaliar a eficácia do produto X da empresa A, seja em sua função precípua de conferir ao concreto uma impermeabilidade satisfatória, seja na verificação de sua influência direta na resistência do concreto, analisando se o mesmo é um produto inerte, realizaram-se vários ensaios laboratoriais.

No quesito da resistência à compressão, a adição do mesmo, ensaiado segundo os parâmetros indicados na NBR 5739:2009, aparentemente, influi nos valores de resistência, visto que, em quase todas as amostras os corpos de prova ensaiados apresentaram uma redução em torno de 12,5% aos 7 dias e 10,6% aos 28 dias. Isso leva a crer que o produto em questão não é inerte, alterando as propriedades do concreto, interferindo de forma negativa neste quesito avaliado.

De forma a melhor visualizar o supracitado, seguem as Tabelas 26 e 27 comparativas do ensaio à compressão aos 7 e aos 28 dias, respectivamente:

Tabela 26 - Ensaio de compressão axial aos 7 dias

| **Ensaio de Compressão Axial (7 dias)** | | | |
|---|---|---|---|
| **Aditivo** | **Leitura de ruptura (Mpa)** | **Aditivo** | **Leitura de ruptura (Mpa)** |
| NÃO | 59,94 | SIM | 51,71 |
| NÃO | 60,14 | SIM | 52,97 |
| NÃO | 61,54 | SIM | 54,32 |
| **Média** | **60,54** | **Média** | **53,00** |

Fonte: Autoras, 2018.

Tabela 27 - Ensaio de compressão axial aos 28 dias

| **Ensaio de Compressão Axial (28 dias)** | | | |
|---|---|---|---|
| **Aditivo** | **Leitura de ruptura (Mpa)** | **Aditivo** | **Leitura de ruptura (Mpa)** |
| NÃO | 65,46 | SIM | 59,28 |
| NÃO | 67,86 | SIM | 59,85 |
| NÃO | 68,96 | SIM | 61,64 |
| **Média** | **67,43** | **Média** | **60,26** |

Fonte: Autoras, 2018.

Apesar de esta variação poder ser considerada pequena, tendo em vista que mesmo com a utilização do aditivo, o concreto alcançou a resistência projetada, seria deveras

importante que a empresa fabricante do produto alertasse seus consumidores de que esta possibilidade é inerente afim de que os mesmos, em uma possível utilização, já considerem este decréscimo em seus cálculos estruturais.

No que tange ao objeto principal desta pesquisa, o ensaio de absorção de água e consequente impermeabilidade do concreto conferida pelo produto, os resultados foram ainda menos satisfatórios.

Analisando-se os resultados do ensaio, executado sobre a égide da NBR 9778:2005, concluiu-se que o produto analisado não se mostrou eficaz, muito menos, cumpriu com sua finalidade.

Como pode ser verificado nos resultados do referido ensaio, apresentados na Tabela 28 abaixo, houve um acréscimo na absorção de água nas amostras onde foi acrescentado o produto; resultando em valores contrários ao que promete o fabricante.

Tabela 28 - Determinação da absorção de água e índice de vazios

| **Determinação de absorção de água e índices de vazios** | | |
|---|---|---|
| **Cálculo** | **Aditivo** | **Resultados** |
| **Absorção de água** | NÃO | **6,18%** |
| | SIM | **6,27%** |
| **Índice de vazios** | NÃO | **12,97%** |
| | SIM | **13,27%** |

Fonte: Autoras, 2018.

Tabela 29 - Determinação da massa específica da amostra saturada

| **Determinação da massa específica da amostra saturada** | | |
|---|---|---|
| **Cálculo** | **Aditivo** | **Resultados** |
| **Amostra seca (*ρs*)** | NÃO | **2,10 *g/cm³*** |
| | SIM | **2,12 *g/cm³*** |
| **Amostra saturada (*ρsat*)** | NÃO | **2,23 *g/cm³*** |
| | SIM | **2,25 *g/cm³*** |

Fonte: Autoras, 2018.

Tabela 30 - Determinação da massa específica real

| Determinação da massa específica real | | |
|---|---|---|
| **Cálculo** | **Aditivo** | **Resultados** |
| **Massa real ($\rho x$)** | NÃO | **2,41 $g/cm^3$** |
| | SIM | **2,44 $g/cm^3$** |

Fonte: Autoras, 2018.

