

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANA CARLA DE FREITAS MOREIRA

**ESTUDO DE ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES NO COMPORTAMENTO DO  
CONCRETO**

CAMPO MOURÃO

2018

ANA CARLA DE FREITAS MOREIRA

**ESTUDO DE ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES NO COMPORTAMENTO DO  
CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Me. Roberto Widerski

CAMPO MOURÃO

2018



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

### ESTUDO DE ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES NO COMPORTAMENTO DO CONCRETO

por

**Ana Carla de Freitas Moreira**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10:00 h do dia 17 de dezembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Dr.<sup>a</sup>. Eudes Jose Arantes**

(( UTFPR ))

**Prof. Me. Tiago Tadeu Amaral de Oliveira**

( UTFPR )

**Prof. Me. Roberto Widerski**

(UTFPR)

*Orientador*

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil: **Prof. Dr(a). Paula Cristina de Souza**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste trabalho de conclusão de curso só foi possível graças à colaboração e ao contributo, de forma direta ou indireta, de várias pessoas, sem as quais a realização desta pesquisa não teria sido possível.

Ao meu orientador, Professor Roberto Widerski, obrigado pela orientação deste trabalho, disposição da sua atenção, pela capacidade científica, sanção das dúvidas que surgiram assim como por toda a força e incentivo ao longo da realização deste. Todas essas disposições fazem fortalecer o vosso profissionalismo.

Ao técnico em edificações Fábio, do Laboratório de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela disponibilidade, pelo apoio, e ajuda durante os ensaios e confecção dos corpos de prova.

Ao engenheiro civil Maiko, do Laboratório de estruturas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela disponibilidade para execução dos ensaios de Resistência a Compressão e Módulo de Elasticidade, que foram triviais para esse trabalho.

Aos meus professores da UTFPR de Campo Mourão, em especial a todo o núcleo de Engenharia Civil, que deram base e auxiliaram, nos fornecendo a grande oportunidade de estudar em um ótimo instituto. Obrigado por todo o apoio, de muito valeu todo o empenho de vocês e é por isso que buscamos sempre o melhor.

As pessoas excepcionais que tive o prazer em conhecer em Campo Mourão: Diogo Pedro de Lima, Marina Bahia, Patricia Davi, Amanda Davi, Elisiane Ferreira e Francielle Carnovali, agradeço pela paciência, incentivo, companhia, sobretudo pela amizade, vocês foram minha família durante esses anos. Serei eternamente grata. Vocês fizeram dos meus dias, dias mais claros, muitas das vezes dias de ânimo, dias de sentir saudade, dias de se sentir especial por ter alguém com quem pudéssemos contar. Com toda certeza vocês fizeram a maior diferença.

Aos meus irmãos Joyce e Juliano, meu cunhado Gibrann que sempre estiveram ao meu lado, mesmo que de longe, dando forças para não desistir.

Por fim, o meu eterno agradecimento aos meus pais, que sempre me apoiaram. Mesmo quando tudo parecia impossível, eles me deram forças e amor para continuar, para tentar sempre mais ao longo de toda a minha vida. Se sou forte, hoje, é por vocês terem confiado em mim. Eu amo vocês incondicionalmente e sou eternamente grato. Vocês me deram sustento, base para esse sonho, sempre me apoiando e dando votos

de confiança, saiba que cada lugar que passei e tudo o que aprendi, assim como cada etapa conquistada, eu deixo claro, que é por vocês e para vocês.

## RESUMO

O concreto é um material poroso e com isso permite a absorção de água em sua estrutura. Essa característica pode prejudicar a vida útil das estruturas assim, para prolongar a vida útil de uma construção, devem ser previstos sistemas de impermeabilização, que visam proteger as estruturas contra a ação nociva da água. Com isso, podem ser adicionados a massa de concreto aditivos impermeabilizantes que podem atuar de diversas maneiras, mas seu principal efeito é tornar o concreto hidrófugo, ou seja, evitar a umidade. Os impermeabilizantes formam uma barreira física contra a propagação da umidade e evitam infiltrações. As principais características mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Contudo, dependendo da sua composição química, podem haver alterações nas características do concreto. Neste contexto, o presente trabalho pretende dar um contributo na compreensão do comportamento do bloco de concreto com o impermeabilizante A, submetido a ensaio de compressão. Pela falta de conhecimento sobre este produto, pretende-se verificar sua eficácia e analisar possíveis alterações na resistência do concreto. Para isso foram realizados ensaios a fim de medir as características do concreto produzidos sem aditivos, e com aditivo A e B. Para o caso em estudo foi possível concluir que ambos os aditivos interferiram nas características do concreto. Analisando os aditivos utilizados na pesquisa, o aditivo A apresentou-se mais prejudicial as características (trabalhabilidade, índice de absorção, resistência a compressão e módulo de elasticidade) do que o aditivo A. Além disso, na análise o índice de absorção, o concreto produzido sem aditivos apresentou melhor resultado do que o concreto produzido com B.

**Palavras-chave:** Impermeabilizante. Concreto. Umidade.

## **ABSTRACT**

Concrete is a porous material and thus allows the absorption of water in its structure. This feature can adversely affect the life of the structures and, in order to extend the life of a building, waterproofing systems must be provided to protect the structures against harmful action on water. With this, concrete additives can be added to concrete additives that can act in different ways, but their main effect is to make the concrete waterproof, that is, to avoid moisture. The waterproofing agents form a physical barrier against the propagation of moisture and prevent infiltration. The main mechanical characteristics of the concrete are: compressive strength, tensile strength and modulus of elasticity. However, depending on its chemical composition, there may be changes in the characteristics of the concrete. In this context, the present work intends to contribute to the understanding of the behavior of the concrete block with the waterproofing A, submitted to compression test. Due to the lack of knowledge about this product, it is intended to verify its effectiveness and to analyze possible changes in the resistance of the concrete. For this, tests were carried out to measure the concrete characteristics produced without additives, and with additive A and B. For the case under study it was possible to conclude that both additives interfered in the concrete characteristics. By analyzing the additives used in the research, the B additive presented more detrimental characteristics (workability, absorption index, compressive strength and modulus of elasticity) than the A additive. Moreover, in the analysis of the absorption index, the concrete produced without additives presented better results than the concrete produced with B.

**Keywords:** Waterproofing. Concrete. Moisture.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão .....	17
Figura 2 – Módulo de elasticidade ou de deformação longitudinal.....	18
Figura 3 – Módulo de deformação tangencial inicial ( $E_{ci}$ ).....	20
Figura 4 – Diferença entre sistemas rígidos e flexíveis .....	25
Figura 5 – (a) Peça sem aditivo (b) peça com aditivo .....	25
Figura 6 – Aplicação de impermeabilizantes cimentícios .....	28
Figura 7 – Preparo da argamassa com aditivo hidrofugantes .....	29
Figura 8 – Aplicação da argamassa polimérica na forma de pintura.....	30
Figura 9 – Aplicação da argamassa polimérica na forma de revestimento .....	31
Figura 10 – Aplicação de cristalizante na forma de pintura.....	32
Figura 11 – Injeção de cristalizantes em parede com umidade ascendente .....	32
Figura 12 – Ensaio de granulometria .....	35
Figura 13 – Ensaio de granulometria .....	36
Figura 14 – Parâmetro de Agregado Miúdo .....	37
Figura 15 – Produção de Concreto .....	38
Figura 16 – Moldagem dos CP.....	39
Figura 17 – Ensaio de Resistência a compressão .....	41
Figura 18 – Slump Test Sem Aditivo .....	43
Figura 19 – Slump Test Com Aditivo A .....	44
Figura 20 – Slump Test Com Aditivo B .....	44
Figura 21 – Ensaio de Resistência Mecânica Sem Aditivo .....	46
Figura 22 – Ensaio de Resistência Mecânica Com Aditivo A.....	46
Figura 23 – Ensaio de Resistência Mecânica Com Aditivo B.....	47
Figura 24 – Ensaio de Módulo de Elasticidade Sem Aditivo .....	44
Figura 25 – Ensaio de Módulo de Elasticidade Com Aditivo A.....	48
Figura 26 – Ensaio de Módulo de Elasticidade Com Aditivo B.....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classe de resistência do concreto.....	18
Tabela 2 – Módulo de elasticidade conforme NBR 6118 .....	20
Tabela 3 – Uso dos impermeabilizantes .....	26
Tabela 4 – Características do agregados.....	36
Tabela 5 – Parâmetro de água.....	36
Tabela 6 – Parâmetro de Agregado Graúdo .....	36
Tabela 7 – Traço .....	37
Tabela 8 – Relação entre trabalhabilidade e grandeza de abatimento .....	39

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>12</b>
<b>3 Concreto</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Componentes</b> .....	<b>14</b>
3.1.1 Aglomerantes .....	15
3.1.2 Agregado.....	15
3.1.3 Aditivos.....	16
<b>3.2 Propriedades do concreto endurecido</b> .....	<b>16</b>
3.2.1 Resistência à compressão .....	17
3.2.2 Módulo de elasticidade.....	18
<b>4 IMPERMEABILIZAÇÃO</b> .....	<b>22</b>
<b>4.1 Escolha da impermeabilização</b> .....	<b>23</b>
<b>4.2 Sistemas impermeabilizantes</b> .....	<b>23</b>
<b>4.3 Impermeabilizantes cimentícios</b> .....	<b>27</b>
4.3.1 Argamassa com aditivo impermeabilizante .....	28
4.3.2 Argamassa polimérica .....	30
4.3.3 Cristalizantes.....	31
<b>4.4 Impermeabilizante A</b> .....	<b>32</b>
<b>4.5 Impermeabilizante B</b> .....	<b>33</b>
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
<b>5.1 Materiais utilizados</b> .....	<b>34</b>
5.1.1 Água.....	34
5.1.2 Agregado miúdo .....	34
5.1.3 Agregado graúdo.....	35
5.1.4 Cimento.....	36
5.1.5 Aditivo hidrofugante.....	36
<b>5.2 Cálculo de dosagem do concreto</b> .....	<b>36</b>
<b>5.3 Slump Test</b> .....	<b>38</b>
<b>5.4 Produção dos corpos de prova</b> .....	<b>39</b>
<b>5.5 Ensaio de absorção</b> .....	<b>39</b>

<b>5.6 Ensaio de resistência à compressão</b> .....	40
<b>5.7 Ensaio de módulo de elasticidade</b> .....	42
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	43
<b>6.1 Slump Test</b> .....	43
<b>6.2 Ensaio de absorção</b> .....	45
<b>6.3 Ensaio de resistência a compressão</b> .....	46
<b>6.4 Módulo de elasticidade</b> .....	48
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	50
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	51

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto é composto por cimento, agregados e água. Suas características estão diretamente ligadas as proporções dessa mistura. As principais condicionantes que influenciam nas características do concreto são: qualidade e tipo de cimento; volume de água e relação água-cimento; tipos e granulometria dos agregados, além da relação agregado-cimento; aplicação ou não de aditivos e adições; processo e tempo gasto na preparação da mistura; características de transporte e de lançamento; condições de adensamento e de cura; formato e dimensões dos corpos-de-prova (CP); condições de carga; idade do concreto; condições ambientais e climáticas.

