

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANGÉLICA MARIA BATTISTUZ**

**UMA VISÃO GERAL SOBRE ARGAMASSA AUTONIVELANTE E A  
POTENCIALIDADE DA ADIÇÃO DE FIBRA POLIMÉRICA RECICLADA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2021**

**ANGÉLICA MARIA BATTISTUZ**

**UMA VISÃO GERAL SOBRE ARGAMASSA AUTONIVELANTE E A  
POTENCIALIDADE DA ADIÇÃO DE FIBRA POLIMÉRICA RECICLADA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de TCC II, do curso de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro civil.

Orientador: Prof. Dr. Mário Arlindo Paz Irrigaray

PATO BRANCO

2021

## TERMO DE APROVAÇÃO

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

#### UMA VISÃO GERAL SOBRE ARGAMASSA AUTONIVELANTE E A POTENCIALIDADE DA ADIÇÃO DE FIBRAS POLIMÉRICAS RECICLADAS

Por

ANGELICA MARIA BATTISTUZ

Monografia apresentada 14, de JULHO de 2021, às 10h00min, no Campus PATO BRANCO da UTFPR, como requisito parcial, para conclusão do Curso de ENGENHARIA CIVIL da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| Profª. Drª. PAÓLA REGINA DALCANAL         | Membro                         |
| Prof. Msc. JOSÉ MIGUEL ETCHALUS           | Membro                         |
| Prof. Dr. MÁRIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY     | Orientador                     |
| PROFª. DRª. ELIZÂNGELA MARCELO SILIPRANDI | Professor(a) responsável TCCII |



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **MARIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em (at) 19/07/2021, às 15:54, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **ELIZANGELA MARCELO SILIPRANDI, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em (at) 20/07/2021, às 08:56, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **JOSE MIGUEL ETCHALUS, CHEFE DE DEPARTAMENTO ACADÊMICO**, em (at) 20/07/2021, às 13:35, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **PAOLA REGINA DALCANAL, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em (at) 20/07/2021, às 17:01, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site (The authenticity of this document can be checked on the website) [https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador (informing the verification code) **2134050** e o código CRC (and the CRC code) **A3D5C43E**.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer primeiramente a Deus, por ter me dado força, perseverança, persistência e coragem durante toda a jornada dentro da graduação.

À minha família, aos meus pais, Arlindo e Mara, e às minhas irmãs, Ediane e Tatiane, que sempre me apoiaram, me incentivaram, rezaram tanto por mim e não mediram esforços para me dar todo o suporte necessário para que eu chegasse até aqui.

Ao meu orientador, professor Mário, pela paciência na orientação e pelos incentivos que tornaram possível a realização deste trabalho.

A todos os professores do curso, por compartilharem conhecimento e informação que tornaram a graduação o período mais importante da minha vida.

Aos amigos e colegas, pela parceria e pelo apoio constante.

E a todos que, de alguma forma, me ajudaram no decorrer da graduação, agradeço por terem acreditado no meu potencial.

## EPÍGRAFE

A única jornada impossível é aquela que você nunca começa.

Anthony Robbins

## RESUMO

BATTISTUZ, Angélica Maria. **Uma visão geral sobre argamassa autonivelante e a potencialidade da adição de fibra polimérica reciclada**, 2021. 61 págs. Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Pato Branco, 2021.

A argamassa autonivelante, também chamada de argamassa autoadensável, é uma alternativa que apresenta grande praticidade para a execução de contrapisos, pois o procedimento de adensamento, seja por vibração ou compactação manual, é dispensável. Seu surgimento contribuiu para a modernização dos sistemas construtivos, aumentando a produtividade e otimizando o tempo nos canteiros de obras, pois trata-se de um material de aplicação fácil e rápida que está cada dia mais presente no setor da construção civil. A elevada fluidez é a principal característica que torna a argamassa autonivelante um material especial, conferindo-lhe a capacidade de preencher moldes e diferentes formatos por meio de seu peso próprio, devido ao seu alto poder de escoamento, de maneira que não necessite de qualquer tipo de energia de compactação, além de auxiliar na redução de possíveis imperfeições em pisos. Entretanto, o surgimento de relatos de manifestações patológicas, como, por exemplo, a fissuração, influenciou o início de inúmeras pesquisas voltadas para a utilização de fibras provenientes da reciclagem de garrafas PET (politereftalato de etileno). Além disso, as fibras de garrafa PET contribuem para a redução dos impactos ambientais causados pela construção civil ao meio ambiente. O presente trabalho tem como objetivo apresentar e analisar pesquisas sobre a utilização de fibras de garrafa PET em argamassas e levantar as potencialidades da adição de fibras de garrafa PET em argamassa autonivelante.

**Palavras-chave:** Argamassa autonivelante, Fibra polimérica reciclada, Fibra de garrafa PET.

## ABSTRACT

BATTISTUZ, Angélica Maria. **An overview of self-levelling mortar and the potential of adding recycled polymeric fiber**, 2021. 61 pages. Civil Engineering Undergraduate Thesis (Bachelor Degree) – Academic Department of Civil Construction - Federal Technological University of Paraná - UTFPR, Pato Branco, 2021.

The self-levelling mortar, also called self-compacting mortar, is an alternative that is very practical for the execution of subfloors, as the consolidation procedure, whether by vibration or manual compaction, is unnecessary. Its emergence contributed to the modernization of construction systems, increasing productivity and optimizing time at construction sites, as it is a material with easy and quick application that is increasingly present in the civil construction sector. The high fluidity is the main characteristic that makes the self-levelling mortar a special material, giving it the ability to fill molds and different shapes through its own weight, due to its high flow power, so that it does not need any type of compaction energy, in addition to helping to reduce possible imperfections in floors. However, the emergence of reports of pathological manifestations, such as, for example, cracking, influenced the beginning of numerous researches aimed at the use of fibers from the recycling of PET bottles (polyethylene terephthalate) as an addition to self-levelling mortars. In addition, PET bottle fibers contribute to reducing the environmental impacts caused by civil construction to the environment. This work aims to present and analyze research on the use of PET bottle fibers in mortars and raise the potential of adding PET bottle fibers to self-levelling mortar.

**Keywords:** Self-leveling mortar, Recycled polymeric fiber, PET bottle fiber.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: (a) Aplicação da argamassa tradicional para contrapiso; (b) Aplicação da argamassa autonivelante para contrapiso .....  | 16 |
| Figura 2: Área de estacionamento antes e depois da aplicação do contrapiso autonivelante industrial.....  | 22 |
| Figura 3: Pavimento antes e depois da aplicação de contrapiso autonivelante, sobre manta acústica .....   | 23 |
| Figura 4: (a) Utensílios utilizados para a limpeza do substrato; (b) Substrato sendo varrido com vassourão .....  | 24 |
| Figura 5: Isolamento com bloco cerâmico em área com desnível .....  | 24 |
| Figura 6: Tratamento superficial do substrato para receber a argamassa autonivelante: (a) Máquina fresadora; (b) Aparência da laje após fresamento .....                | 25 |
| Figura 7: (a) Aplicação do primer; (b) Aparência da laje após aplicação do primer .....   | 26 |
| Figura 8: Umedecimento superficial do substrato.....  | 26 |
| Figura 9: Equipamento indicado pela norma C1708 (ASTM, 2016) para a realização do ensaio de escoamento inicial .....  | 28 |
| Figura 10: Equipamentos indicados pela EFNARC (2002) para os ensaios de consistência e tempo de fluxo, respectivamente: (a) Mini Slump-test e (b) Mini Funil-V (b)..... | 29 |
| Figura 11: Ensaio de “healing time”: (a) argamassa no estado fresco; (b) argamassa no estado endurecido .....   | 30 |
| Figura 12: Aparato de Vicat .....   | 30 |
| Figura 13: Molde utilizado para realização do ensaio de retração linear .....   | 31 |
| Figura 14: Representação do equipamento para os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão .....  | 33 |
| Figura 15: Metodologia de extração dos corpos de prova para o ensaio de resistência de aderência à tração.....  | 34 |
| Figura 16: Equipamento utilizado para o ensaio de resistência de aderência à tração .....   | 35 |
| Figura 17: Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração .....   | 35 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 18: Exsudação da argamassa autonivelante no estado fresco e no estado endurecido.....  | 41 |
| Figura 19: Manchas causadas pelo excesso de água de amassamento.....                          | 41 |
| Figura 20: Desplacamento de contrapiso de argamassa autonivelante .....                       | 42 |
| Figura 21: Fissuras de retração plástica em contrapiso de argamassa autonivelante.....        | 43 |
| Figura 22: Bolhas superficiais em contrapiso autonivelante .....                              | 43 |
| Figura 23: Mecanismo de reforço da fibra atuando como ponte de transferência de tensões ..... | 44 |
| Figura 24: Fibras de tereftalato de polietileno (PET) .....                                   | 48 |
| Figura 25: Partículas de tereftalato de polietileno (PET) .....                               | 50 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Pastas autonivelantes e ensaios aplicáveis para cada tipo de pasta<br>.....                      | 37 |
| Tabela 2: Requisitos de desempenho para pisos cimentícios autonivelantes<br>modificados com polímeros..... | 39 |