Ao ser questionado sobre os resultados obtidos o fabricante se posicionou de forma que os corpos de prova não deveriam sofrer o processo de cura úmida, visto que, provavelmente o princípio ativo do aditivo tenha migrado para dentro do tanque.

Tal justificativa no entendimento dos autores desta pesquisa é, na melhor das hipóteses, dúbia, pois parece um tanto contraditório um produto que se justifica pelo fato de caracterizar-se como hidrofugente ter seu princípio ativo migrado para um ambiente aquoso.

Considerações a parte, foi solicitado ao fabricante uma carta explicativa dos motivos que talvez tenham ocasionado resultado tão negativo, porém a mesma preferiu não se pronunciar oficialmente.

Como sugestões para trabalhos futuros, devido a importância do tema e aos resultados obtidos, propõe-se que o ensaio de absorção seja novamente refeito, conforme as orientações de cura do fabricante, e sejam comparadas a esta pesquisa já feita.

# REFERÊNCIAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. Disponível em: <http://www.abcp.org.br>. Acesso em: abr. 2018.

ABESC. Associação Brasileira de Empresas de Serviço de Concretagem – **Concreto Autoadensável**. Disponível em: <www.abesc.org.br/tecnologias/concreto-auto-adensavel.html>. Acesso em: abr. 2018.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <http://www.abnt.org.br>. Acesso em: jul. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:2003**: Agregados – Determinação da composição granulométrica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26:2009**: Agregados – Amostragem.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27:2001**: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67:1993**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:2016**: Concreto-Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:2018**: Concreto-Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:2005**: Agregados para concreto – Especificações.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779:2005**: Agregados e concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.823:2017**: Concreto autoadensável.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575:2013**: Edificações Habitacionais – Desempenho.

BATTAGIN, A. F. **Uma breve história do cimento Portland**. Disponível em: < www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/> Acesso em: mai. 2018.

BAUER, E. V. et al. **Sistemas de impermeabilização e isolamento térmico**. In: Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. Ed. G.C. Isaia. 2ed. São Paulo, IBRACON, 2010. 2 vol. Pag: 1413-1445. Acesso em: set. 2018.

BINA, P. Concretos de pós reativos: uma revolução no concreito de concreto**. Revista Téchne**. São Paulo, ed. 38, 1999. Disponível em: <www.techne17.pini.com.br/engenharia-civil/38/artigo287168-1.aspx>. Acesso em: jun. 2018.

BIZ, Carlos E. **Concreto de Pós Reativos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2001. Disponível em: < http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257678/1/Biz_CarlosEduardo_M.pdf>. Acesso em: set. 2018.

CAMPOS, Christopher. A. **PLICAÇÃO DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL EM LAJES MOLDADAS IN LOCO – Estudo de caso no setor de edificações.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013 Disponível em: http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUBD-9LEJQK. . Acesso em: abr. 2018.

CICHINELLI, G**.** Estanqueidade garantida: Conheça os sistemas de impermeabilização cimentócia e suass principais indicações de uso. **Revista Téchne**. São Paulo, ed. 189, 2012. Disponível em: http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/189/estanqueidade-garantida-conheca-os-sistemas-de-impermeabilizacao-cimenticia-e-288006-1.aspx. Acesso em: nov. 2018.

CIVILIZAÇÃO ENGENHEIRA. **Concretos Especiais**, 2016. Disponível em: <http://civilizacaoengenheira.wordpress.com/2016/03/30/concretos-especiais>/. Acesso em: abr. 2018.

CIVILIZAÇÃO ENGENHARIA. **O Concreto como material construtivo**: Da origem às novas tecnologias, 2012. Disponível em: < www.civilizacaoengenheira.wordpress.com/2012/11/07/o-concreto-como-material-construtivo-da-origem-as-novas-tecnologias/>. Acesso em: mai. 2018.

COPPOLA,L. **Self-compacting concrete**. In: Concrete Technology, p. 42-47, 2000. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/265420999_L_Coppola_Durability_of_Self-Compacting_Concretes>. Acesso em: mai. 2018.

CUNHA, A.G.; NEUMANN, W. **Manual impermeabilização e isolamento térmico.** Rio de Janeiro: Texsa Brasileira, 1979. Acesso em: abr. 2018.

EFNARC. European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. **Specification and guidelines for self -compacting concrete**. 2002. Acesso em: abr. 2018.