Segundo Pinheiro, Muzardo e Santos (2004), as principais características mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas características devem ser determinadas através da realização de ensaios, que devem ser executados a fim de controlar a qualidade e atendimento às especificações.

Tendo como objetivo prolongar a vida útil de uma construção, os sistemas de impermeabilização, protegem as estruturas contra a ação nociva da água. Os impermeabilizantes formam uma barreira física contra a propagação da umidade e evitam infiltrações. Contudo, dependendo da sua composição química, podem haver alterações nas características do concreto.

O concreto absorve água devido a tensão superficial nos polos capilares da pasta de cimento hidratada “sugar” a água por sucção capilar (NEVILLE, 2015).

Os aditivos impermeabilizantes podem atuar de diversas maneiras, mas seu principal efeito é tornar o concreto hidrófugo, ou seja, evitar a umidade.

Uma ação dos aditivos impermeabilizantes ocorre pela reação do hidróxido de cálcio na pasta de cimento hidratada. Outra ação se dá pela junção de moléculas que em contato com a pasta de cimento hidratada, devido a sua alcalinidade, rompe a emulsão “impermeabilizante”. O terceiro tipo de aditivo impermeabilizante é um material muito fino que contém extrato de cálcio ou algumas resinas hidrocarbonadas ou alcatrão de carvão. Esse material produz superfícies hidrófugas.

Para Neville (2015), apesar de a melhoria das propriedades hidrófugas do concreto ser válida, o revestimento total de todas as superfícies dos poros capilares

é, na prática, de difícil alcance. Em virtude disso, a obtenção da impermeabilidade é improvável

Além da ação hidrofugante de alguns aditivos impermeabilizantes, pode haver também uma ação que bloqueia os poros por meio de um componente coalescente. Não existem muitas informações a respeito da classificação e descrição dessas ações, logo, sua eficácia é baseada em dados dos fabricantes, juntamente com resultados experimentais do desempenho de um aditivo específico.

Com o objetivo de ampliar os estudos na área de impermeabilização, este trabalho apresenta a utilização de um novo aditivo impermeabilizante no concreto.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo fazer estudo sobre o efeitos de diferentes impermeabilizantes nas características do concreto.

### **2.2. Objetivos específicos**

Serão analisadas amostras com percentagens do impermeabilizante junto a mistura do concreto, e amostras apenas de concreto, onde, para além de comparar os seus comportamentos, pretende-se, compreender a influência dos impermeabilizantes na resistência mecânica do concreto.

De forma mais pormenorizada, os objetivos que levam ao desenvolvimento deste trabalho, são apresentados pelas seguintes ordens:

- Fazer referência geral a caracterização do concreto por diferentes tipos de impermeabilizantes cimentícios;
- Analisar o comportamento mecânico do concreto com e sem impermeabilizantes;
- Comparação e discussão de resultados obtidos em todos os ensaios;

### 3 CONCRETO

Conforme Balbo (2009), o concreto é material de construção mais popular e mais utilizado em todo o mundo, o autor o define como uma mistura proporcional de agregados, ligantes hidráulicos, em geral o cimento Portland, e água. Mehta e Monteiro (2014) complementam que se consome no mundo, cerca de 19 bilhões de toneladas métricas de concreto todo ano. Isaia (2007) em seus estudos conclui que o concreto é o segundo material mais consumido pelo homem, perdendo apenas para a água.

O concreto ou concreto simples, é um material oriundo da mistura entre agregados, cimento e areia. Em casos especiais, onde há necessidade de melhora nas suas características são adicionados a sua composição aditivos químicos ou minerárias. O concreto tem elevada resistência a compressão e baixa resistência a tração, em média 10% da resistência a compressão, assim, em aplicações onde o mesmo precisa funcionar bem também a tração se faz necessário combinar ao concreto simples com barras de aço, formando assim o concreto armado. As barras de aço serão responsáveis por resistir aos esforços de tração na estrutura (ARAÚJO, 2010).

O concreto produzido com cimento Portland é um material poroso, de estrutura heterogênea e complexa. Mehta e Monteiro (1994 apus Freitas, 2007) explica que as propriedades do material se originam a partir de sua estruturação interna. Essa estruturação se constitui pelas características, tamanho, tipo, quantidade, forma e distribuição das fases presentes no material. O concreto é formado em três fases: meio ligante; agregados; e zona de transição:

- meio ligante: constituído por pasta de cimento Portland, objetiva envolver os agregados, preenchendo os vazios formados e permite ao concreto a capacidade de manuseio quando recém preparado;
- agregados: propriedades do concreto como massa unitária e módulo de elasticidade estão ligadas à densidade e resistência dos agregados. Em geral, resistem mais que as outras fases, com isso não afetam diretamente a resistência do concreto; e
- zona de transição: é a área entre o agregado graúdo e a pasta de cimento, constituída com o acúmulo de água ao redor do agregado. A transição é a fase

mais fraca dos componentes do concreto, sendo fonte de micro-fissuras, responsáveis pelo comportamento elasto-plástico do concreto endurecido, assim como pela baixa resistência à tração.

O preparo do concreto é uma série de operações executadas de modo a obter, a partir de um determinado número de componentes previamente conhecidos, um produto endurecido com propriedades específicas detalhadas em um projeto. As características do concreto variam de acordo com os materiais e suas proporções que influenciam tanto o concreto em seu estado fresco como no seu estado endurecido (PÉRTILE, 2016).

### **3.1 Componentes**

De acordo com Alves (2017) o concreto se compõe por água e material aglomerante, formando um composto chamado pasta, quando adicionado a essa pasta agregado miúdo, se obtém argamassa, sendo neste adicionado agregado graúdo resulta-se no concreto, desta forma se tem os principais componentes do concreto.

#### **3.1.1 Aglomerantes**

Para Tartuce e Giovannetti (1990 apud Lopes, 2013), aglomerante é um material ligante, em geral pulverulento, que promove a união entre grãos do material inerte (agregado). São aplicados a fim de obter-se as pastas, argamassas e concretos.

O principal aglomerante utilizado para misturas de pastas, argamassas e concretos é o cimento Portland, sendo este um material cerâmico que quando em contato com água, produz reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, adquirindo dureza que resulta em elevada resistência mecânica.

De acordo com a ABCP (2002) o cimento Portland é um pó fino aglomerante, aglutinante ou ligante que, sob contato com água, endurece. Após o endurecimento, mesmo que seja novamente colocado em contato com água, o cimento Portland não se decompõe mais. Misturando com água e outros materiais, como areia, pedra britada ou pó de pedra, o cimento Portland, resulta nas argamassas e concretos aplicados na construção civil.

### 3.1.2. Agregado

Conforme a NBR 9935 (ABNT, 2011), agregado é um composto granular, em geral inerte, com formato e características ideais para produção de concretos e argamassas. Os agregados são classificados em agregado miúdo e graúdo, assim, a escolha dos agregados segue critérios rigorosos de controle técnico e de qualidade do material para garantir um bom desempenho na produção do concreto, seja realizada por mistura manual ou em central dosadora (SALGADO, 2009).

A NBR 7211 (2009) os agregados miúdos são aqueles que grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm. Já os agregados graúdos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

A areia aplicada como agregado miúdo para utilização em argamassas e concretos pode ser classificada como natural, uma vez que é oriunda de rios, minas e várzeas, e artificial quando oriunda de resíduo fino de pedreiras (pó de pedra). A pedra aplicada como agregado graúdo é considerada como natural quando é do tipo pedregulho ou seixo rolado, cascalho, e artificial quando é pedra britada, argila expandida, escória, entre outros. A pedra britada é produzida em indústria ou pedreira, onde executa-se a desintegração, por explosão controlada, da rocha que dá origem à brita. Com a detonação da rocha matriz, se formam grandes matacões que são transportados e posteriormente triturados em equipamento chamado britador. Por fim, a brita passa por peneiras onde é classificada de acordo com sua granulometria e assim, separadas em brita 1, 2, 3, etc.

### 3.1.3 Aditivos

De acordo com a NBR 11768 (2011), aditivos são produtos químicos que objetivam modificar e melhorar algumas propriedades das argamassas e concretos de cimento Portland, adequando-as em determinadas condições, adicionando pequenas quantidades a mistura.

Fernandes (2008 apud Brito, 2017), explica que os aditivos facilitam o processo de compactação da pasta de concreto/argamassa, garante maior vida útil do equipamento e proporciona melhor acabamento as peças. Os principais tipos de

aditivos são: plastificantes (P), retardadores de pega (R), aceleradores de pega (A), plastificantes retardadores (PR), plastificantes aceleradores (PA), incorporadores de ar (IAR), superplastificantes (SP), superplastificantes retardadores (SPR) e superplastificantes aceleradores (SPA).

Ainda conforme Fernandes (2008 apud Brito, 2017), a dosagem do aditivo varia conforme a marca, geralmente de 0,1% a 0,2% do peso do cimento, o que significa de 40 a 80 ml de aditivo para cada saco de cimento de 40 kg, esse percentual deve ser diluído em água em uma proporção de 1/10 e adicionado à mistura após a adição da água principal, quase no final da mistura.

### **3.2 Propriedades do concreto endurecido**

A utilização de qualquer material de construção, em um determinado componente da obra, leva-se em conta qual a finalidade que o componente tem para a mesma. No caso do componente estrutural, a finalidade básica deste é resistir aos esforços solicitantes da construção, tanto em fase de execução quanto de utilização. Por isso, a propriedade mecânica essencial para estruturas é a resistência. Mas além desta propriedade, existem outras propriedades mecânicas que necessitam ser avaliadas num projeto de estruturas, para a execução e utilização segura de qualquer elemento estrutural. Para concreto endurecido, serão abordadas as principais (CERRALIO, 2012).