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>12</b> |
| 1.1      | OBJETIVOS .....  | 14        |
| 1.1.1    | Objetivo geral .....   | 14        |
| 1.1.2    | Objetivos específicos .....  | 14        |
| 1.2      | JUSTIFICATIVA .....  | 14        |
| <b>2</b> | <b>ARGAMASSA AUTONIVELANTE – ESTADO DA ARTE</b> .....  | <b>15</b> |
| 2.1      | CONSIDERAÇÕES E DEFINIÇÕES .....   | 15        |
| 2.2      | ORIGEM .....   | 16        |
| 2.3      | EVOLUÇÃO.....  | 18        |
| 2.4      | VANTAGENS .....  | 18        |
| 2.5      | DESVANTAGENS .....   | 20        |
| 2.6      | PRINCIPAIS APLICAÇÕES .....  | 21        |
| 2.7      | PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO .....  | 23        |
| 2.8      | PRINCIPAIS ENSAIOS UTILIZADOS PARA ANALISAR O DESEMPENHO<br>DAS ARGAMASSAS AUTONIVELANTES..... | 27        |
| 2.8.1    | Ensaio no estado fresco .....  | 27        |
| 2.8.2    | Ensaio no estado endurecido .....  | 31        |
| 2.9      | PRESCRIÇÕES NORMATIVAS.....  | 36        |
| 2.10     | MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS .....  | 40        |
| 2.11     | APLICAÇÃO DE FIBRAS EM ARGAMASSAS .....  | 43        |
| 2.12     | FIBRAS POLIMÉRICAS RECICLADAS.....   | 45        |
| <b>3</b> | <b>CONCLUSÃO</b> .....   | <b>52</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....  | <b>54</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Martins (2009), a argamassa autonivelante destacou-se por ser um material de elevada fluidez e por permitir a obtenção de um produto final – como, por exemplo, piso ou contrapiso – mais homogêneo e até menos espesso. A sua aplicação é realizada por meio de um processo rápido e que permite a diminuição de mão de obra, pois ela pode ser transportada até a obra por caminhão-betoneira e lançada sobre a superfície com o auxílio de uma mangueira. O material tem a capacidade de se espalhar em fôrmas, moldes ou em lonas, sem que haja necessidade de uma energia de espalhamento, o que torna o processo de execução de piso e contrapiso simples e eficaz.

Entretanto, Souza (2013), baseando-se em aplicações em campo, concluiu que a cura inadequada e a perda de água da mistura, em decorrência do elevado calor de hidratação do cimento, podem provocar a retração por secagem no material, e conseqüentemente, o aparecimento de fissuras após decorridas as primeiras idades. Silva (2016) aponta que a retração pode ocorrer em consequência do processo de evaporação da água que compõe a estrutura cimentícia, sendo este um efeito das tensões capilares que causam a perda de volume e provocam a fissuração.

Uma das alternativas possíveis para solucionar esse problema é a utilização de fibras poliméricas, as quais podem contribuir para a redução dos efeitos da retração plástica. Assim como, também podem aumentar a durabilidade e a resistência superficial, evitando o esfarelamento e o deslocamento do material em seu estado endurecido.

Durante as últimas três décadas, materiais plásticos reciclados têm sido amplamente utilizados como reforço para concretos e argamassas. Esses resíduos plásticos são usados como fibras em forma de adição ou em substituição aos agregados e, por isso, muitos pesquisadores se interessaram pela sua reutilização, tendo em vista seus benefícios técnicos, econômicos e ambientais (BOINY *et al.*, 2016).

O desenvolvimento das potencialidades dos materiais alternativos constitui um dos pilares básicos para a consolidação da tecnologia moderna. Esse posicionamento está relacionado a uma exigência da sociedade que, mais

recentemente, mostra-se preocupada com a sustentabilidade dos processos de produção (COSTA FILHO, 2005).

O crescimento do setor de construção civil influencia significativamente no meio ambiente, refletindo uma situação paradoxal por meio de obras civis e da melhoria das condições urbanísticas de um local, ao mesmo tempo em que aumenta a demanda por matérias-primas naturais, também, por consequência, ocasiona a geração de resíduos, causando impactos ambientais negativos (PASCHOALIN FILHO *et al.*, 2011).

Tendo em vista o impacto gerado pela construção civil no meio ambiente, como, por exemplo, o consumo dos recursos naturais para a produção de materiais, alteração de solo e vegetação, até mesmo o aumento no gasto de energia elétrica, fez-se necessário encontrar soluções que visem diminuir tais impactos prejudiciais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, s.d.). Impulsionados pela adoção de práticas sustentáveis na construção civil, diversos estudos tem sido desenvolvidos nas áreas de tecnologia de construções, processos construtivos e materiais.

Esses estudos são direcionados à procura por materiais que diminuam os prejuízos causados ao meio ambiente, ou seja, por materiais que tragam benefícios aos materiais de construção de forma sustentável e, ainda, compensem os impactos gerados. Segundo Mehta e Monteiro (2014), na construção civil a escolha dos recursos a serem utilizados deve obedecer a quatro regras: engenharia, economia, energia e ecologia.

Em meio a esses estudos, iniciaram-se pesquisas relacionadas ao emprego de fibras poliméricas como adição em concretos e argamassas. As fibras empregadas são provenientes da reciclagem de garrafa PET - fibras de politereftalato de etileno.

Em uma pesquisa com abordagem exploratória, o objetivo principal é desenvolver familiaridade com o tema de forma a entender o funcionamento no seu âmbito. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo apresentar e analisar pesquisas sobre a utilização de fibras de garrafa PET em argamassas e levantar as potencialidades da adição de fibras de garrafa PET em argamassa autonivelante. Para isso, foram analisados estudos referindo-se especificamente à utilização de fibras de garrafa PET em argamassas e qual a influência no seu desempenho técnico. Assim como, também foram analisados estudos acerca da argamassa autonivelante, expondo suas principais características, normativas e manifestações patológicas.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Apresentar a argamassa autonivelante, suas principais características e normativas e o potencial de utilização de fibras de garrafa PET em argamassas.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Apresentar as principais características e manifestações patológicas das argamassas autonivelantes;
- Apresentar quais os ensaios utilizados para avaliar o desempenho técnico das argamassas autonivelantes;
- Analisar estudos realizados sobre a utilização de fibras de garrafa PET em argamassas;
- Analisar a potencialidade da utilização de fibra polimérica reciclada em argamassas autonivelantes.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Pelo fato de a argamassa autonivelante possuir um alto índice de fluidez e grande capacidade de se adensar sem que haja segregação e/ou exsudação, torna-se desnecessária a utilização de forças externas, ou seja, o adensamento é adquirido pela ação do seu peso próprio.

Pizzani *et al.* (2012) afirmam que a pesquisa bibliográfica é um trabalho investigativo minucioso em busca do conhecimento e base fundamental para o todo de uma pesquisa. Tendo em vista que há inúmeros estudos realizados acerca deste tema, a proposta deste trabalho justifica-se, primeiramente, por elevá-lo ao seu grau máximo de importância; como também justifica-se pela intenção de torná-lo um objeto facilitador para trabalhos futuros, visando unir os resultados e as conclusões das demais pesquisas, assim como, explanar sobre sua origem, evolução, as vantagens e desvantagens, as principais aplicações, entre outros.

## 2 ARGAMASSA AUTONIVELANTE – ESTADO DA ARTE

### 2.1 CONSIDERAÇÕES E DEFINIÇÕES

A NBR 13281 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos (ABNT, 2005) define as argamassas como uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosadas em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

A argamassa autonivelante, ou argamassa autoadensável, é um material especial, pois possui a capacidade de preencher moldes e formatos por meio de seu peso próprio, ou seja, possui alto poder de escoamento, sem a necessidade de qualquer tipo de energia de compactação, como mostrado na Figura 1(b). De acordo com Martins *apud* Ortega (2009), sua utilização auxilia na diminuição de possíveis imperfeições em pisos, além de propiciar maior rapidez durante a execução.