FIBERSALS. **Como a impermeabilização funciona?**, 2018. Disponível em: < https://fibersals.com.br/blog/como-impermeabilizacao-funciona/>. Acesso em: ago. 2018.

FONTANA, S. M. P. **A Origem do Concreto Armado**. Disponível em: <http://oseculoxx.blogspot.com.br/2014/12/a-origem-do-concreto-armado.html>. Acesso em: abr. 2018.

GIAMMUSSO, S. E. **Manual do concreto**. São Paulo: Pini, 1992. Acesso em: jul. 2018

GOMES, A. M. et al.. **PERMEABILIDADE DO CONCRETO**: Um estudo para a avaliação "in situ" usando instrumentos portáteis e técnicas tradicionais, 2003. Disponível em: < http://livrozilla.com/doc/592471/permeabilidade-do-concreto--um-estudo-para-a-avalia%C3%A7%C3%A3o> Acesso em: ago. 2018.

HELENE, Paulo R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2 ed.São Paulo: Pini, 1992. Acesso em: mai. 2018

IBRACON. Normas brasileiras para controle e aceitação do concreto autoadensável. **Revista Concreto & Contruções**, ed. 84. Disponível em: < www.ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/ebook/edicao84/files/assets/basic-html/page60.html>. Acesso em: 26 out. 2018.

IBI. **Impermeabilização Rígica,** ed. Pini. Disponível em: < http://ibibrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/01/Impermeabilizac%CC%A7a%CC%83o-ri%CC%81gida.pdf>. Acesso em: jun. 2018.

JEZEK, Geno. **History of Concrete.** Disponível em: < http://www.howconcreteworks.com/> . Acesso em: mai. 2018

MARCHIONI, M**. Pavimento Permeável de Concreto**. Disponível em: <www.construliga.com.br/blog/pavimento-permeavel-de-concreto/>. Acesso em: mai. 2018.

MAXTON BRASIL. **Tipos de Impermeabilização**, 2018. Disponível em: <http://maxtonbrasil.com.br/blog/tipos-de-impermeabilizacao>. Acesso em: 20 set. 2018.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto.** 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. Acesso em: 10 jul. 2018.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto.** 5 ed. Porto Alegre Bookman 2016. Disponível em: <http://pergamum.unisul.br/pergamum/biblioteca/index.php.>. Acesso em: 10 ago. 2018.

OUCHI, Masahiro. **SELF-COMPACTING HIGH-PERFORMANCE CONCRETE.** Disponível em: < www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter41/Newsletter41_files/data/technology/HPC.html>. Acesso em: mai. 2018.

OKAMURA, **H.Self-Compacting High-Performance Concrete**. International Concrete, v. 19, n. 7, 1997, p. 50-54. Acesso em: abr. 2018.

PAULON, V. A.; MONTEIRO, P**. Estudos da microestrutura da zona de transição entre pasta de cimento e o agregado**. Sao Paulo, 1991. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Escola Politecnica, Universidade de Sao Paulo.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto armado de cimento Portland**. 13. ed. rev. por Vladimir Antônio Paulon. São Paulo: Globo, 1998. Acesso em: 14 abr. 2018.

PGG**. Impermeabilização com Manta de PVC**. Disponível em: < http://www.pires.com/impermeabilizacao-com-manta-de-pvc/>. Acesso em: jun. 2018.

PICCHI, F.A. **Impermeabilização de coberturas**. São Paulo: Ed. Pini, 1986. 220p.

POLASTRE, B.; SANTOS, L. D. **Concreto permeável**, 2006. Disponível em: <www.florianopesaro.com.br/biblioteca/arquivos/meio-ambiente/Concreto_Permeavel.pdf>. Acesso em: abr. 2018.

RIGHI, Geovane Venturini. **Estudos dos Sistemas de Impermeabilização: Patologias, Prevenções e Correções – Análise de Casos,** do mestrado de Engenharia Civil da UFSM, 2006. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: < https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7741/RIGHI%2C%20GEOVANE%20VENTURINI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

SANTOS, Lauro Modesto dos. **Cálculo de Concreto Armado**. v. 1, p. 37 - 46. 1977. Acesso em: 10 abr. 2018.

SILVA, G. **Impermeabilizantes rígidos ou flexíveis: saiba especificar**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/impermeabilizantes-rigidos-ou-flexiveis-saiba-especificar_9614_0_1>. Acesso em: jun. 2018.