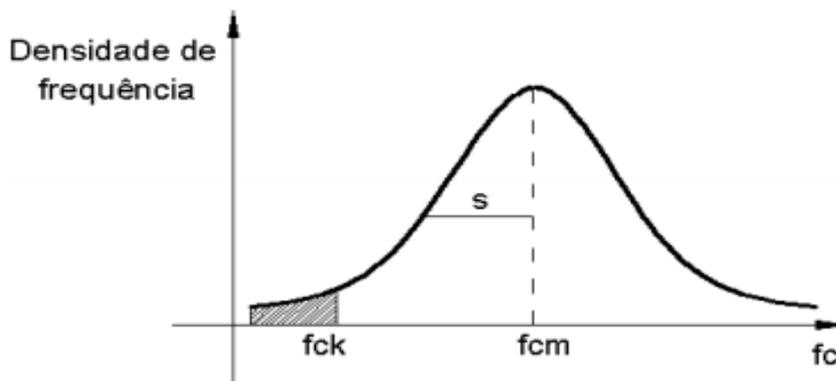
#### **3.2.1 Resistência à compressão**

Segundo Mehta (1994 apud Cerralio, 2012), resistência é a capacidade de um material resistir tensões sem romper-se. Tendo em vista que a principal característica do concreto é resistir aos esforços de compressão, seu valor da resistência à compressão é sempre especificado no projeto de estruturas. Concreto resiste bem à compressão, até 150 MPa. Em geral, relacionada às demais propriedades (FREITAS JR, COSTA e ARTIGAS, 2018).

Para o concreto a resistência à compressão simples ( $f_c$ ), é o fator mecânico mais importante. Para determinar seu valor em uma porção de concreto, é necessário a moldagem de CPs para que estes sejam submetidos a ensaios, esse processo deve seguir as prescrições das NBR 5738 (2016) e NBR 5739 (2017). No Brasil, o CP

padrão é cilíndrico, com relação altura/diâmetro igual a 2. Quando realizados ensaios para muitos CP, é possível criar um gráfico com os resultados de  $f_c$  pela a quantidade de CP relativos a determinado valor de  $f_c$ , também chamado de densidade de frequência. A curva resultante é chamada de Curva Estatística de Gauss ou Curva de Distribuição Normal para a resistência do concreto à compressão (Figura 1) (PINHEIRO, MUZARDO e SANTOS, 2004).

**Figura 1 – Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão**



Fonte: Pinheiro, Muzardo e Santos (2004)

Conforme explicam Pinheiro, Muzardo e Santos (2004) com a curva de Gauss são definidos dois resultados importantes: resistência média do concreto à compressão ( $f_{cm}$ ), e resistência característica do concreto à compressão ( $f_{ck}$ ). O  $f_{cm}$  corresponde ao valor da média aritmética dos valores de  $f_c$  para a amostra ensaiada, e é aplicado para determinar a resistência característica ( $f_{ck}$ ), através da Equação 1.

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65s \quad (\text{Eq. 1})$$

S corresponde ao desvio-padrão corresponde ao intervalo entre a abscissa de  $f_{cm}$  e a do ponto de inflexão da curva. Já o valor 1,65 se refere a 5% dos CP, ou seja, apenas 5% dos corpos-de-prova têm  $f_c < f_{ck}$ , ou, ainda, 95% dos corpos-de-prova têm  $f_c \geq f_{ck}$ . Assim, pode-se definir  $f_{ck}$  como a resultante da resistência que tem 5% de probabilidade de ser inalcançado, durante realização de CP para um lote de concreto (PINHEIRO, MUZARDO e SANTOS, 2004).

De acordo com Freitas Jr, Costa e Artigas (2018) o  $f_{ck}$  também é critério básico atual de classificação dos concretos estruturais pela NBR 8953 (2015). Classes de resistência do concreto estão apresentadas na Tabela 1, vale ressaltar que concretos com  $f_{ck}$  menor que 20MPa (C20) não podem ser utilizados com finalidade estrutural.

Tabela 1 – Classe de resistência do concreto

Classe de resistência			
Grupo I	Fck (MPa)	Grupo II	Fck (MPa)
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50	-	-

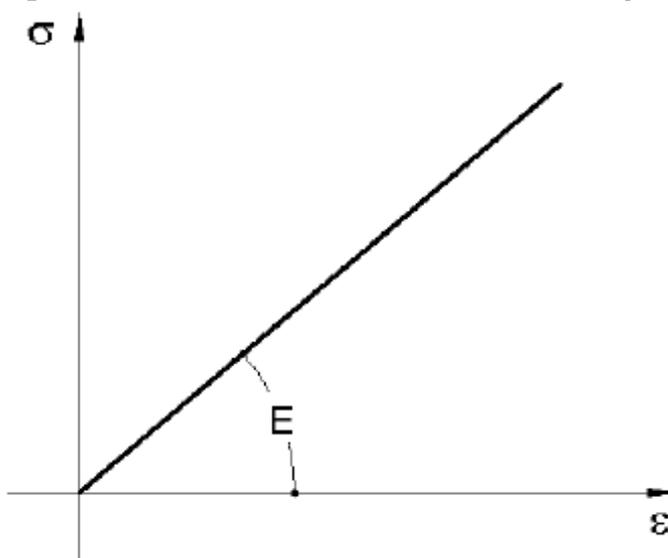
Fonte: Freitas Jr, Costa e Artigas (2018 modificado)

Ainda de acordo com Freitas Jr, Costa e Artigas (2018), os fatores que influenciam na resistência a compressão são: porosidade; relação água cimento; grau de hidratação da pasta de cimento; condições de ensaio; efeitos do ar incorporado e; influência dos agregados.

### 3.2.2 Módulo de elasticidade

Um fator essencial a ser determinado para o concreto é a relação entre a tensão e a deformação. Em determinados intervalos a relação entre tensão e deformação, pode ser considerada linear (Lei de Hooke), ou seja,  $\sigma = E \varepsilon$ , sendo  $\sigma$  a tensão,  $\varepsilon$  a deformação específica e E o Módulo de Elasticidade ou Módulo de Deformação Longitudinal (Figura 2) (PINHEIRO, MUZARDO e SANTOS, 2004).

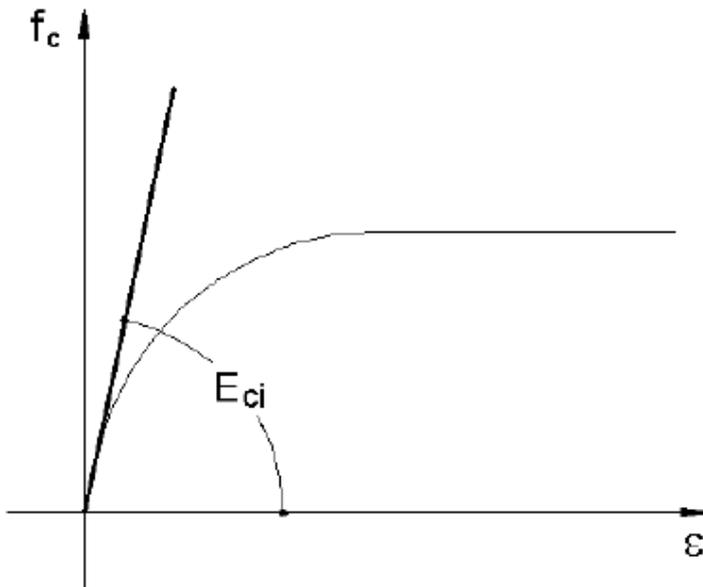
Figura 2 – Módulo de elasticidade ou de deformação longitudinal



Fonte: Pinheiro, Muzardo e Santos (2004)

A expressão do Módulo de Elasticidade, para concreto, se aplica apenas à parte retilínea da curva tensão-deformação ou, em casos onde inexistente uma parte retilínea, aplica-se a expressão à tangente da curva na origem. Assim, obtém-se o Módulo de Deformação Tangente Inicial ( $E_{ci}$ ) (Figura 3) (PINHEIRO, MUZARDO e SANTOS, 2004).

Figura 3 – Módulo de deformação tangencial inicial ( $E_{ci}$ )



Fonte: Pinheiro, Muzardo e Santos (2004)

A partir das prescrições da NBR 8522 (2017) determina-se o módulo de deformação tangente inicial. Caso não forem realizados ensaios ou inexistam dados específicos sobre o concreto, para a idade de referência de 28 dias, é possível fazer uma estimativa do resultado do módulo de elasticidade inicial a partir da Equação 2.

$$E_{ci} = 5600 f_{ck}^{1/2} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde,  $E_{ci}$  e  $f_{ck}$  são dados em MPa.

Já o Módulo de Elasticidade Secante,  $E_{cs}$ , utilizado em análises elásticas do projeto, principalmente para determinar esforços solicitantes e verificar os limites de serviço, deve ser estimado através da Equação 3.

$$E_{cs} = 0,85 E_{ci} \quad (\text{Eq. 3})$$

Durante avaliação ou análise do comportamento da estrutura ou de uma seção transversal, é possível adotar um único módulo de elasticidade, à tração e à compressão, idênticas ao módulo de elasticidade secante ( $E_{cs}$ ) (PINHEIRO, MUZARDO e SANTOS, 2004).

A NBR 6118 (2014), define os módulos de elasticidade, em função do  $f_{ck}$  e são especificados no item 8.2.8 da norma e se apresentam na Tabela 2.

**Tabela 2 – Módulo de elasticidade conforme NBR 6118**

$f_{ck}$	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90
$E_{ci}$ (kgf/c m <sup>2</sup> )	250440	280000	306125	331300	354175	375659	395980	433774	468530	500879	531263
$E_{cs}$ (kgf/c m <sup>2</sup> )	212874	241500	268384	294029	218758	342789	366281	412085	456816	500879	531263

Fonte: NBR 6118 (2014 modificado)

A deformação elástica é aquela em que o material deformado retorna ao seu formato original, após a retirada da carga que o deformou, enquanto que na deformação plástica, não há retorno. No entanto, a maioria dos materiais passa por um comportamento elástico, antes de atingir uma deformação plástica (irreversível). O módulo de elasticidade do concreto é, portanto, um dos parâmetros utilizados nos cálculos estruturais, que relaciona a tensão aplicada à deformação instantânea obtida, conforme a NBR 8522 (2017). O módulo permite ter uma melhor noção do comportamento da estrutura com relação à desforma ou a outras características desejadas do concreto. É bom lembrar que um concreto com alta resistência à compressão, nem sempre é um concreto pouco deformável (PORTAL DO CONCRETO, 2017).

A composição do material é que determina seu valor do módulo de deformação e, apenas indiretamente, relaciona-se com as outras propriedades mecânicas. Em materiais como o concreto, heterogêneos e multifásicos, fatores como a fração volumétrica, o módulo de deformação dos principais compenentres, a massa específica, as características da zona de transição e ainda os parâmetros de ensaio determinam o comportamento elástico do compósito (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

O módulo de elasticidade da matriz da pasta de cimento é determinado por sua porosidade. Os fatores preponderantes são a relação água/cimento, teor de ar, adições minerais, grau de hidratação do cimento e tipo de cimento. Vazios capilares, microfissuras e cristais orientados de hidróxido de cálcio são relativamente mais comuns na zona de transição na interface do que na matriz da pasta; por isso têm um papel importante na determinação das relações tensão-deformação do concreto. Os fatores que controlam a porosidade da zona de transição na interface são: relação água/cimento; características de exsudação; adições minerais; granulometria; dimensão máxima e geometria do agregado; grau de adensamento, grau de hidratação; tempo de cura; temperatura; umidade e a interação química entre o agregado e a pasta de cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2008, p. 55).