Em países asiáticos, tem sido muito utilizada por conta do aumento da demanda (YANG *et al.*, 2016). No Brasil, o estudo sobre argamassas autonivelantes começou com Nakakura e Bucher (1997), os quais introduziram conceitos sobre esse material. Apesar de ser uma tecnologia inserida recentemente em nosso país, devido às vantagens apresentadas por ela, houve um grande interesse do mercado da construção civil europeia a partir da década de 1980 (MARTINS, 2009).

De acordo com Martins (2009), a proposta da argamassa autonivelante é permitir uma moldagem adequada, isenta de defeitos oriundos da falha de aplicação ou de técnica inadequada de moldagem, sem que haja grande exigência na qualificação do operário.

Com relação aos materiais, a argamassa autonivelante não requer nenhum tipo de material especial; porém, deve haver uma determinação criteriosa dos materiais e da dosagem, incluindo os aditivos. Os materiais devem possuir características específicas e teores na mistura que proporcionem a fluidez adequada sem haver segregação, visto que sua principal propriedade – autonivelamento – deve ser alcançada em conjunto com outras, conferindo à argamassa boas propriedades mecânicas no estado endurecido. Já os equipamentos e procedimentos de dosagens

ainda não foram normatizados no Brasil. Por esse motivo, exigem estudos mais detalhados.

A Figura 1 apresenta imagens de argamassa de regularização de piso, 1(a) tipo "farofa" e 1(b) argamassa autonivelante.

Figura 1: (a) Aplicação da argamassa tradicional para contrapiso; (b) Aplicação da argamassa autonivelante para contrapiso



(a)

Fonte: Martins (2012).



(b)

Fonte: Gugelmin (2013) *apud* Chaves (2019).

## 2.2 ORIGEM

De acordo com Anderberg (2007), o primeiro composto de piso autonivelante, chamado de "self-levelling flooring compound" (SLC), foi desenvolvido por Nils Johansson, na Finlândia, e lançado no mercado em 1977. Utilizou-se o cimento Portland como aglomerante e aditivos fluidificantes à base de caseína para garantir a sua alta fluidez. O objetivo era criar um produto que fosse de fácil e rápida aplicação para nivelar pisos de concreto antes de seu acabamento. Ou seja, não havia mais a necessidade de regularizar a superfície do piso, que geralmente é um trabalho cansativo e, assim, tornou-se possível produzir superfícies lisas, utilizando a argamassa autonivelante à base de cimento, com uma capacidade de bombeamento de até 400m<sup>2</sup>/h (Alexanderson *apud* Anderberg, 2007). O produto rapidamente tornou-



se popular no mercado nórdico e, no início dos anos 80, foi utilizado em cerca de 90% dos pisos de concreto produzidos na Suécia (Ericsson *apud* Anderberg, 2007).

No entanto, após algum tempo, começaram a surgir reclamações. As pessoas que moravam ou trabalhavam em prédios nos quais haviam lajes de concreto, alegavam que não se sentiam bem enquanto permaneciam neles. Inúmeras investigações foram realizadas na Suécia e queixas desse tipo foram recebidas em uma pequena porcentagem dos edifícios (Ericsson *apud* Anderberg, 2007). Porém, a queixa mais frequente foi a descoloração do parquet e dos pisos de cortiça, causada pela amônia do aditivo fluidificante à base de caseína.

Havia a suspeita de que a caseína também fosse a responsável pelo mal estar relatado pelas pessoas que frequentavam os prédios, embora isso nunca tenha sido comprovado (Samuelsson *apud* Anderberg, 2007). A suposição baseou-se no fato de que, quando a caseína é degradada, são gerados materiais voláteis associados a maus odores, como amônia e aminas. Também houve a suspeita de que a ventilação fosse inadequada e não circulasse de forma efetiva as emissões resultantes da degradação dos plastificantes contidos nos pisos de vinil.

Aditivos à base de caseína foram utilizados em materiais de construção por décadas. Entretanto, verificou-se que sob condições alcalinas, a umidade é uma das principais fontes causadoras dessa degradação, tanto da caseína quanto dos plastificantes, dado que foram encontrados altos níveis de umidade nas lajes de concreto. A caseína é uma proteína obtida por meio da precipitação do leite – por coalho, por exemplo – mas proteínas semelhantes também podem ser obtidas de espécies animais ou vegetais. Alguns dos pisos autonivelantes que continham caseína podiam emitir amônia mesmo com uma umidade relativa inferior a 85% (Ericsson *apud* Anderberg, 2007).

Devido às suspeitas acerca da caseína, os fabricantes dos pisos autonivelantes desenvolveram novas formulações sem caseína, substituindo-a por aditivos fluidificantes sintéticos. Os ligantes também foram alterados, substituídos por diferentes tipos de cimentos e sulfatos de cálcio, pois estes são aglutinantes com pH mais baixo, deixando o produto final menos agressivo para outros materiais (ANDERBERG, 2007).

## 2.3 EVOLUÇÃO

Segundo Martins (2009), apesar dos primeiros estudos sobre argamassa autonivelante propriamente dita datarem da década de 80, iniciado na Espanha, foi somente ao longo da última década que pesquisadores e empresas aprofundaram os estudos acerca das propriedades no estado endurecido e, principalmente, no estado fresco, de argamassas e compostos autonivelantes.

Em 2002, o Reino Unido publicou as normas de desempenho para os produtos de revestimento de pisos, as quais incluíam as argamassas autonivelantes, adotadas como padrão por toda a Europa. As normas estabelecem requisitos e desempenhos mínimos a serem atendidos para os produtos autonivelantes e os métodos pelos quais as características devem ser determinadas, conta ainda com um conjunto de método de testes para os ensaios com os produtos (FERFA, 2005).

Já as normas Norte Americanas, datadas do ano de 2011, apresentam especificações e testes de padronização para as argamassas autonivelantes. As pesquisas americanas disponíveis anteriores a 2011, são voltadas principalmente para as características e propriedades reológicas das argamassas autonivelantes no estado fresco, baseadas nas normas europeias (RUBIN, 2015).

No Brasil, as argamassas autonivelantes, também chamadas de autoadensáveis, foram introduzidas a partir da década de 90. A sua grande facilidade de aplicação faz crescer cada vez mais o interesse de sua utilização no mercado da construção civil, aumentando também os estudos acerca de seu comportamento (MARTINS, 2009).

## 2.4 VANTAGENS

A argamassa autonivelante é um material versátil, rápido de ser aplicado e que pode ser utilizado em diversos ambientes (NAKAKURA & BUCHER, 1997). As suas principais vantagens são a rapidez na execução, liberação da superfície para tráfego do tipo leve e maior controle de qualidade, assim como, maior resistência à compressão e ao arrancamento e melhor acabamento, quando comparada com a argamassa convencional. Além disso, em sua composição podem ser utilizados

diversos resíduos provenientes de outros processos, em forma de adições que podem substituir parte do cimento Portland ou propiciar o melhoramento do produto final, influenciando nas propriedades reológicas e, conseqüentemente, na redução do custo, pois contribui para a diminuição do desperdício de material e economia com mão de obra, proporcionando vantagens ambientais e econômicas (ALRIFAI *et al.* *apud* CHAVES, 2019).

Pelo fato de possuir consistência fluida e grande capacidade de se adensar pela ação do próprio peso, permite um preenchimento mais uniforme e homogêneo onde for aplicada, proporcionando um melhor acabamento ao piso e/ou contrapiso, sem que haja defeitos causados por falhas de execução (MARTINS, 2009). Além do mais, em comparação com as argamassas convencionais, a sua porosidade normalmente é mais baixa, por conta da sua composição e granulometria, resultando em um material resistente aos agentes de deterioração e, também, de fácil limpeza, se utilizado como acabamento (MARTINS, 2012).

De acordo com Branco e Brito (2014), a utilização do contrapiso autonivelante promove uma redução de 46% no tempo total de aplicação do produto, quando comparado com o sistema convencional de argamassa dosada *in loco*. Conforme Egle (2010), para a aplicação em uma laje de 600m<sup>2</sup> de um contrapiso dosado *in loco*, do tipo farofa, seria preciso de 4 a 5 dias para execução. Em contrapartida, com a aplicação da argamassa autonivelante, esse tempo seria reduzido para não mais do que 4 a 5 horas. Isto é, uma produtividade média de 100 m<sup>2</sup>/h para uma equipe de 5 pessoas. Além disso, outra vantagem é a diminuição do número de trabalhadores necessários para a produção e aplicação do produto, visto que dispensa o processo de desempenho, o qual é necessário no método convencional de contrapiso (GOMES, 2013).