SIQUEIRA, Vivian de. **Impermeabilização em obras de construção civil: Estudos de casos Patologias e Correções.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) -Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2018. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/5010/TCC%20%20VIVIAN%20DE%20SIQUEIRA%20.pdf?sequence=1>. Acesso em: mai. 2018.

SPLABOR. **Peneira Granulométrica**. Disponível em: http://www.splabor.com.br/blog/peneiras/peneira-granulometrica-dimensao-de-materiais-solidos-e-obtida-atraves-da-granulometria/. Acesso em: nov. 2018.

STORTE, Marcos. **Manifestações patológicas na impermeabilização de estruturas de concreto em saneamento**. Disponível em: < http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=20&Cod=703>. Acesso em: mai. 2018.

TUTIKIAN, Bernardo; ALENCAR, Ricardo; BATAGGIN, Inês L. S; GIL, Augusto; RISSARDI, Cristyan.. **Normas brasileiras para controle e aceitação do concreto autoadensável.** Revista Concreto & Contruções, ed. 84. Disponível em: <

www.ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/ebook/edicao84/files/assets/basic-html/page60.html>. Acesso em: maio 2018.

VANDERLEI, R. D; GINGO, J. S. **Análise experimental do concreto de pós reativos: Dosagem e propriedades mecânica.** Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 8, n. 33, p. 115-148, 2006. Acesso em:

VIEIRA, R. A. G**. Vantagens do Concreto Auto-Adensável Comparado ao Concreto Convencional**. 2013. Monografia – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

# ANEXOS

# ANEXO A – Dados granulometria Brita 1

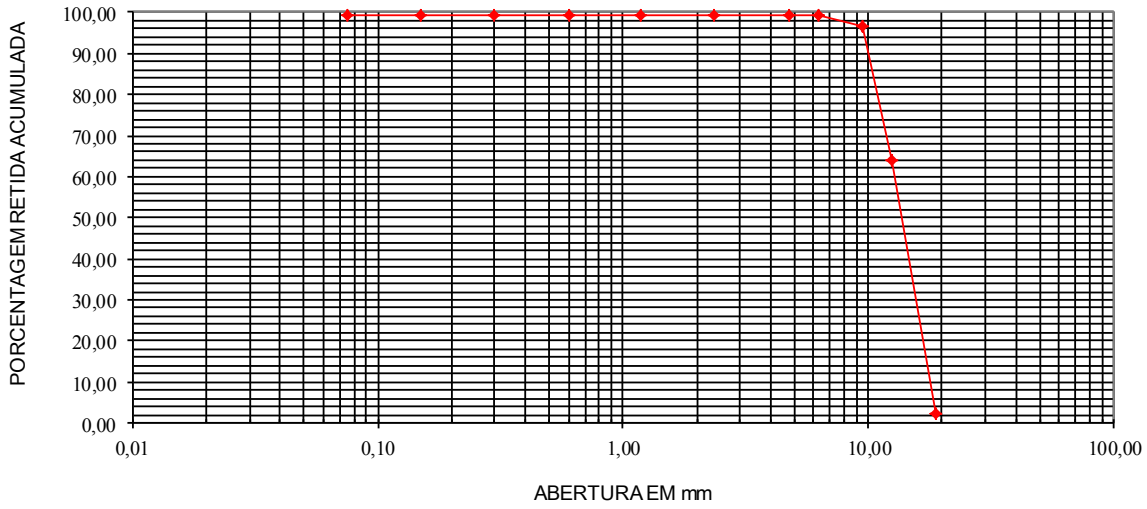
**FICHA DE ENSAIO DE GRANULOMETRIA DE AGREGADO**

| JAZIDA | LABORATÓRIO | |
|---|---|---|
| SUL CATARINENSE | PROTENSUL PRÉ-FABRICADOS LTDA | |
| **LABORATORISTA** | **TIPO** | **REGISTRO** |
| MARIANA/MONICA | BRITA 1 | R01 |
| **TEMP. AMBIENTE** | **PESO AMOSTRA (g)** | **DATA** |
| 23°C | 1000 | segunda-feira, 1 de outubro de 2018 |