Quando modificadas as relações entre os agregados e a massa de cimento promove-se uma influência no módulo de elasticidade. Os agregados contribuem com o acréscimo do módulo de elasticidade do conjunto em função do maior módulo de elasticidade relativamente à pasta de cimento. De acordo com Melo Neto e Helene (2002) o aumento do consumo de cimento, quando se mantém constante a relação água/cimento, promove uma redução do módulo de elasticidade. Esse fato é explicado pelos autores como que a manutenção da relação água/cimento desencadeia no decréscimo do teor de agregados e em consequência aumento da pasta de cimento que, provoca redução no módulo de elasticidade. Entretanto, se o abatimento for mantido e o consumo de cimento for elevado, a relação água/cimento será menor, assim haverá aumento no módulo de elasticidade. Além destes fatores, a forma dos corpos de prova e as condições de cura e ensaio também influenciam no módulo de elasticidade (BAUER, PEREIRA e LEAL, 2012).

## 4 IMPERMEABILIZAÇÃO

Segundo a NBR 9575 (2010), impermeabilização é o conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto por uma ou mais camadas, que tem por finalidade proteger as construções contra a ação deletéria de fluidos, de vapores e da umidade.

Independente do sistema, a função da impermeabilização é oferecer proteção à estrutura contra os efeitos nocivos da água, mas também contra a ação de outros agentes agressivos encontrados no meio ambiente e que, na presença de umidade, causam patologias graves no concreto (TAKAGI, 2017 apud SILVA, 2017).

De acordo com Richi (2009) a impermeabilização deve ser determinada a partir de projeto específico, assim como projeto arquitetônico e estrutural por exemplo. Esse projeto deve prever detalhadamente os materiais e a forma de uso dos sistemas ideais de impermeabilização para cada situação em uma obra.

O projeto básico de impermeabilização deve ser realizado para obras de edificações multifamiliares, comerciais e mistas, industriais, bem como para túneis, barragens e obras de arte, pelo mesmo profissional ou empresa responsável pelo projeto legal de arquitetura, conforme definido na NBR 13532 (VEDACIT, 2010).

Os processos de impermeabilização se classificam conforme seu comportamento e forma de aplicação. A inserção de aditivos de ação hidrofugante na argamassa pode ser uma das de aplicar impermeabilização nas estruturas (NAKAMURA, 2006).

A impermeabilização é importante uma vez que garante maior vida útil da construção; impede a corrosão das armaduras do concreto; evita ambientes insalubres devido à umidade, fungos e mofos; preserva a construção de intempéries; e reduz a necessidade de reformas e pinturas (FREITAS JR, 2016).

Apesar da impermeabilização ser fundamental a estrutura e parte integrante de projeto, na maioria dos casos as construtoras só dão atenção à impermeabilização e seus problemas no final da obra, quando já é muito tarde. A falta de previsão nos detalhes e a improvisação resultam em falhas e patologias (CABRAL, 1992 apud RIGHI, 2009).

Em seus estudos Antonelli et al. (2002) concluiu que a falta de projeto específico de impermeabilização é responsável por 42% dos problemas, sendo significativa sua influência na execução e fiscalização dos serviços de impermeabilização. Já Antunes (2004) garante que a existência de projeto de impermeabilização reduz a incidência de patologias, uma vez que permite controle da execução além de prever detalhes construtivos.

#### **4.1 Escolha da impermeabilização**

Para Righi (2009) o sistema de impermeabilização aplicado deve ser escolhido conforme necessidade de projeto. Os principais fatores a se considerar são: pressão hidrostática, frequência de umidade, exposição ao sol, exposição a cargas, movimentação da base e extensão da aplicação (SABBATINI, 2006).

Souza e Melhado (1998) explicam que a escolha do sistema de impermeabilização deve ter como princípios: atender aos requisitos de desempenho; a máxima racionalização de processos; a máxima consuntibilidade; coerência entre o sistema de impermeabilização e os demais subsistemas, elementos e componentes da edificação; custo de acordo com a realidade do empreendimento; e durabilidade.

#### **4.2 Sistemas impermeabilizantes**

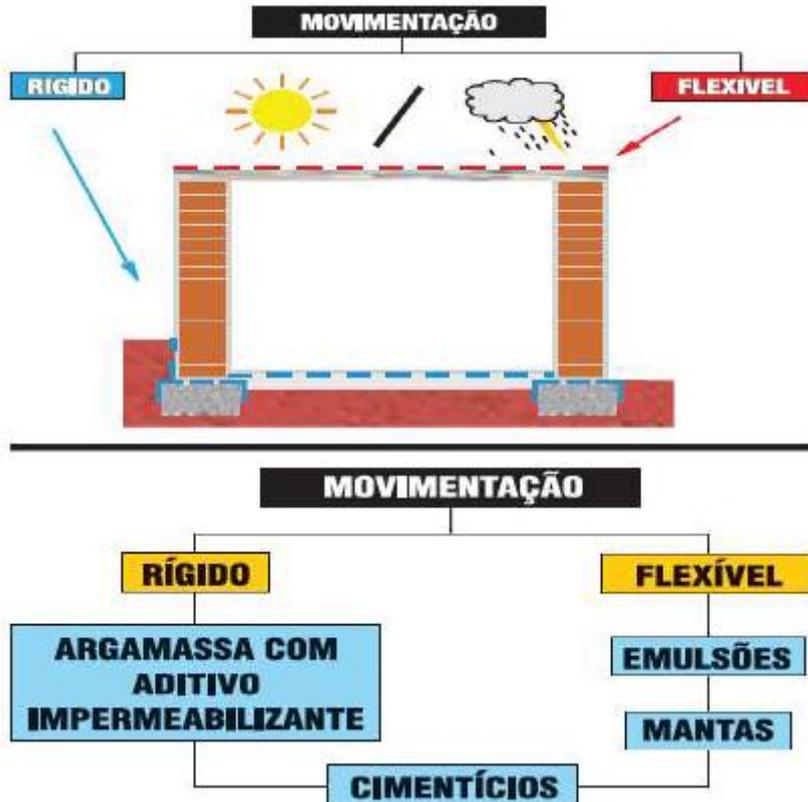
No Brasil existem diversos produtos impermeabilizantes, de qualidade e desempenho variáveis, de diversas origens e métodos de aplicação, normalizados ou não, que devem ter suas características profundamente estudadas, para permitir a escolha de um adequado sistema de impermeabilização. Assim, o projeto de impermeabilização está intimamente ligado ao bom desempenho e durabilidade da construção. A falta de um bom projeto e execução da camada impermeabilizante pode trazer danos irreversíveis a estrutura da construção, assim como, por em risco a segurança da edificação (RIGHI, 2009).

De maneira geral, é possível dividir os impermeabilizantes em dois grupos: rígidos e flexíveis. Os impermeabilizantes rígidos são aqueles que utilizam materiais como argamassa impermeável e argamassa polimérica e os flexíveis utilizam membranas acrílicas, termoplásticas, asfálticas, de poliuretano, poliuretano com

asfalto etc., aplicadas no local da obra, bem como mantas pré-fabricadas, que podem ser asfálticas, de PVC ou EPDM (MAPA DA OBRA, 2017).

A Figura 4 ilustra a diferença entre os sistemas rígidos e flexíveis na construção.

Figura 4 – Diferença entre sistemas rígidos e flexíveis



Fonte: Vedacit, 2010 apud Rodrigues e Mendes (2017)

De acordo com Cunha e Neumann (1979 apud Rodrigues e Mendes, 2017) as impermeabilizações rígidas são os concretos e argamassas que se tornam impermeáveis através da adição de aditivos. A Figura 5 apresenta ensaios feitos com concreto, na Figura 5(a) o CP está sem a utilização de aditivos assim, umidade atinge toda peça, já na Figura 5(b) o CP com aditivo, com isso, a peça fica protegida, evitando danos futuro a peça.

**Figura 5 – (a) Peça sem aditivo (b) peça com aditivo**



**Fonte: Vedacit, 2010 apud Rodrigues e Mendes (2017)**

Silveira em entrevista a Silva (2017) explica que os impermeabilizantes rígidos não resistem às grandes movimentações. São aditivos químicos incorporados a argamassa e concreto, conferindo assim uma proteção contra infiltrações e umidade. Eles têm módulo de elasticidade próximo ao da argamassa ou do concreto sobre o qual será executada.

Já Ventura, também em entrevista a Silva (2017), afirma que os impermeabilizantes mais comercializados no Brasil são a argamassa impermeável e a argamassa polimérica. A argamassa permeável é amplamente aplicada em reboco e contrapiso, é preparada na obra, com a adição de um aditivo impermeabilizante à mistura de cimento, areia e água. Já a argamassa polimérica é um material industrializado, pronto para uso, bastando que o componente líquido (emulsão de polímeros) e o em pó (cimentos e aditivos minerais) sejam misturados e homogeneizados.

Já os impermeabilizantes flexíveis, que são capazes de acompanhar as contrações e dilatações térmicas que as estruturas estão sujeitas. A impermeabilização flexível trabalha como uma membrana de proteção, evitando assim a infiltração de água. Os materiais geralmente utilizados nas impermeabilizações flexíveis são: mantas asfálticas; membranas asfálticas moldadas a quente ou a frio; membranas acrílicas; membranas de poliuretano; membranas de poliuretano com asfalto (SILVA, 2017).

De acordo com Cunha e Neumann (1979 apud Rodrigues e Mendes, 2017), essas impermeabilizações são feitas com manta pré-fabricada ou com elastômero

dissolvido e aplicados in loco, em forma de pintura ou melação em várias camadas e que, ao se evaporar o solvente, deixam uma membrana hipoteticamente elástica.

A especificação do produto mais adequado para cada caso vai depender de diversos fatores, tais como a solicitação imposta pela água na parte que necessita ser impermeabilizada, a tendência dessa área à movimentação, sua exposição a intempéries, tamanho, interface com os outros sistemas construtivos, entre outros (RIGHI, 2009).

A Tabela 3, são listadas as utilizações para os respectivos tipos de impermeabilizantes.