Outra vantagem é proporcionar um melhor controle de qualidade dos materiais e uma logística de obra mais eficiente, pois em virtude da utilização da bomba, não necessita de equipamentos convencionais horizontais e verticais para o transporte do material (SILVA, 2013). Nesse sentido, torna a construção mais limpa e organizada, liberando espaço no pavimento para outros materiais necessários à obra (EGLE, 2010) e promovendo a racionalização e otimização nos canteiros de obras, com a redução de atividades paralelas, como transporte, necessidade de grandes áreas para estoque e inspeção do material (GOMES, 2013).

A argamassa autonivelante também possibilita a redução da espessura da camada de contrapiso e, por consequência, reduz a quantidade de argamassa necessária para a execução, além de proporcionar um ganho final no pé-direito após sua execução (EGLE, 2010). Além disso, também reduz gastos por possíveis perdas ou sobras de material, gerando economia no consumo de matérias-primas e nos gastos com a estrutura da edificação, visto que minimiza o peso final do sistema de piso.

As argamassas autonivelantes podem ser utilizadas em diversos ambientes e aplicadas sobre mantas acústicas, térmicas ou outros tipos de substrato. Segundo Egle (2010), também serve de base para o assentamento de inúmeros revestimentos, como piso cerâmico, carpete, tábua corrida, mármore e porcelanato. Podem ser aplicadas sobre revestimentos antigos em obras de reforma ou reabilitação, onde deseja-se aplicar novo tipo de revestimento. Nessa situação não há a necessidade de retirar a base antiga, porém, deve-se selecionar o produto com cuidado, pois pode demandar a aplicação de "primers" específicos para haver boa aderência entre os materiais (MARTINS, 2012). Além disso, de acordo com Martins (2012), a argamassa autonivelante também pode ser utilizada como camada de acabamento, podendo receber adições de resinas e corantes em sua formulação para realçar o seu aspecto estético e decorativo. Assim como, há a opção realizar um processo de lixamento e concluir com pintura (CICHINELLI, 2013).

No que se refere ao seu desempenho mecânico, Rubin (2015) verificou que as argamassas autonivelantes possibilitam a obtenção de propriedades mecânicas mais satisfatórias em comparação com as argamassas de contrapiso do tipo "farofa" com traço 1:6, especificadas pela NBR 13753 (ABNT, 1996).

## 2.5 DESVANTAGENS

Segundo Branco e Brito (2014), dentre as desvantagens, pode-se destacar a escassez de empresas que possuem domínio e conhecimento no que se refere à produção e aplicação da argamassa autonivelante. Além disso, há certa dificuldade em encontrar aplicadores qualificados para a execução do serviço, tendo em vista a máxima produtividade potencial do produto, tornando-se necessário que as empresas

fabricantes ofereçam um treinamento para qualificação da mão-de-obra de seus operários (SILVA, 2013).

Tendo em vista a sua alta fluidez, não é indicada a aplicação do produto em locais com declividade ou onde há a necessidade de fazer caimentos, como banheiros e cozinhas. Porém, quando houver a execução de desníveis, faz-se necessário a formação de barreiras físicas, de forma que seja evitado o escoamento da argamassa e possibilite a realização de seu acabamento (SOUZA, 2013).

Ainda, de acordo com Branco e Brito (2014), pode-se citar também como desvantagem o extremo cuidado no que se refere à produção da argamassa autonivelante, seja ela feita em obra ou em central. Por exemplo, a quantidade de água indicada para a mistura deve ser seguida rigorosamente, pois nos casos em que há excesso de água, pode haver a segregação da mistura. Do mesmo modo, deve haver muita atenção quanto à dosagem do aditivo, pois caso seja feita de maneira errônea, pode provocar o entupimento dos mangotes durante o processo de bombeamento caso a mistura não esteja com a fluidez adequada, demandando maior tempo para a cura e o enrijecimento da argamassa, o que impossibilitaria que o local fosse liberado rapidamente.

Também é importante salientar a falta de padronização dos equipamentos para sua aplicação e a falta de especificações técnicas no que se refere ao uso e à produção dessa argamassa, pois, dessa maneira, surgem inúmeras dúvidas quanto ao comportamento do material fazendo com que a utilização do material na construção civil brasileira seja desmotivado (RUBIN, 2015). Ou seja, não há recomendações em relação às espessuras mínimas e/ou máximas para evitar problemas de retração e/ou deslocamento; não há recomendações quanto ao prazo mínimo de cura, nem ao tipo de cura mais apropriado, assim como, não há recomendações quanto aos adesivos que podem ser utilizados para melhorar a aderência ao substrato ou em relação ao tipo e à quantidade mínima ou máxima de fibras que podem ser aplicadas.

## 2.6 PRINCIPAIS APLICAÇÕES

No que se refere à utilização da argamassa autonivelante, mesmo não sendo normatizada no Brasil e não havendo características e propriedades especificadas

para cada uso, encontram-se no mercado dois tipos de aplicação para esse produto.

São elas:

- a) Argamassas autonivelantes industriais: são indicadas para aplicações industriais, garagens, estacionamentos, pátios e pisos industriais submetidos a tráfego moderado (Figura 2). Pinturas e/ou revestimentos são opcionais (depende do fabricante) ou podem ser usadas com a superfície final do piso. Geralmente, são utilizadas para acabamento do piso, pois sua secagem é rápida e apresentam espessuras mais finas, variando de 5 a 20 mm (LESSA e COUTINHO, 2013).

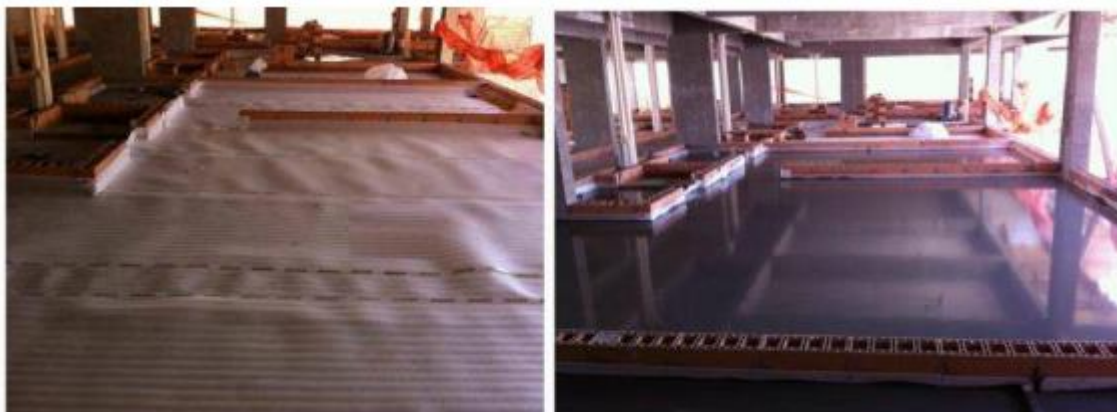
Figura 2: Área de estacionamento antes e depois da aplicação do contrapiso autonivelante industrial



Fonte: Lessa e Coutinho (2013).

- b) Argamassas autonivelantes residenciais/comerciais: são indicadas para aplicações em áreas internas, residenciais e comerciais (Figura 3). Requerem acabamento, pois são utilizadas usualmente para nivelamento, não são apropriadas para receber tráfego intenso. Podem ser aplicadas sobre pisos flutuantes, embutindo instalações, sobre mantas acústicas e/ou térmicas. Possuem espessuras variando entre 20 a 60 mm (LESSA e COUTINHO, 2013).

Figura 3: Pavimento antes e depois da aplicação de contrapiso autonivelante, sobre manta acústica



Fonte: Houang (2013).

## 2.7 PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO

Segundo Melo (2015), o primeiro passo para a preparação do substrato ao qual lança-se a argamassa autonivelante é a limpeza prévia do mesmo, de modo que seja removida sujeiras, resíduos, óleos, partículas soltas ou material que possa causar a má aderência da argamassa ao substrato. Normalmente, para a limpeza do substrato, utilizam-se talhadeiras (também chamadas de ponteiras) para a remoção de partículas finas oriundas do processo de concretagem, argamassa de assentamento, gesso ou qualquer material que possa impedir a aderência da argamassa autonivelante ao substrato e, posteriormente, realiza-se a varredura com o auxílio de um vassourão (Figura 4).

Figura 4: (a) Utensílios utilizados para a limpeza do substrato; (b) Substrato sendo varrido com vassourão



(a)

(b)

Fonte: Melo (2015).

Melo (2015) indica que em áreas com desníveis, o contrapiso seja feito com argamassa convencional, pois a alta fluidez da argamassa autonivelante não permite a execução de contrapisos com caimento. Dessa maneira, utilizam-se peças de madeira ou blocos para fazer o isolamento das áreas onde há caimento (Figura 5).