**PENEIRAMENTO BRITA 1**

| PENEIRAS | | | AGREGADO | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ABERTURAS | POLEGADA | MILÍMETRO | MASSA RETIDA (g) | % RETIDA | % RETIDA ACUMULADA | % PASSANTE |
| | *3/4"* | *19,00* | 25 | 2,50 | 2,50 | 97,50 |
| | *1/2"* | *12,50* | 615 | 61,50 | 64,00 | 36,00 |
| | *3/8"* | *9,50* | 325 | 32,50 | 96,50 | 3,50 |
| | *1/4"* | *6,30* | 30 | 3,00 | 99,50 | 0,50 |
| | *4* | *4,75* | 0 | 0,00 | 99,50 | 0,50 |
| | *8* | *2,36* | 0 | 0,00 | 99,50 | 0,50 |
| | *16* | *1,18* | 0 | 0,00 | 99,50 | 0,50 |
| | *30* | *0,60* | 0 | 0,00 | 99,50 | 0,50 |
| | *50* | *0,30* | 0 | 0,00 | 99,50 | 0,50 |
| | *100* | *0,15* | 0 | 0,00 | 99,50 | 0,50 |
| | *200* | *0,075* | 0 | 0,00 | 99,50 | 0,50 |
| | | **Fundo:** | 5 | 0,50 | **Dmáx característico:** | 19,00 mm |
| | | **Total:** | 1000 | 100,00 | | |

**GRANULOMETRIA**



# ANEXO B – Dados granulometria Brita 0

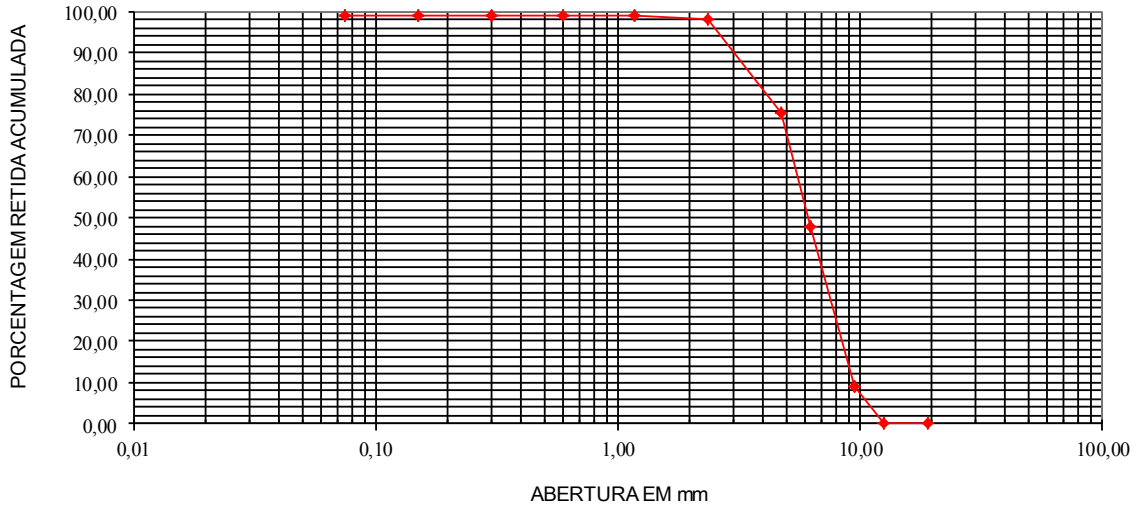
**FICHA DE ENSAIO DE GRANULOMETRIA DE AGREGADO**

| JAZIDA | LABORATÓRIO | |
|---|---|---|
| SUL CATARINENSE | PROTENSUL PRÉ-FABRICADOS LTDA | |
| **LABORATORISTA** | **TIPO** | **REGISTRO** |
| MARIANA/MONICA | BRITA 0 | R01 |
| **TEMP. AMBIENTE** | **PESO AMOSTRA (g)** | **DATA** |
| 23°C | 1000 | segunda-feira, 1 de outubro de 2018 |