**Tabela 3 – Uso dos impermeabilizantes**

<b>Tipo de impermeabilizante</b>	<b>Uso</b>
<b>Impermeabilizantes rígidos</b>	Solos; poços de elevadores; reservatórios de água enterrados; piscinas enterradas; galerias de barragens; silos; moegas; baldrames; muros de arrimo.
<b>Impermeabilizantes flexíveis</b>	Terraços; lajes maciças, mistas ou pré-fabricadas; reservatórios de água superiores; piscinas suspensas ou apoiadas; varandas; terraços; espelhos d'água; calhas com grandes dimensões; jardins; floreiras; pisos frios de banheiros, cozinhas e áreas de serviço.

Fonte: Mapa da obra (2017)

Morgado em entrevista a Silva (2017) ressalta que é muito importante especificar a utilização de cada tipo de impermeabilização, assim o autor usa como exemplo: produtos de impermeabilização rígida não pode ser aplicado em uma laje térrea, pois ele não aguenta o movimento da estrutura. Então, tanto a estrutura quanto a impermeabilização irão trincar. Da mesma forma, um impermeabilizante flexível não deve ser aplicado em subsolos com umidade ou lençol freático, porque vai criar uma bolha. Nesse caso, a versão rígida é a ideal.

De acordo com Salgado (2009), para que o impermeabilizante atinja sua eficiência é necessário realizar corretamente todo o processo de execução do mesmo além disso, escolher o material adequado para a situação. Segundo o autor não existe meia impermeabilização, ou ela é bem executada ou simplesmente não existe.

Cada vez mais, vem crescendo o número de produtos impermeabilizantes no mercado, isso traz mais alternativas, e também melhores soluções para cada caso específico, isso faz com que a impermeabilização apareça em mais etapas de uma obra. As vantagens de uma construção corretamente impermeabilizada à torna melhor

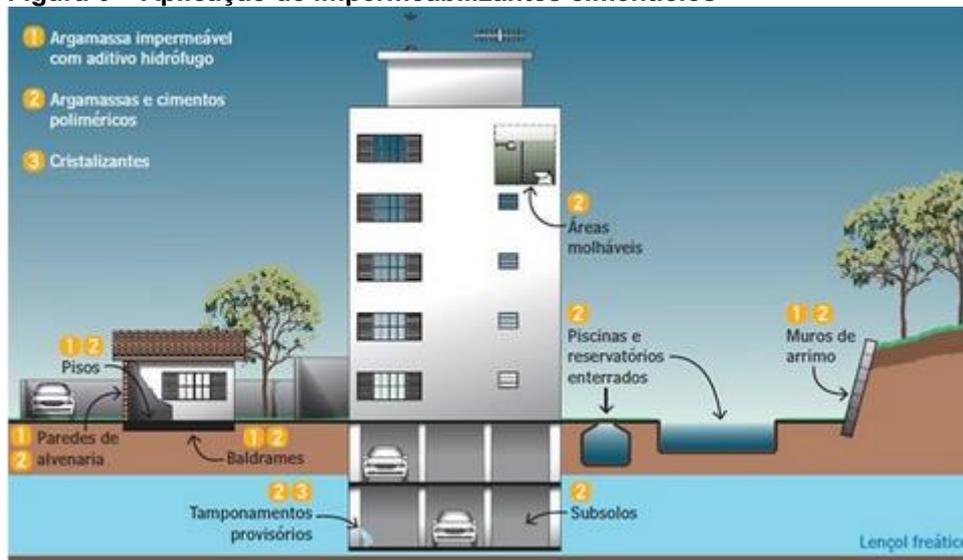
esteticamente, e pelo fato de não haver problemas de infiltração nas estruturas, mais segura também (RODRIGUES e MENDES, 2017).

### 4.3 Impermeabilizantes cimentícios

Nesse grupo se enquadram os sistemas de impermeabilização onde a camada impermeável é obtida por meio de aplicação de materiais a base de cimento com resinas. Pode-se citar técnicas como a argamassa com aditivo impermeabilizante, a argamassa polimérica e a argamassa modificada com polímero.

De acordo com Nakamura (2014), os impermeabilizantes cimentícios são usados em estruturas sujeitas a pouca movimentação estrutural, onde formam uma barreira física que contém a propagação da umidade. São indicados para reservatórios e piscinas enterrados no solo, fundações, pisos de áreas internas, paredes de alvenaria e muros de arrimo. Jamais devem ser utilizados em lajes de cobertura. Os tipos de impermeabilizantes cimentícios são: a argamassa impermeável; a argamassa polimérica; e os cristalizantes. A Figura 6 ilustra a aplicação de cada um.

**Figura 6 – Aplicação de impermeabilizantes cimentícios**

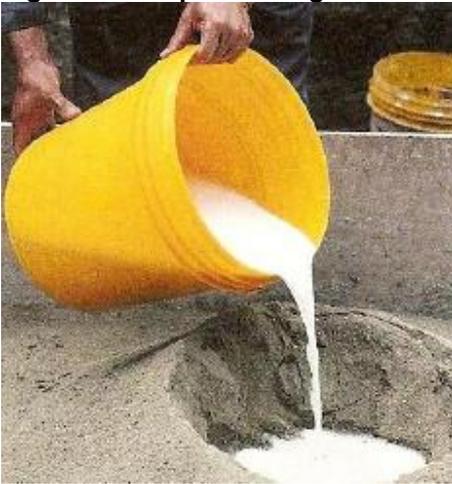


Fonte: Cichinelli (2012)

#### 4.3.1 Argamassa com aditivo impermeabilizante

A argamassa com aditivo impermeabilizante consiste num sistema industrializado em que a argamassa produzida in loco é acrescida de aditivos hidrofugantes (Figura 7), comercializados na forma líquida. Quando adicionados às argamassas, esses aditivos reduzem permeabilidade, criando repelência à água na estrutura interna dos capilares, formando assim um revestimento com propriedades impermeabilizantes. Devem atender aos requisitos da NBR 16072 (2012). O uso do produto não é indicado em situações em que haja contato com lençol freático, condição que impossibilita a aplicação no substrato (CICHINELLI, 2012).

**Figura 7 – Preparo da argamassa com aditivo hidrofugantes**



Fonte: Vieira (2005)

Como descrito por Cichinelli (2012), é mais indicada para fundações, paredes de alvenaria, muros de arrimo e baldrame. O autor ainda lembra que, durante a aplicação, é preciso fiscalizar a mistura e a preparação do material na argamassa, adicionando o volume correto indicado pelo fabricante.

A utilização de aditivos hidrófugos em argamassas impermeáveis representa uma metodologia de execução simples e de custo baixo. É de fundamental importância que a impermeabilização seja feita durante a obra para se obter ambientes secos, sem os potenciais danos causados pela umidade, como manchas nas paredes, destacamento de pisos, apodrecimento de armários e insalubridade provocada pelos ácaros e outros fungos presentes no mofo, responsáveis por alergias e doenças respiratórias (VIEIRA, 2005).

Para Casali, Gava e Prudêncio Jr (2006) a principal função dos aditivos hidrofugantes é reduzir a taxa de penetração de água por absorção capilar, porém não

previnem a penetração de água. Com o uso desses aditivos não se deve ter a expectativa de obter-se um efetivo sistema de barreira de umidade no concreto ou na argamassa. Esses aditivos são usados para tornar o concreto ou a argamassa hidrófoba e, conseqüentemente, capaz de repelir água que não está sob pressão hidrostática. Assim, esses concretos e argamassas permitem a entrada e saída de vapor de água.

#### **4.3.2 Argamassa polimérica**

Consiste num tipo de impermeabilização industrializada aplicada em substrato de concreto, constituída de agregados minerais inerte, cimentos e polímeros, formando um revestimento com propriedades impermeabilizantes. As argamassas poliméricas são comercializadas como produtos bi componentes, ou seja, uma parte em pó (composta por cimento, areia e agregados minerais) e outra líquida (com polímeros que conferem flexibilidade ao conjunto) (CICHINELLI, 2012).

O produto é resistente a pressões positivas e negativas e acompanha de maneira satisfatória, pequenas movimentações das estruturas, e que a impermeabilização decorre da formação de um filme de polímeros que impede a passagem de água e da granulometria fechada dos agregados contidos na porção cimentícia. Dentre as principais características, destacam-se a resistência a pressões hidrostáticas positivas, fácil aplicação, não altera a potabilidade da água, é uma barreira contra sulfatos e cloretos, uniformiza e sela o substrato, reduzindo o consumo de tinta de pinturas externas (RIGHI, 2009).

A argamassa polimérica pode ser aplicada na forma de pintura (Figura 8) ou na forma de revestimento final com desempenadeira (Figura 9), nesse caso requer uma diminuição da quantidade de componente líquido da mistura (SAYEGH, 2001).

**Figura 8 – Aplicação da argamassa polimérica na forma de pintura**



Fonte: Sayegh (2001)

**Figura 9 – Aplicação da argamassa polimérica na forma de revestimento**



Fonte: Sayegh (2001)

Os produtos devem atender aos requisitos das normas NBR 11.905 (2015) e NBR 15.885 (2010). O uso do produto não é indicado em situações em que haja contato com lençol freático, condição que impossibilita sua aplicação (CICHINELLI, 2012).

A composição química de argamassas poliméricas pode variar significativamente, mas normalmente contém resinas sintéticas, cargas minerais e diversos aditivos com espessantes e estabilizantes. Diferenças de formulações, tipos, quantidades e qualidade de matérias primas utilizadas na formulação resultam em significantes diferenças de características mecânicas, desempenho estrutural e durabilidade entre as argamassas poliméricas atualmente existentes no mercado (SILVA et al., 2013).

### 4.3.3 Cristalizantes

Os aditivos cristalizantes são compostos químicos que ao entrar em contato com a água de infiltração, cristalizam-se para constituir uma barreira impermeável resistente, principalmente, a pressões negativas. Indicados para impermeabilizações temporárias, são utilizados, sobretudo, para conter infiltrações localizadas e impermeabilizar grandes estruturas em concreto (CICHINELLI, 2012).

Como os cristalizantes são produtos formadores de película, quando agredidos e danificados perdem o efeito impermeabilizante nestes pontos. Além disso, sua eficiência impermeável está diretamente ligada à continuidade e uniformidade da espessura de sua película e a aderência ao substrato.