Figura 5: Isolamento com bloco cerâmico em área com desnível



Fonte: Melo (2015).



De acordo com Cichinelli (2013), o polimento ou fresamento com disco de vídea em sentido cruzado é uma opção para a realização de tratamento superficial que permite uma melhor aderência entre argamassa e substrato, pois, dessa maneira, obtém-se maior rugosidade e, então, tem-se maior área de contato entre os materiais (Figura 6).

Figura 6: Tratamento superficial do substrato para receber a argamassa autonivelante: (a) Máquina fresadora; (b) Aparência da laje após fresamento



Fonte: Cichinelli (2013).

A *Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero (AFAM) apud Rubin (2015)* salienta que a elevada taxa de porosidade e/ou a má saturação de água do substrato podem causar a perda de água da argamassa autonivelante, ocasionando fissuras ou aparecimento de bolhas após sua secagem. Entretanto, substratos com baixa taxa de absorção tendem a não fornecer a adesão necessária para a aderência da argamassa, causando descolamentos (AFAM, 2005). Por conta disso, é recomendável que seja realizada a imprimação do substrato com uso de "primers" e selantes específicos (Figura 7). Desse modo, forma-se uma ponte de aderência entre as interfaces dos materiais, selando a superfície em casos de substratos com elevadas absorções ou atuando como um agente de ligação em casos de substratos não absorventes (AFAM, 2005; CICHINELLI, 2013).

Figura 7: (a) Aplicação do primer; (b) Aparência da laje após aplicação do primer



(a)

(b)

Fonte: Cichinelli (2013).

Quando não for possível a realização da aplicação do "primer", no caso de substratos porosos, recomenda-se fazer o umedecimento superficial, até que obtenha-se uma condição saturada superfície seca, de modo a evitar que ocorra a perda de água da argamassa para o substrato (Figura 8).

Figura 8: Umedecimento superficial do substrato



Fonte: Rubin (2015).

## 2.8 PRINCIPAIS ENSAIOS UTILIZADOS PARA ANALISAR O DESEMPENHO DAS ARGAMASSAS AUTONIVELANTES

### 2.8.1 Ensaios no estado fresco

#### 2.8.1.1 Escoamento inicial

Define-se como escoamento de uma argamassa a habilidade do material de se espalhar e ocupar espaços. Para a caracterização de uma argamassa autonivelante, é fundamental que o escoamento seja alto. Porém, se o escoamento é excessivamente alto, o material perde a coesão e segrega. Por isso, é necessário estabelecer uma faixa adequada de escoamento para determinar a quantidade ideal de água ao avaliar as propriedades físicas da argamassa, de acordo com a norma C1708 - *Standard Test Methods for Self-leveling Mortars Containing Hydraulic Cements* (Métodos de teste padrão para argamassas autonivelantes contendo cimentos hidráulicos) (ASTM, 2016).

Sua determinação é feita acordo com a norma C1708 (ASTM, 2016), a qual recomenda a utilização de um equipamento denominado "anel de fluxo" (Figura 9), apresentando dimensões com diâmetro interno de 50mm e altura de 30mm. A norma indica que a argamassa é considerada como autonivelante se o diâmetro mínimo ( $D_{\min}$ ) de escoamento for de 125mm e o diâmetro máximo ( $D_{\max}$ ) de 150mm.

Na realização do procedimento, a argamassa deve ser inserida no anel de fluxo logo após a mistura e o anel é levantado a uma altura de 50 a 100mm acima da base, momento em que o cronômetro é iniciado. A argamassa deve se espalhar durante  $240 \pm 10$ s e, posteriormente, deve ser medido o diâmetro de escoamento em duas direções, onde o diâmetro médio corresponde ao escoamento inicial.

Figura 9: Equipamento indicado pela norma C1708 (ASTM, 2016) para a realização do ensaio de escoamento inicial



Fonte: Guimarães (2013) *apud* Rubin (2015).

### 2.8.1.2 Tempo de retenção de fluxo

O tempo de retenção de fluxo (perda de trabalhabilidade) é determinado repetindo-se o ensaio de escoamento inicial aos 20min e 30min após a água ter sido adicionada à mistura da argamassa seca – chamado de “*starting time*”. Os diâmetros medidos são comparados para avaliação da retenção de fluxo. Nos casos em que as argamassas tenham menor trabalhabilidade, esse intervalo de tempo pode ser reduzido.

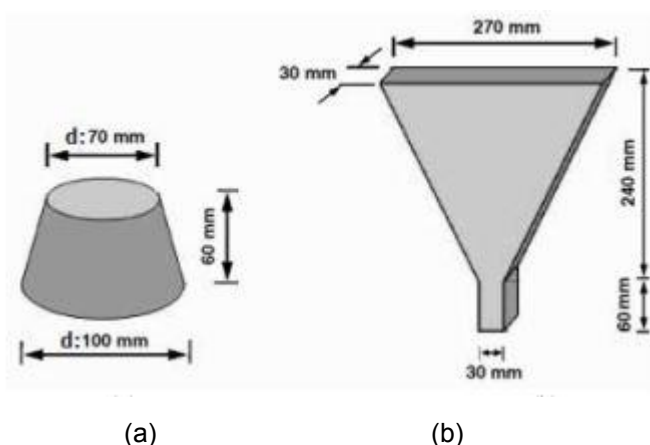
A norma ASTM C1708 (2012) sugere que a importância da retenção de fluxo está em uma taxa de espalhamento crítica para argamassas autonivelantes que pode garantir que estas mantenham sua propriedade de autonivelamento. Se a fluidez diminuir ao longo do tempo o material terá seu autonivelamento comprometido. Desse modo, esse ensaio permite determinar o tempo de manuseio das argamassas. Além disso, a norma prevê a leitura do diâmetro ao longo do tempo de espalhamentos independentes, possibilitando observar a capacidade de manter a fluidez ao longo do tempo que deseja-se analisar.

### 2.8.1.3 Tempo de fluxo (Mini Funil-V) e consistência (Mini Slump-test)

Para a determinação do tempo de fluxo e consistência, é possível utilizar as prescrições recomendadas pela *European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems* (Federação Europeia para Construções Específicas de Sistemas Químicos e de Concreto) (EFNARC, 2002), empregando os métodos de ensaio do mini Funil-V e do mini *Slump-test* (Figura 10). Segundo essa normativa, a consistência adequada para argamassas autonivelantes é determinada por uma

tensão de escoamento, definida pela medida do diâmetro de espalhamento do material compreendido entre 24cm e 26cm no teste do mini *Slump-test* e, a viscosidade plástica, definida pelo tempo de queda entre 7s e 11s no teste do mini Funil-V.

Figura 10: Equipamentos indicados pela EFNARC (2002) para os ensaios de consistência e tempo de fluxo, respectivamente: (a) Mini *Slump-test* e (b) Mini Funil-V (b)



Fonte: EFNARC (2002).

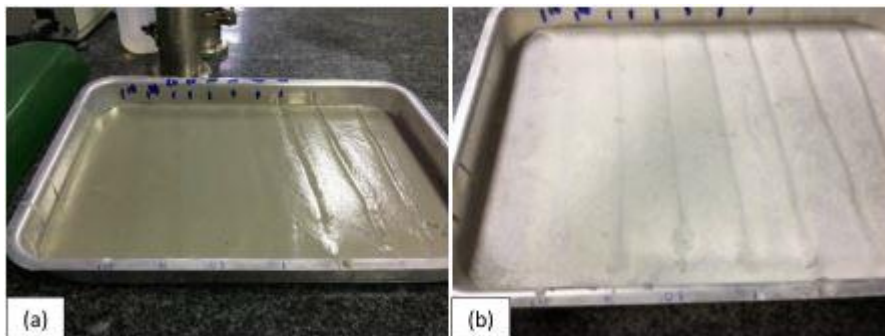
#### 2.8.1.4 Tempo de regeneração

A norma C1708 (ASTM, 2016) define como regeneração do material a capacidade da argamassa de se autonivelar após sua superfície ser cortada. O procedimento para determinação do tempo de regeneração – “*healing time*” – consiste em realizar cortes na argamassa com o auxílio de uma barra metálica maciça com pelo menos 150mm de comprimento, inclinada a 45 graus.

A argamassa deve ser depositada em uma fôrma retangular de metal ou vidro com dimensões mínimas de 210mm x 210mm e com profundidade mínima de 9mm. Os cortes devem ser feitos após 10min da mistura dos componentes da argamassa seca com a água – “*starting time*”. Os demais cortes são feitos de 5 em 5min, com 25mm de distância, de forma suave. A Figura 11(a) apresenta o ensaio sendo realizado no estado fresco e a Figura 11(b) apresenta a avaliação dos cortes após a argamassa estar endurecida.