**PENEIRAMENTO BRITA 0**

| PENEIRAS | | | AGREGADO | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ABERTURAS | POLEGADA | MILÍMETRO | MASSA RETIDA (g) | % RETIDA | % RETIDA ACUMULADA | % PASSANTE |
| | *3/4"* | *19,00* | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| | *1/2"* | *12,50* | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| | *3/8"* | *9,50* | 90 | 9,00 | 9,00 | 91,00 |
| | *1/4"* | *6,30* | 390 | 39,00 | 48,00 | 52,00 |
| | *4* | *4,75* | 275 | 27,50 | 75,50 | 24,50 |
| | *8* | *2,36* | 225 | 22,50 | 98,00 | 2,00 |
| | *16* | *1,18* | 10 | 1,00 | 99,00 | 1,00 |
| | *30* | *0,60* | 0 | 0,00 | 99,00 | 1,00 |
| | *50* | *0,30* | 0 | 0,00 | 99,00 | 1,00 |
| | *100* | *0,15* | 0 | 0,00 | 99,00 | 1,00 |
| | *200* | *0,075* | 0 | 0,00 | 99,00 | 1,00 |
| | | **Fundo:** | 10 | 1,00 | **Dmáx característico:** | 12,50 mm |
| | | **Total:** | 1000 | 100,00 | | |

**GRANULOMETRIA**



# ANEXO C – Dados granulometria Areia Média

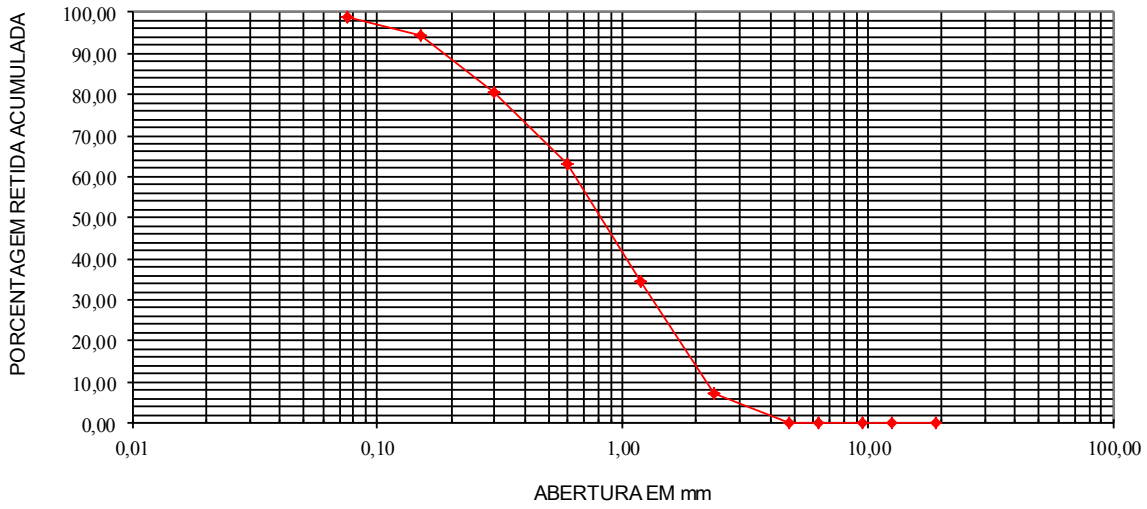
**FICHA DE ENSAIO DE GRANULOMETRIA DE AGREGADO**

| JAZIDA | LABORATÓRIO | |
|---|---|---|
| SANTA ANA | PROTENSUL PRÉ-FABRICADOS LTDA | |
| **LABORATORISTA** | **TIPO** | **REGISTRO** |
| MARIANA/MONICA | AREIA MÉDIA | R01 |
| **TEMP. AMBIENTE** | **PESO AMOSTRA (g)** | **DATA** |
| 23°C | 1000 | segunda-feira, 1 de outubro de 2018 |

**PENEIRAMENTO AREIA MÉDIA**

| PENEIRAS | | | AGREGADO | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | POLEGADA | MILÍMETRO | MASSA RETIDA (g) | % RETIDA | % RETIDA ACUMULADA | % PASSANTE |
| ABERTURAS | *3/4"* | *19,00* | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| | *1/2"* | *12,50* | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| | *3/8"* | *9,50* | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| | *1/4"* | *6,30* | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| | *4* | *4,75* | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| | *8* | *2,36* | 70 | 7,00 | 7,00 | 93,00 |
| | *16* | *1,18* | 275 | 27,50 | 34,50 | 65,50 |
| | *30* | *0,60* | 285 | 28,50 | 63,00 | 37,00 |
| | *50* | *0,30* | 175 | 17,50 | 80,50 | 19,50 |
| | *100* | *0,15* | 140 | 14,00 | 94,50 | 5,50 |
| | *200* | *0,075* | 45 | 4,50 | 99,00 | 1,00 |
| | | **Fundo:** | 10 | 1,00 | **Dmáx caract.:** | 4,75 mm |
| | | **Total:** | 1000 | 100,00 | | |
| **Módulo de Finura** | | | 2,80 | *Zona Ótima Módulo Finura - 2,20 a 2,90.* | | |