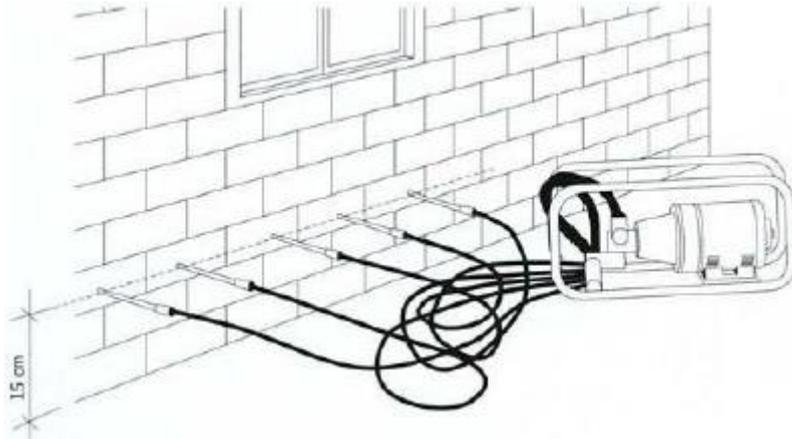
Righi (2009) explica que existem dois tipos de cristalizantes. No primeiro os cimentos cristalizantes são aplicados sob a forma de pintura sobre a superfície de concreto, conforme Figura 10. O segundo tipo são cristalizantes líquidos à base de silicatos e resinas que são injetados e através da cristalização preenchem a porosidade das alvenarias, bloqueando a umidade, conforme Figura 11.

**Figura 10 – Aplicação de cristalizante na forma de pintura**



Fonte: Righi (2009)

**Figura 11 – Injeção de cristalizantes em parede com umidade ascendente**



Fonte: Righi (2009)

#### 4.4 Impermeabilizante A

É um aditivo em pó para impermeabilizar concretos e argamassas. O aditivo A reage com o cimento durante o processo de hidratação, dando origem a substâncias minerais que bloqueiam a rede capilar, proporcionando uma elevada impermeabilidade ao concreto ou argamassa.

O revestimento com o aditivo A tem grande durabilidade. Sua ação não diminui com o tempo, isto é, seu efeito é permanente. Melhora a trabalhabilidade da argamassa e do concreto sem aumentar a água, isto é, além do efeito impermeabilizante, o aditivo A plastifica a argamassa e concreto. Isento de cloretos, o que permite sua utilização em concreto armado e protendido. Fácil mistura e dosagem. Retarda os tempos de pega (início e fim) de 30 a 60 minutos, em relação ao traço sem aditivo.

A nanotecnologia é o estudo de manipulação da matéria numa escala atômica e molecular. Geralmente lida com estruturas com medidas entre 1 a 100 nanômetros em ao menos uma dimensão, e inclui o desenvolvimento de materiais ou componentes e está associada a diversas áreas (como a medicina, eletrônica, ciência da computação, física, química, biologia e engenharia dos materiais) de pesquisa e produção na escala nano (escala atômica). O princípio básico da nanotecnologia é a construção de estruturas e novos materiais a partir dos átomos. É uma área promissora, mas que dá apenas seus primeiros passos, mostrando, contudo, resultados surpreendentes (na produção de semicondutores, Nanocompósitos, Biomateriais, Chips, entre outros). Criada no Japão, a nanotecnologia busca inovar invenções, aprimorando-as e proporcionando uma melhor vida ao homem. Um dos

instrumentos utilizados para exploração de materiais nessa escala é o Microscópio eletrônico de varredura (MEV) e o Microscópio de varredura por Tunelamento (STM), que permite a observação de átomos e moléculas ao nível atômico.

#### **4.5 Impermeabilizante B**

De acordo com o fabricante, o impermeabilizante B é um aditivo para concretos e argamassas, que age por hidrofugação do sistema capilar e permite a respiração dos materiais, mantendo os ambientes salubres. Apresenta densidade de  $1,05 \text{ g/cm}^3$ ; é composto por silicatos. Pode ser aplicado em: baldrame; assentamentos de alvenaria; argamassas de revestimento em pisos e paredes; paredes de encosta; estruturas enterradas (caixas-d'água, reservatórios e piscinas); concreto impermeável.

### **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

Esse estudo se caracteriza como um estudo de caso experimental, realizado no laboratório de ensaios da Universidade Tecnológica Federal Do Paraná – Campus Campo Mourão. Trata-se do estudo comparativo de ensaios de resistência a compressão, módulo de elasticidade e absorção, em corpos de prova de concreto produzidos com argamassa acrescida de aditivos hidrofugante A, de aditivos hidrofugante B e argamassa de concreto sem aditivos.

#### **5.1 Materiais utilizados**

Para confecção do concreto, no traço de 25MPa, foram utilizados: água, areia natural, agregado graúdo, cimento e aditivo hidrofugante.

##### **5.1.1 Água**

A água empregada na produção do concreto e para a imersão durante processo de cura das peças de concreto foi proveniente da rede de abastecimento de água da cidade de Campo Mourão.

### 5.1.2 Agregado miúdo

Foram utilizados como agregados miúdos do tipo areia natural disponíveis no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A fim de determinar o teor de umidade dos agregados foram realizadas análise laboratoriais conforme ilustra Figura 12.

**Figura 12 – Ensaio de granulometria**



Fonte: Autor (2018)

Após realização dos ensaios comprovou-se a necessidade de corrigir a umidade da areia.

### 5.1.3 Agregado graúdo

Os agregados graúdos utilizados foram do tipo Brita 1, disponíveis no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A fim de determinar o teor de umidade dos agregados foram realizadas análise laboratoriais conforme ilustra Figura 13.

**Figura 13 – Ensaio de granulometria**



**Fonte: Autor (2018)**

#### 5.1.4 Cimento

O cimento aplicado na produção do concreto que utilizado para confecção das peças de concreto foi o Cimento Portland CPII, classe 32, com resistência a compressão mínima aos 28 dias de idade, fabricado pela empresa Kaue.

#### 5.1.5 Aditivo hidrofugante

Foram utilizados dois tipos de aditivos a fim de comparação, o A e o B.

### 5.2 Cálculo de dosagem do concreto

O calculo do traço foi feito pelo método de dosagem de concreto ABCP. Foram feitos ensaios granulométricos que caracterizaram os agregados conforme a tabela 4.

Tabela 4 – Características dos Agregados

DMC	19 mm
M.F areia	1,74
M.U.C pedra	1,4 Kg/dm <sup>3</sup>
$\gamma_{real\ areia}$	2,645 g/cm <sup>3</sup>
$\gamma_{pedra}$	2,851 kg/dm <sup>3</sup>
$\gamma_{cimento}$	3,120 g/cm <sup>3</sup>
Abatimento	9 ± 1 mm

Para dosagem de água o parâmetro foi definido pela tabela 5, a dosagem de agregado graúdo na tabela 6, a dosagem do agregado miúdo na tabela 7.

Tabela 5 – Parâmetro de Água

Consumo de água aproximado (l/m <sup>3</sup> )					
Abatimento (mm)	D <sub>máx</sub> agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Tabela 6 – Parâmetro de Agregado Graúdo

MF	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Figura 14 – Parâmetro de Agregado Miúdo

$$V_m = 1 - \left( \frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right)$$

$$C_m = \gamma_m \times V_m$$

Onde:

 $V_m$  volume de areia $C_c$  consumo de cimento $C_b$  consumo de brita $C_a$  consumo de água $C_m$  consumo de areia $\gamma_c$  massa específica do cimento $\gamma_b$  massa específica da brita $\gamma_a$  massa específica da água $\gamma_m$  massa específica da areia

Após dosagem, o traço definido de 25 MPa está apresentado na Tabela 7. O traço foi calculado a fim de produzir 30 copos de prova (CP).

Tabela 7 – Traço utilizado

fck/28 dias	1:AN:B1:X
25 MPa	1 : 1,70: 2,50 : 0,475

Fonte: Autor (2018)

Onde:

B1 – resíduo com características de brita 0

AN – Areia natural

X – Fator água/cimento

A quantidade dos impermeabilizantes A e B utilizados seguem recomendações de cada fabricante, para o A utilizou-se de 0,475 kg e do B 0,108 kg.

Com a definição do traço os materiais foram misturados em betoneira, disponível no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão. Foi produzido inicialmente o concreto sem aditivos, seguido do concreto com aditivo A e por fim com o aditivo B. A Figura 15 ilustra betoneira misturando material.

**Figura 15 – Produção do concreto**



Fonte: Autor (2018)

### **5.3 Slump Test**

Foi realizado o Slump Test para cada tipo de argamassa de concreto produzido.

A amostra de concreto foi coletada e colocada na fôrma tronco-cônica sobre uma placa metálica bem nivelada e apoiar os pés sobre as abas inferiores do cone. Preencheu-se o cone com a primeira camada de concreto e aplicar 25 golpes com a haste de socamento, atingindo a parte inferior do cone. Posteriormente, preencheu-se com mais duas camadas, cada uma golpeada 25 vezes e sem penetrar a camada inferior. Após a compactação da última camada, retirou-se o excesso de concreto, analisou-se a superfície com uma régua metálica e em seguida retirar o cone. Colocou-se a haste sobre o cone invertido e mediu-se o abatimento (a distância entre o topo do molde e o ponto médio da altura do tronco de concreto moldado).

**Tabela 8 – Relação entre trabalhabilidade e grandeza de abatimento**

Trabalhabilidade	Abatimento (mm)
Abatimento zero	0
Muito baixa	5 a 10
Baixa	15 a 30
Média	45 a 75
Alta	80 a 155
Muito alta	160 ao desmoronamento

#### 5.4 Produção dos corpos de prova

Os corpos de prova para todos os ensaios foram produzidos (Figura 16) no dia 14 junho de 2018 e desmoldados no dia 15 junho de 2018. Houve atenção especial ao processo de cura, uma vez que o processo ocorreu no inverno assim, os CP permaneceram submersos em água durante os 28 dias.

**Figura 16 – Moldagem dos CP**

Fonte: Autor (2018)

#### 5.5 Ensaio de absorção

Para este ensaio foram produzidos nove CP, um para cada tipo de concreto produzido, três sem aditivos, três com aditivo A e três com aditivo B.

Os CP ficaram imersos em água por 28 dias, após esse período foram retirados e submetidos ao ensaio de absorção de água prescrito na NBR 9778.

A absorção é a capacidade de sucção do bloco de concreto. É um indicativo essencial na definição do potencial de aderência da peça mantendo a retenção adequada. O índice de absorção é medido através do ensaio de absorção, conforme determina a NBR 8492 (2013), o índice deve atender no máximo a 20% para média da amostra ensaiada e de e 22% para cada peça individualmente.

Neste estudo, para definir esse parâmetro, as peças foram retiradas do tanque e pesadas ainda em condição SSS. Foi necessário aguardar até que as peças secassem completamente e assim, foram novamente pesadas.