O tempo decorrido entre o “*starting time*” e o primeiro corte na argamassa que não se autonivele naturalmente, indica o tempo de regeneração das argamassas autonivelantes.

Figura 11: Ensaio de “*healing time*”: (a) argamassa no estado fresco; (b) argamassa no estado endurecido



Fonte: Mendes (2019).

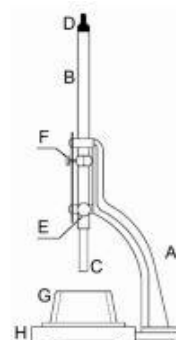
### 2.8.1.5 Tempo de pega

Para a determinação do tempo de pega, podem ser utilizadas as prescrições recomendadas pela norma C191 - *Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle* (Métodos de teste padrão para o tempo de pega do cimento hidráulico por agulha Vicat) (ASTM, 2013), na qual é determinado o tempo de início e fim de pega das argamassas autonivelantes utilizando o Aparato de Vicat (Figura 12). Nesse procedimento, realiza-se a penetração com a agulha de Vicat de 1mm e registra-se o tempo decorrido entre o contato inicial da argamassa com a água e o tempo em que a penetração da agulha na amostra marca 25 mm. O ensaio deve ser iniciado 30min após a mistura da argamassa. O tempo final de pega é definido quando a agulha não penetra mais na pasta.

A norma C1708 (ASTM, 2016) indica que, para argamassas autonivelantes, obtém-se a primeira leitura aproximadamente 30min antes do tempo de pega inicial, sendo que, a agulha deve estar limpa para aderir ao material durante as penetrações.

Figura 12: Aparato de Vicat

- A – Armação;
- B – Haste móvel;
- C – Extremidade do êmbolo;
- D – Agulha de aço removível;
- E – Parafuso de ajuste;
- F – Indicador Ajustável;
- G – Molde tronco-cônico;
- H – Base de vidro.



Fonte: Adaptado da norma C191 (ASTM, 2013).

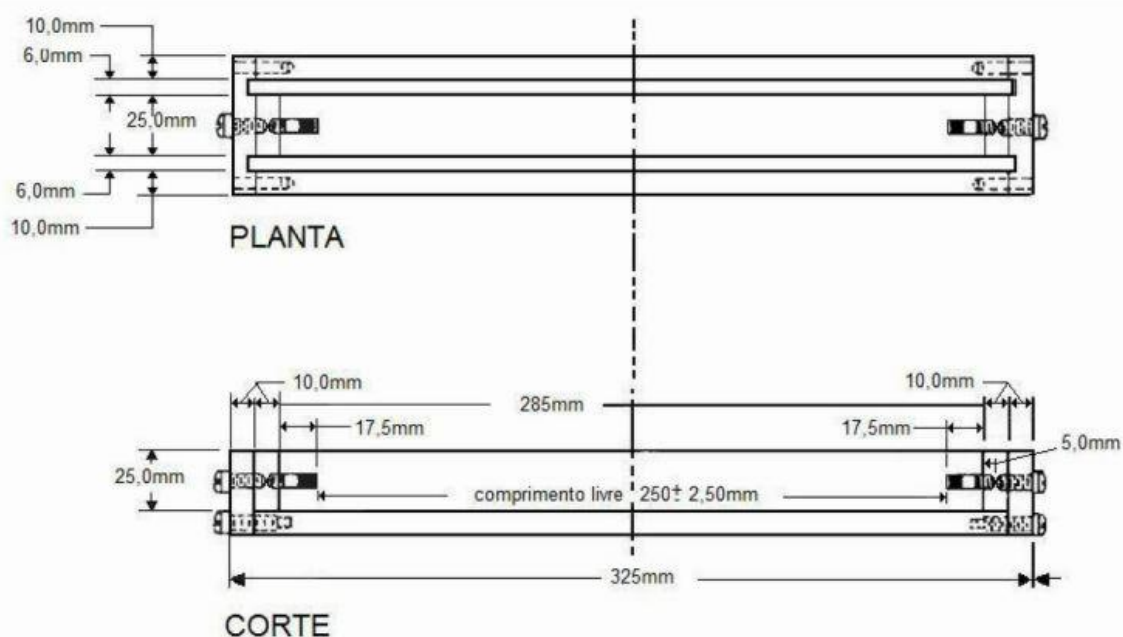
## 2.8.2 Ensaios no estado endurecido

### 2.8.2.1 Retração linear

O ensaio de retração linear determina a variação de comprimento nos corpos de prova em um período de tempo pré-definido, identificando se há retração ou expansão nas argamassas ensaiadas. Segundo a norma NBR 15261 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (ABNT, 2005), para este ensaio utiliza-se um relógio comparador com resolução de 0,001mm, o qual deve ser verificado antes de cada série de leituras, com o auxílio da barra padrão devidamente aferida (material certificado de referência).

De acordo com as prescrições descritas na norma C490 - *Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete* (Prática padrão para uso de aparelho para determinação da retração linear de pasta de cimento, argamassa e concreto endurecido) (ASTM, 2004), utilizam-se corpos de prova prismáticos de dimensões 25mm x 25mm x 285mm, com um pino metálico em cada uma das extremidades, axialmente centrados, sendo que a distância interna entre os pinos deve ser medida antes da moldagem dos prismas (Figura 13).

Figura 13: Molde utilizado para realização do ensaio de retração linear



Fonte: Adaptado da norma C490 (ASTM, 2004).

A norma C1708 (ASTM, 2016) indica que seja realizada a primeira leitura com  $24\text{h} \pm 15\text{min}$  após o tempo de mistura e, posteriormente, as demais aferições aos 3, 7, 14 e 28 dias de idade. As argamassas devem permanecer em temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  e com umidade relativa do ar de  $(60 \pm 5)\%$ .

A norma NBR 15261 (ABNT, 2005) recomenda a apresentação dos valores correspondentes às variações dimensionais nos resultados, denominada como retração (negativa) ou expansão (positiva), na idade “i” arredondada ao centésimo mais próximo, em milímetros por metro.

#### 2.8.2.2 Resistência à tração na flexão e à compressão

Assim como para as argamassas tradicionais, a resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas autonivelantes podem ser determinadas seguindo as prescrições das normas a seguir:

- NBR 7215 (ABNT, 2019) – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos;
- NBR 13279 (ABNT, 2005) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão;
- C109/C109M (ASTM, 2016) – *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars* (Método de teste para determinação da resistência à compressão em argamassas de cimento hidráulico);
- C348 (ASTM, 2014) – *Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars* (Método de teste para determinação da resistência à flexão em argamassas de cimento hidráulico).

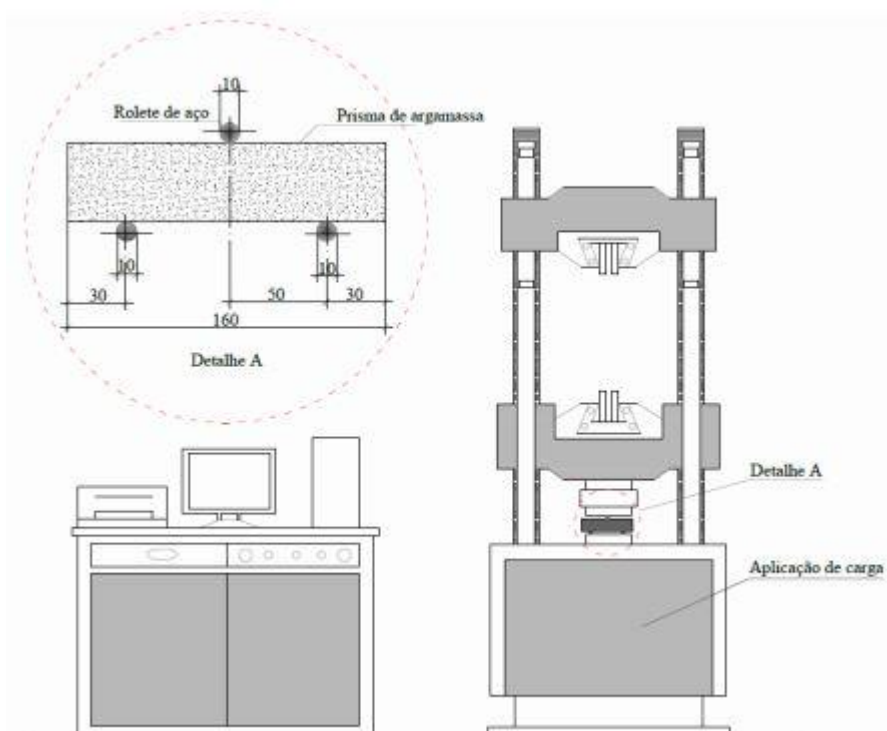
Para o ensaio de resistência à compressão, devem ser preparados, no mínimo, três corpos de prova para cada idade em que serão realizados os testes. A NBR 7215 (ABNT, 2019) indica a utilização de corpos de prova cilíndricos de base rosqueada, com proteção superficial contra corrosão, devendo ter no mínimo 3mm de espessura, com diâmetro interno de  $(50 \pm 0,2)$  mm e altura de  $(100 \pm 0,5)$  mm, ensaiados com 1, 3, 7 e 28 dias de idade.