**GRANULOMETRIA**

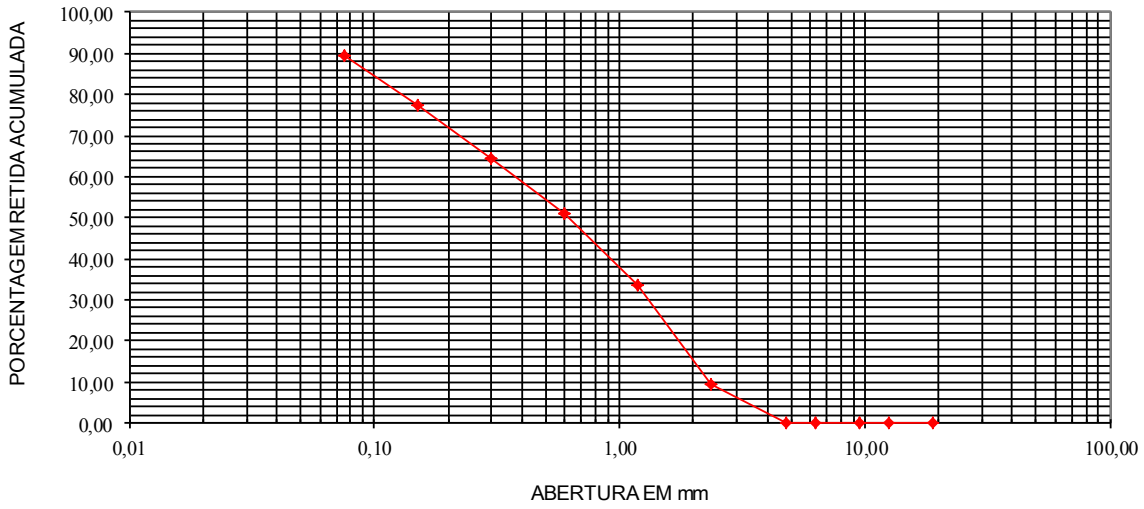


# ANEXO D – Dados granulometria Areia Artificial

**FICHA DE ENSAIO DE GRANULOMETRIA DE AGREGADO**

| JAZIDA | LABORATÓRIO | |
|---|---|---|
| SUL CATARINENSE | PROTENSUL PRÉ-FABRICADOS LTDA | |
| **LABORATORISTA** | **TIPO** | **REGISTRO** |
| MARIANA/MONICA | AREIA ARTIFICIAL | R01 |
| **TEMP. AMBIENTE** | **PESO AMOSTRA (g)** | **DATA** |
| 23°C | 1000 | segunda-feira, 1 de outubro de 2018 |

**PENEIRAMENTO AREIA ARTIFICIAL**

| PENEIRAS | | | AGREGADO | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ABERTURAS | POLEGADA | MILÍMETRO | MASSA RETIDA (g) | % RETIDA | % RETIDA ACUMULADA | % PASSANTE |
| | *3/4"* | *19,00* | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| | *1/2"* | *12,50* | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| | *3/8"* | *9,50* | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| | *1/4"* | *6,30* | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| | *4* | *4,75* | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| | *8* | *2,36* | 95 | 9,50 | 9,50 | 90,50 |
| | *16* | *1,18* | 240 | 24,00 | 33,50 | 66,50 |
| | *30* | *0,60* | 175 | 17,50 | 51,00 | 49,00 |
| | *50* | *0,30* | 135 | 13,50 | 64,50 | 35,50 |
| | *100* | *0,15* | 130 | 13,00 | 77,50 | 22,50 |
| | *200* | *0,075* | 120 | 12,00 | 89,50 | 10,50 |
| | | **Fundo:** | 105 | 10,50 | **Dmáx caract.:** | 4,75 mm |
| | | **Total:** | 1000 | 100,00 | | |
| **Módulo de Finura** | | | 2,36 | *Zona Ótima Módulo Finura - 2,20 a 2,90.* | | |

**GRANULOMETRIA**