## **5.6 Ensaio de resistência à compressão**

No ensaio de resistência a compressão, o corpo de prova é submetido a um carregamento que aumenta progressivamente até a ruptura da amostra. O valor da força exercida no momento da ruptura indica a resistência máxima que o concreto suporta. Conforme Mehta e Monteiro (2014) apesar da resposta real do concreto para a tensão aplicada seja o resultado de interações complexas entre vários fatores, para facilitar um claro entendimento desses fatores, estes podem ser separadamente discutidos em três categorias: características e proporções dos materiais; condições de cura; e parâmetros de ensaio.

Quanto as características e proporções dos materiais, deve-se escolher adequadamente os materiais que serão empregados e suas respectivas proporções é o passo inicial para se obter um produto final que atenda à resistência especificada. Por exemplo, a relação água/cimento, uma vez que, quanto maior a relação a/c maior será a porosidade do concreto. E a porosidade é um fator que limita a resistência.

Durante o processo de cura o cimento passa por hidratação, assim, tempos, temperatura e umidade, interferem no resultado final do processo, esses fatores devem ser considerados imediatamente depois do lançamento do concreto. A resistência de um concreto de cura úmida contínua, por exemplo, pode ser até três vezes maior do que a resistência de um concreto de cura contínua ao ar (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Os resultados de ensaios de resistência do concreto são afetados significativamente por parâmetros que envolvem os corpos-de-prova e as condições de carregamento. Para este estudo foram utilizados os parâmetros de ensaio definidos pela NBR 8492 (2013).

A norma determina antes de realizar o ensaio os corpos de prova devem ser inspecionados e apresentar suas facas planas e paralelas para o perfeito contato entre as superfícies de contato, assim, pode-se realizar o capeamento com pasta de cimento Portland 3 mm. Além disso, o CP deve ser imerso em água pelo menos por 6 horas antes da realização do ensaio, após esse tempo devem ser retirados e enxugados superficialmente com pano umedecido, dentro de um tempo de 3 minutos. A carga aplicada deve ser de 500N/s.

Neste estudo, foram feitos rompimentos dos CP para avaliar resistência a compressão dos blocos maciços de concreto. Foram produzidos quatro CP para cada um dos tipos de concreto, totalizando 12 CP, que foram rompidos no dia 12 julho de 2018, 28 dias após a produção

Conforme a NBR 8492 (2013), todas as peças foram submetidas a capeamento a fim de regularizar suas superfícies. O ensaio realizado é ilustrado na Figura 17.

**Figura 17 – Ensaio de resistência a compressão**



Fonte: Autor (2018)

## **5.7 Ensaio de módulo de elasticidade**

Através do ensaio de compressão também foram definidos os módulos de elasticidade para cada CP ensaiado.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios realizados.

### 6.1 Slump Test

Analisando os comportamentos dos três tipos de concreto produzidos durante a realização do Slump Test, o concreto confeccionado sem aditivo foi o que apresentou melhor trabalhabilidade, uma vez que o aditivo hidrofugante interfere na trabalhabilidade do concreto.

**Figura 18 – Slump Test sem aditivo**



Fonte: Autor (2018)

**Figura 19 - Slump Test com Aditivo A**



Fonte: Autor (2018)

**Figura 20 – Slump Test com Aditivo B**



Fonte: Autor (2018)

SLUMP TEST	ABATIMENTO (CM)
SEM ADITIVO	5
ADITIVO A	9,5
ADITIVO B	10,5

## 6.2 Ensaio de Absorção

O índice da absorção da média das amostras produzidas sem aditivos foi calculado conforme Equação 4.

$$\frac{3,996-3,809 \times 100}{3,809} = 4,90\% \quad (\text{Eq. 4})$$

Conforme resultados obtidos através da Equação 1 nota-se que os corpos de prova produzido sem aditivos atingiram, em média, um índice de absorção de 4,90%. Considerando a NBR 8492 (2013), o corpo de prova apresentou desempenho aceitável, dentro de limite máximo de 20% recomendado pela mesma.

O índice de absorção do corpo de provas produzido com aditivo A foi calculado conforme Equação 5.

$$\frac{3,850-3,685}{3,685} = 4,47\% \quad (\text{Eq. 5})$$

De acordo com os resultados obtidos através da Equação 2 nota-se que a média dos corpos de prova produzidos com aditivo A atingiu um índice de absorção de 4,47%. Conforme a NBR 8492 (2013), o conjunto apresentou desempenho aceitável, dentro de limite máximo de 20% recomendado pela mesma.

O índice de absorção do corpo de provas produzido com aditivo B foi calculado conforme Equação 6.

$$\frac{3,886-3,680 \times 100}{3,680} = 5,59\% \quad (\text{Eq. 6})$$

Conforme resultados obtidos através da Equação 3, em média, os corpos de prova produzidos com aditivo B atingiram um índice de absorção de 5,59%. A partir das recomendações da NBR 8492 (2013), considera-se um desempenho aceitável, dentro de limite máximo de 20% determinado pela mesma.

### 6.3 Ensaio de Resistência a Compressão

Os resultados dos ensaios de resistência a compressão para os 4 corpos de prova produzidos sem aditivos estão apresentados na Figura 21.

**Figura 21 – Resistência à compressão sem aditivo**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Máxima (kN)	Resistência Efetiva (MPa)
CP 1	99,47	7770,95	161,52	20,78
CP 2	99,90	7838,28	149,40	19,06
CP 3	100,28	7898,02	185,61	23,50
CP 4	100,19	7883,85	180,86	22,94
Número CPs	4	4	4	4
Média	99,96	7848	169,3	21,57
Mediana	100,0	7861	171,2	21,86
Desv.Padrão	0,3647	57,21	16,90	2,043
Coef.Var.(%)	0,3648	0,7290	9,978	9,473
Mínimo	99,47	7771	149,4	19,06
Máximo	100,3	7898	185,6	23,50

Fonte: Autor, 2018

Em médias os corpos de prova listados na figura 21 apresentaram resistência compressão de 21,57MPa.

Os resultados dos ensaios de resistência a compressão para os 4 corpos de prova produzidos com aditivo A estão apresentados na Figura 22.

**Figura 22 – Resistência à compressão com aditivo A**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Máxima (kN)	Resistência Efetiva (MPa)
CP 1	100,32	7904,33	183,41	23,20
CP 2	100,05	7861,84	195,96	24,93
CP 3	100,90	7995,99	183,06	22,89
CP 4	99,97	7849,27	172,00	21,91
Número CPs	4	4	4	4
Média	100,3	7903	183,6	23,23
Mediana	100,2	7883	183,2	23,05
Desv.Padrão	0,4209	66,41	9,790	1,254
Coef.Var.(%)	0,4196	0,8403	5,332	5,399
Mínimo	99,97	7849	172,0	21,91
Máximo	100,9	7996	196,0	24,93

Fonte: Autor, 2018

Em médias os corpos de prova listados na Figura 22 apresentaram resistência compressão de 23,23MPa.

Os resultados dos ensaios de resistência a compressão para os 4 corpos de prova produzidos com aditivo B estão apresentados na Figura 23.

**Figura 23– Resistência à compressão com aditivo B**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Máxima (kN)	Resistência Efetiva (MPa)
CP 1	100,35	7909,05	142,52	18,02
CP 2	100,43	7921,67	191,00	24,11
CP 3	100,07	7864,98	159,81	20,32
CP 4	100,22	7888,58	175,48	22,24
Número CPs	4	4	4	4
Média	100,3	7896	167,2	21,17
Mediana	100,3	7899	167,6	21,28
Desv. Padrão	0,1576	24,81	20,80	2,611
Coef. Var. (%)	0,1571	0,3142	12,44	12,33
Mínimo	100,1	7865	142,5	18,02
Máximo	100,4	7922	191,0	24,11

**Fonte: Autor, 2018**

Em médias os corpos de prova listados na Figura 23 apresentaram resistência compressão de 21,17MPa.

## 6.4 Módulo de Elasticidade

Os resultados para a determinação do módulo de elasticidade dos CP produzidos sem aditivos se apresentam na Figura 24.

**Figura 24 – Módulo de elasticidade para peças sem aditivos**

Corpo de Prova	Ruptura Prevista	Área	Resistência Compressão	Resistência Efetiva	Tensão em 30% da Ruptura Prevista	Deformação em 30% da Ruptura Prevista	Deformação em 0,5MPa	Módulo de Elasticidade (GPa)
	(kN)	(mm <sup>2</sup> )	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	
CP 1	169,30	7810,06	21,68	22,69	6,50	0,027	0,002	23,5
CP 2	169,30	7806,93	21,69	22,56	6,51	0,018	0,001	36,4
CP 3	169,30	7893,30	21,45	22,17	6,43	0,015	0,001	43,1
Número CPs	3	3	3	3	3	3	3	3
Média	169,3	7837	21,60	22,47	6,481	0,01988	0,001273	34,32
Mediana	169,3	7810	21,68	22,56	6,503	0,01771	0,001210	36,40
Desv.Padrão	0,0000	48,99	0,1346	0,2697	0,04037	0,006573	0,0004196	9,945
Coef.Var.(%)	0,0000	0,6251	0,6229	1,200	0,6229	33,06	32,97	28,98
Mínimo	169,3	7807	21,45	22,17	6,435	0,01467	0,0008880	23,50
Máximo	169,3	7893	21,69	22,69	6,506	0,02727	0,001720	43,06

Fonte: Autor (2018)

Em média os CP produzidos sem aditivos atingiram um módulo de elasticidade de 34,32GPa.

Os resultados para a determinação do módulo de elasticidade dos CP produzidos com aditivo A se apresentam na Figura 25.

**Figura 25 – Módulo de elasticidade para peças com aditivo A**

Corpo de Prova	Ruptura Prevista	Área	Resistência Compressão	Resistência Efetiva	Tensão em 30% da Ruptura Prevista	Deformação em 30% da Ruptura Prevista	Deformação em 0,5MPa	Módulo de Elasticidade (GPa)
	(kN)	(mm <sup>2</sup> )	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	
CP 1	183,20	7810,06	23,46	23,27	7,04	0,022	0,001	31,4
CP 2	183,20	7924,82	23,12	23,38	6,94	0,021	0,001	33,0
CP 3	183,20	7849,27	23,34	24,41	7,00	0,029	0,001	24,0
Número CPs	3	3	3	3	3	3	3	3
Média	183,2	7861	23,30	23,68	6,991	0,02380	0,001313	29,45
Mediana	183,2	7849	23,34	23,38	7,002	0,02202	0,001280	31,36
Desv.Padrão	0,0000	58,33	0,1725	0,6281	0,05176	0,004198	0,0001648	4,795
Coef.Var.(%)	0,0000	0,7420	0,7404	2,652	0,7404	17,64	12,54	16,28
Mínimo	183,2	7810	23,12	23,27	6,935	0,02079	0,001168	23,99
Máximo	183,2	7925	23,46	24,41	7,037	0,02859	0,001492	32,99

Fonte: Autor, 2018

Em média os CP produzidos com aditivo A atingiram um módulo de elasticidade de 29,45GPa. Conforme a figura 25, todos CPS apresentaram resultados dentro do limite normativo.