Para resistência à flexão, a NBR 13279 (ABNT, 2005) prescreve a utilização de moldes prismáticos metálicos que consistem em armações abertas com paredes removíveis, formando três compartimentos quando montados, ou seja, um molde para



três corpos-de-prova de 40mm x 40mm x 160mm, sendo três corpos de prova para cada idade em que serão rompidos. Os ensaios devem ser realizados na idade de 28 dias ou outras idades conforme for solicitado, aplicando-se a carga de  $(50 \pm 10)$  N/s até a ruptura do corpo de prova. O equipamento indicado para realização dos ensaios é uma prensa hidráulica universal (Figura 14).

Figura 14: Representação do equipamento para os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão



Fonte: Chaves (2019).

### 2.8.2.3 Resistência à compressão simples e tração por compressão diametral

Como não existe normatização brasileira específica para argamassas autonivelantes, utilizam-se os procedimentos prescritos pela NBR 12041 - Argamassa de alta resistência mecânica para pisos — Determinação da resistência à compressão simples e tração por compressão diametral (ABNT, 2012) para a realização dos ensaios de resistência à compressão e tração. A norma citada refere-se às especificações para pisos de argamassas de alta resistência mecânica, sendo esta a norma brasileira que mais se aproxima do uso do material em sistemas de pisos, onde a argamassa autonivelante é mais utilizada.

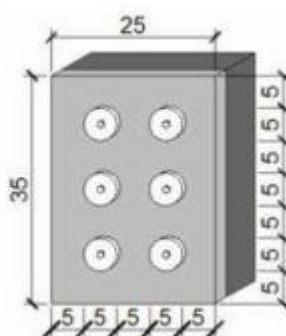
Para ambos os ensaios, utilizam-se moldes cilíndricos com dimensões de 5cm x 10cm, com três amostras para cada idade em que serão rompidos os corpos de prova. Os ensaios são realizados aos 1, 3, 7 e 28 dias para a análise das argamassas autonivelantes, com o auxílio de uma prensa hidráulica universal.

#### 2.8.2.4 Resistência de aderência à tração

A resistência de aderência à tração das argamassas autonivelantes pode ser determinada por meio do ensaio prescrito pela norma NBR 13528 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração (ABNT, 2010). Neste ensaio, é possível avaliar a tensão máxima suportada pela argamassa e sua aderência com o substrato de concreto, no momento em que ela é submetida a um esforço normal de tração por meio do método de arrancamento.

Neste procedimento, utiliza-se a metodologia sugerida por Stolz (2011) *apud* Chaves (2019), onde são extraídos corpos de prova de seção circular, com diâmetro de 5cm, de placas concreto com aplicação das argamassas (Figura 15).

Figura 15: Metodologia de extração dos corpos de prova para o ensaio de resistência de aderência à tração



Fonte: Stolz (2011) *apud* Chaves (2019).

O método de arrancamento segue os procedimentos descritos pela NBR 13528 (ABNT, 2010), a qual indica que os corpos de provas devem ser arrancados com um esforço normal de tração perpendicular à pastilha, aplicado pelo dinamômetro, com um carregamento aplicado até a ruptura do corpo de prova. O equipamento utilizado para realizar o arrancamento dos corpos de prova é mostrado na Figura 16.

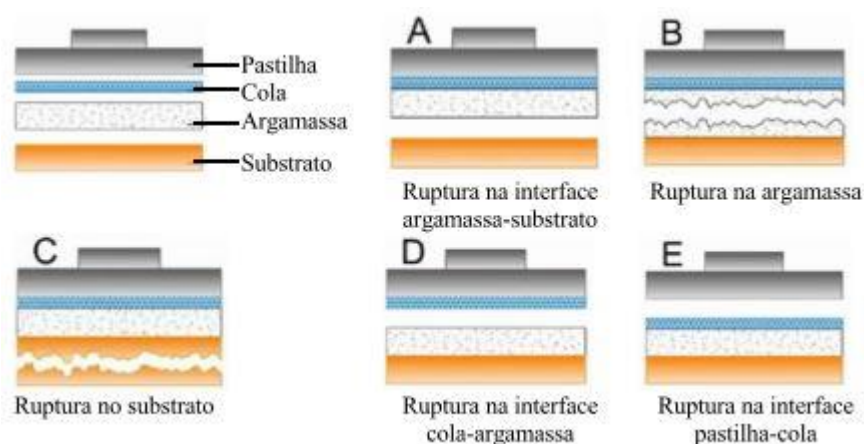
Figura 16: Equipamento utilizado para o ensaio de resistência de aderência à tração



Fonte: Chaves (2019).

A determinação da resistência de aderência à tração de cada corpo de prova é definida pela razão entre a força de ruptura (N) e a área da seção do corpo de prova ( $\text{mm}^2$ ). No que se refere à forma de ruptura (Figura 17), a NBR 13528 (ABNT, 2010) indica que ela deve ser expressa em porcentagem de ocorrência e apresentada juntamente com o valor da resistência de cada corpo de prova.

Figura 17: Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração



Fonte: Adaptado da NBR 13528 (ABNT, 2010).

#### 2.8.2.5 Densidade de massa aparente

Para a determinação da densidade de massa aparente, é possível utilizar os procedimentos prescritos pela NBR 13280 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido (ABNT, 2005), onde são moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 5cm x 10cm e com idade de cura de 28 dias. Tendo em vista que este é um método de ensaio não-destrutivo, onde apenas devem ser medidas as

dimensões e a massa dos corpos de prova em determinadas idades, torna-se possível a utilização das amostras para a realização dos ensaios de módulo de elasticidade dinâmico e ensaio de absorção de água por capilaridade.

#### 2.8.2.6 Módulo de elasticidade dinâmico

O procedimento para a realização do ensaio em que é determinado o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas é descrito pela norma NBR 15630 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica (ABNT, 2009). Neste ensaio, o módulo de elasticidade das argamassas é determinado por meio da velocidade de propagação de ondas longitudinais oriundas de pulsos ultrassônicos. Sendo que este é um método de ensaio não-destrutivo, é possível utilizar os corpos de prova para a realização de outro ensaio.

#### 2.8.2.7 Absorção de água por capilaridade

O ensaio em que é analisada a absorção de água por capilaridade segue as prescrições descritas pela NBR 15259 (ABNT, 2005). Neste procedimento, também é possível utilizar os corpos de prova cilíndricos com dimensão de 5cm x 10cm moldados no ensaio de densidade de massa aparente. As medições são realizadas na idade de 28 dias após a moldagem e cura, aos 10min e 90min iniciais após o contato dos corpos de prova com a água.

## 2.9 PRESCRIÇÕES NORMATIVAS

No Brasil, ainda não foram elaboradas normatizações específicas para contrapiso ou para argamassas autonivelantes, por isso, muitas vezes, o método de dosagem e as prescrições normativas são baseados em métodos para concretos autoadensáveis. A inexistência de normativos técnicos nacionais são um obstáculo para a expansão do uso do material no país. Entretanto, em âmbito mundial, pode-se destacar as normas europeia e americana entre as prescrições normativas existentes para a caracterização e avaliação de materiais autonivelantes.