Os resultados para a determinação do módulo de elasticidade dos CP produzidos com aditivo B se apresentam na Figura 26.

**Figura 26 – Módulo de elasticidade para peças com aditivo B**

Corpo de Prova	Ruptura Prevista	Área	Resistência Compressão	Resistência Efetiva	Tensão em 30% da Ruptura Prevista (MPa)	Deformação em 30% da Ruptura Prevista (%)	Deformação em 0,5MPa (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)
	(kN)	(mm <sup>2</sup> )	(MPa)	(MPa)				
CP 1	167,20	7825,73	21,37	22,63	6,41	0,021	0,001	29,8
CP 2	167,20	7921,67	21,11	23,59	6,33	0,020	0,001	31,3
CP 3	167,20	7874,41	21,23	24,02	6,37	0,017	0,001	36,4
Número CPs	3	3	3	3	3	3	3	3
Média	167,2	7874	21,24	23,41	6,371	0,01928	0,001101	32,54
Mediana	167,2	7874	21,23	23,59	6,370	0,01953	0,001094	31,35
Desv. Padrão	0,0000	47,97	0,1294	0,7118	0,03882	0,001960	0,0001758	3,468
Coef. Var. (%)	0,0000	0,6092	0,6093	3,040	0,6093	10,17	15,96	10,66
Mínimo	167,2	7826	21,11	22,63	6,332	0,01720	0,0009288	29,83
Máximo	167,2	7922	21,37	24,02	6,410	0,02109	0,001280	36,45

Fonte: Autor, 2018

Em média os CP produzidos com aditivo A atingiram um módulo de elasticidade de 32,54GPa. Conforme a Figura 26, todos os CP resultaram módulos de elasticidade dentro do limite aceitável pela NBR 6118.

## 7 CONCLUSÃO

Com base nas características observadas durante ensaio de slump test, comprovou-se que o aditivo impermeabilizante interfere na trabalhabilidade do concreto uma vez que, o concreto sem aditivo apresentou melhor trabalhabilidade que os concretos impermeáveis, o concreto com aditivo B apresentou pior trabalhabilidade em relação ao concreto com A.

Quanto ao índice de absorção, todos os blocos apresentaram índices dentro do aceitável pela norma, o CP produzido com aditivo A apresentou melhor absorção que os demais, já o CP com aditivo B apresentou um índice de absorção maior que o CP sem aditivo.

Quanto aos ensaios de resistência a compressão os CPs produzidos atingiram médias de resistência a compressão de 21,57 MPa para concreto sem aditivos, de 23,23 MPa para concreto com aditivo A e de 21,17 MPa para concreto com aditivo B.

Já os valores de módulo de elasticidade, os concretos produzidos sem e com aditivos apresentaram valores dentro limite mínimo aceitável pela NBR 6118, que é de 28 GPa. Os CPs produzidos sem adição aditivos apresentaram maiores valores do módulo de elasticidade, comparados aos CP com aditivos.

Para o caso em estudo foi possível concluir que ambos os aditivos interferiram nas características do concreto. Analisando os aditivos utilizados na pesquisa, o aditivo B apresentou-se mais prejudicial as características (trabalhabilidade, índice de absorção, resistência a compressão e módulo de elasticidade) do que o aditivo A. Além disso, na análise o índice de absorção, o concreto produzido sem aditivos apresentou melhor resultado do que o concreto produzido com aditivo B.

## REFERÊNCIAS

1. \_\_\_\_\_. **NBR 9935: Agregados - Terminologia.** Rio de Janeiro. 2011.
2. \_\_\_\_\_. **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro. 2011.
3. \_\_\_\_\_. **NBR 16072: Argamassa impermeável.** Rio de Janeiro. 2012.
4. \_\_\_\_\_. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio.** Rio de Janeiro. 2017.
5. \_\_\_\_\_. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.** Rio de Janeiro. 2014.
6. \_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregados para concreto – especificação.** Rio de Janeiro. 2009.
7. \_\_\_\_\_. **NBR 8522: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** Rio de Janeiro. 2017.
8. \_\_\_\_\_. **NBR 9575: impermeabilização: seleção e projeto.** Rio de Janeiro: 2010.
9. AKAMURA, J. **Impermeabilização de estruturas: o mercado dispõe de uma série de soluções para proteger as edificações contra os efeitos indesejados da água. Conheça as principais características desses sistemas e em que casos eles são indicados.** (2014). Disponível em: <http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/156/impermeabilizacao-de-estruturas-o-mercado-dispoe-de-uma-serie-de-315973-1.aspx>. Acesso em: 01 nov. 2018.
10. ALVES, R. **Resistência mecânica de concreto de cimento Portland: correlação de ensaio à compressão axial com esclerometria.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Univates. Lajeado. 2017.
11. ANTONELLI, G. R.; et al. **Levantamento das manifestações patológicas de lajes impermeabilizadas em edifícios habitados de Goiânia-Go.** IX Encontro Nacional do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu. 2002.
12. ANTUNES, B. **Construção estanque.** Construção Mercado. São Paulo. n. 39. P. 183-188. 2004.
13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Boletim técnico.** Disponível em: [http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106\\_2003.pdf](http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf). Acesso em: 15 set. 2018.

14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto - Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2016.
15. BALBO, J. T. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Oficina de textos. 2009.
16. BAUES, E.; PEREIRA, C. H. de A. F.; LEAL, A. C. F. de S. **Valores do módulo de elasticidade de concretos comerciais da região do distrito federal**. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora. 2012.
17. BRITO, A. D. **Parâmetros para qualidade dos blocos de concreto na produção**. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Faculdade Pitágoras. Londrina 2017.
18. CASALI, J. M.; GAVA, G. P.; PRUDÊNCIO JR, L. R. **Avaliação do desempenho de aditivos hidrofugantes e impermeabilizantes empregados em argamassas de assentamento para alvenaria estrutural**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis. 2006.
19. CERRALIO, B. S. **Métodos de ensaio para a determinação das propriedades mecânicas do concreto**. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2012.
20. CICHINELLI, C. **ESTANQUEIDADE GARANTIDA. (2012). DISPONÍVEL EM:** <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/189/artigo288006-2.aspx>.  
**ACESSO EM: 02 DEZ. 2018.**
21. FREITAS JR, J. de A.; COSTA, M. do R. M. da.; ARTIGAS, L. V. **Propriedades do concreto endurecido**. Notas de aula (Material de construção). Universidade Federal do Paraná. 2018.
22. FREITAS JR, J. de. A. **Impermeabilização**. Notas de aula Construção Civil II. Universidade do Paraná. 2016.
23. FREITAS, C. **Estudo de desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas**. Monografia (Especialista em Engenharia e Materiais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2007.
24. ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2v. 1712 p.

25. LOPES, B. B. **Avaliação da aderência em sistemas de revestimento de argamassa sobre superfícies de concreto.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2013.
26. MAPA DA OBRA. **Impermeabilização rígida e flexível: diferenças.** (2017). Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/impermeabilizacao-rigida-e-flexivel-diferencas-e-aplicacoes/>. Acesso em: 01 dez. 2018.
27. MEHTA, P. Kumar.; MONTEIRO, Paulo. J. M. **Concreto.** Microestrutura, propriedades e materiais. 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 751 p.
28. MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: 3ª ed. IBRACON, 2008.
29. MELO, A.C. NETO; HELENE, P. **Módulo de elasticidade: dosagem e avaliação de modelos de previsão do módulo de elasticidade de concretos.** 44º Congresso Brasileiro: São Paulo: Ibracon, 2002.
30. NAKAMURA, J. **Rígida e Estanque.** Técnica, São Paulo, n. 115, out. 2006.
31. NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** Editora Bookiman. 5ª Edição. 2015.
32. PÉRTILE, J. **Propriedades do concreto.** (2016). Disponível em: <https://docplayer.com.br/18408743-Propriedades-do-concreto-jaqueline-pertile.html>. Acesso em: 01 nov. 2018.
33. Pinheiro, L. M.; Muzardo, C. D.; Santos, S. P. **Estruturas de concreto.** Notas de aula (cap. 2). Unicamp, 2004.
34. PORTAL DO CONCRETO. **Concreto com módulo de elasticidade definido.** (2017). Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/modulos.html>. Acesso em: 02 dez. 2018.
35. PORTAL DO CONCRETO. **Concreto com módulo de elasticidade definido.** (2017). Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/modulos.html>. Acesso em: 02 dez. 2018.
36. PORTAL DO CONCRETO. **Concreto convencional.** (2017). Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/convencionais.html>. Acesso em: 01 dez. 2018.

37. RIGHI, G. V. **Estudo dos sistemas de impermeabilização: patologias, prevenções e correções – análises de caso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2009.
38. RODRIGUES, J. P. P.; MENDES, M. M. **Patologias ocorridas por infiltrações relacionadas com a impermeabilização e métodos de correções.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão. 2017.
39. SABBATINI, F., et al. **Impermeabilização – sistemas e execução.** Universidade de São Paulo. São Paulo. 2006.
40. SALGADO, J. C. P. **Técnicas e práticas construtivas para edificação.** 2. ed. rev. São Paulo: Érica, 2009.
41. SAYEGH, S. **Cimentos e polímeros contra a umidade.** Técnica. São Paulo. n. 56. p. 42-44. 2011.
42. SILVA, A. et al. **Utilização de argamassa polimérica no assentamento de tijolos ou blocos.** Associação Educacional Dom Bosco. Resende. 2013.
43. SILVA, G. **Impermeabilizantes rígidos ou flexíveis: saiba especificar. (2017).** Disponível em: [https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/impermeabilizantes-rigidos-ou-flexiveis-saiba-especificar\\_9614\\_0\\_1](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/impermeabilizantes-rigidos-ou-flexiveis-saiba-especificar_9614_0_1). Acesso em: 02 dez. 2018.
44. SOUZA, J. C. S.; MELHADI, S. B. **Diretrizes para uma metodologia de projeto de impermeabilização de pisos de pavimento tipo de edifício.** In: Congresso Latino-Americano Tecnologia e Gestão na produção de Edifícios: Solução para o Terceiro Milênio. São Paulo. 1998.
45. VEDACIT. **Manual técnico: impermeabilização de estruturas.** 6. ed. São Paulo, 2010. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-civil-ii/1/manual-sobre-impermeabilizacao>. Acesso em: 15 nov. 2018.
46. VIEIRA, E. **Impermeabilização com argamassa aditivada.** (2005). Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/99/artigo285661-1.aspx>. Acesso em: 02 dez. 2018.