A norma europeia UNE-EN 13813 define as características e especificações previstas para que as pastas autonivelantes produzidas na Europa possuam um bom desempenho, conforme o material aglomerante utilizado (cimento, sulfato de cálcio, magnésio, emulsão asfáltica ou resina sintética), classificando e enumerando os ensaios físico-mecânicos que podem ser aplicados de acordo com o tipo de pasta (AENOR *apud* RUBIN, 2015), como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Pastas autonivelantes e ensaios aplicáveis para cada tipo de pasta

| <b>Materiais das pastas</b>   | <b>Cimento</b>               | <b>Sulfato de Cálcio</b> | <b>Óxido de Magnésio</b> | <b>Emulsão asfáltica</b> | <b>Resina sintética</b>      |
|---|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| <b>Resistência à compressão</b><br>UNE-EN 13892-2 (AENOR, 2003)                       | N                            | N                        | N                        | -                        | O                            |
| <b>Resistência à flexão</b><br>UNE-EN 13892-2 (AENOR, 2003)                           | N                            | N                        | N                        | -                        | O                            |
| <b>Resistência ao desgaste "Bohme"</b><br>UNE-EN 13892-3 (AENOR, 2006)                | N <sup>a</sup> (um dos três) | O                        | O                        | O                        | -                            |
| <b>Resistência ao desgaste "BCA"</b><br>UNE-EN 13892-4 (AENOR, 2003)                  |                              | O                        | O                        | O                        | N <sup>a</sup> (um dos três) |
| <b>Resistência ao desgaste por rodadura</b><br>UNE-EN 13892-5 (AENOR, 2006)           |                              | O                        | O                        | O                        |                              |
| <b>Dureza superficial</b><br>UNE-EN 13892-6 (AENOR, 2003)                             | O                            | O                        | N <sup>a</sup>           | -                        | O                            |
| <b>Resistência à penetração</b><br>UNE-EN 12697-20 (AENOR, 2003)                      | -                            | -                        | -                        | N                        | -                            |
| <b>Resistência ao desgaste por rodadura em solo</b><br>UNE-EN 13892-7 (U AENOR, 2003) | O                            | O                        | O                        | O                        | O                            |
| <b>Tempo de pega</b><br>UNE-EN 13454-2 (AENOR, 2003)                                  | O                            | O                        | -                        | -                        | -                            |
| <b>Retração e inchamento</b><br>UNE-EN 13454-2 (AENOR, 2003)                          | O                            | O                        | O                        | -                        | O                            |
| <b>Consistência</b><br>UNE-EN 13454-2 (AENOR, 2003)                                   | O                            | O                        | O                        | -                        | O                            |
| <b>Valor de Ph</b><br>UNE-EN 13454-2 (AENOR, 2003)                                    | O                            | N                        | O                        | -                        | -                            |
| <b>Módulo de elasticidade</b><br>UNE-EN ISO 178 (AENOR, 2013)                         | O                            | O                        | O                        | -                        | O                            |
| <b>Resistência ao impacto</b><br>UNE-EN ISO 6272 (AENOR, 2013)                        | O <sup>a</sup>               | -                        | -                        | -                        | N <sup>a</sup>               |
| <b>Resistência à tração</b><br>UNE-EN 13892-8 (AENOR, 2003)                           | O                            | O                        | O                        | -                        | N <sup>a</sup>               |

Legenda: (N) Normativa; (O) Opcional onde seja relevante; (-) Não relevante; (<sup>a</sup>) Somente para pastas autonivelantes utilizadas em superfícies de desgaste.

Fonte: Traduzida e adaptada da UNE-EN 13813 (AENOR *apud* Rubin, 2015).

Rubin (2015) salienta que a norma não prevê valores para cada ensaio, mas requer alto controle de produção e qualidade do material, desde o recebimento de matérias-primas, inspeções dos equipamentos e ensaios no estado endurecido, os quais devem atender os requisitos exigidos pela norma específica.

A norma também especifica que quando houver a exigência por parte de outra norma ou em casos que haja alguma característica em particular, podem ser realizados outros ensaios avaliativos de desempenho, como, por exemplo, ensaios de resistência elétrica, térmica, química e ao fogo, corrosividade, permeabilidade à água e ao vapor de água, isolamento ao ruído de impacto e absorção acústica (RUBIN, 2015).

Em 2001, a *European Federation of National Associations Representing for Concrete* (EFNARC) emitiu um documento prescrevendo os ensaios e os requisitos de qualidade para pisos autonivelantes modificados por polímeros de uso industrial e comercial, apresentados na Tabela 2. A associação, fundada em 1989, reúne empreiteiros, fabricantes e fornecedores de matéria-prima e consultores da indústria da construção civil europeia e de outros países. A EFNARC, além de ser responsável pela elaboração deste documento específico para pisos cimentícios autonivelantes, também auxilia na emissão de relatórios técnicos e colabora com especificações de normas e certificações europeias (EFNARC, 2002).

Tabela 2: Requisitos de desempenho para pisos cimentícios autonivelantes modificados com polímeros

| Classificação conforme uso pretendido | Características de desempenho            | Método de ensaio especificado   | Requisitos                       |
|---------------------------------------|--|---|----------------------------------|
| A                                     | Resistência à compressão                 | UNE-EN 13892-2  | ≥ C20                            |
| A                                     | Resistência à flexão                     | UNE-EN 13892-2  | ≥ F5                             |
| A                                     | Resistência à abrasão                    | UNE-EM 13892-4 (BCA) ou UNE-EN 13892-5 (RollingWheel)   | AR 2 ou melhor, RWA 10 ou melhor |
| A                                     | Resistência de arrancamento ao substrato | UNE-EN 1542, usando como referência UNE-EN 1766 para substratos de concreto (relatar a área de ruptura) | ≥ 1.0 MPa                        |
| A                                     | Resistência ao impacto                   | ISO 6272 (quando ligado a uma superfície de concreto de acordo com a UNE-EN 13892-1)                    | ≥ 4 Nm                           |
| B                                     | Consistência (para misturas bombeadas)   | UNE-EN 13454-2 ou UNE-EN 12706  | ≥ 220 mm<br>≥ 130 mm             |
| B                                     | Resistência ao escorregamento (molhado)  | UNE-EN 13036-4 (Pêndulo de deslizamento)  | ≥ 40, quando testado molhado     |
| B                                     | Permeabilidade ao vapor de água          | UNE-EN 12086  | ≤ 4 g/(m <sup>2</sup> .d)        |

Classificação para o uso pretendido:

A - Requisito obrigatório para todas as utilizações previstas - métodos de teste padrão e limites de desempenho são especificados.

B - Exigência especial para situações particulares - métodos de teste padrão é especificado e os limites de desempenho especificados ou o resultado declarado no pedido.

Fonte: EFNARC (2001) *apud* Rubin (2015).

Em 2002, a EFNARC emitiu outro documento direcionado para concretos autoadensáveis, onde explana sobre métodos (mini Slump-Test e mini Funil-V) de verificação da proporção ideal de água/pó e aditivo superplastificante em argamassas autonivelantes, além de citar parâmetros de avaliação da velocidade de propagação, tempo de fluxo e consistência das argamassas.

Já a norma americana C1708 (ASTM, 2016), diferentemente da norma europeia UNE-EN 13813 - *Pastas autonivelantes y pastas autonivelantes para suelos*.

*Características y especificaciones* (Pastas Autonivelantes e Pastas Autonivelantes para Pisos - Características e Especificações) (AENOR, 2003), apresenta alguns métodos de ensaios próprios para avaliação das argamassas autonivelantes, como, por exemplo, o ensaio de fluxo de retenção e o tempo de cicatrização. Os ensaios de fluxo inicial (consistência), fluxo de retenção (perda de trabalhabilidade) e tempo de cicatrização (capacidade da argamassa em voltar ao seu estado original de nivelamento, sem apresentar deformações após sofrer alguma vibração) são prescritos para serem realizados no estado fresco. Para a avaliação do desempenho da argamassa autonivelante no estado endurecido, devem ser feitos os ensaios de resistência à compressão e à flexão, tempo de pega e estabilidade dimensional. Do mesmo que a norma europeia, a norma americana também não prevê valores de referências esperados para cada ensaio (RUBIN, 2015).

## 2.10 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

De acordo com a norma NBR 15575-3 - Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos (ABNT, 2013), os sistemas de piso não devem manifestar patologias como, por exemplo, bolhas, fissuras, empolamentos, eflorescências, desagregação superficial, dentre outros, quando submetidos à umidade, mesmo que excessiva. No que se refere à resistência ao ataque químico, a mesma norma indica que o sistema de pisos deve resistir, principalmente a camada de acabamento, aos produtos de limpeza que são usualmente utilizados na limpeza doméstica. Entretanto, tendo em vista que não existem prescrições normativas específicas para as argamassas autonivelantes no que se refere às propriedades de desempenho, surgiram relatos sobre o surgimento de manifestações patológicas no material.

Um dos problemas encontrados, ainda no estado fresco da argamassa, é a exsudação, a qual pode ser provocada, por exemplo, pelo excesso de água de amassamento e/ou superplastificante, causando a migração da água da mistura para a superfície do material (Figura 18). Do mesmo modo, a dosagem dos aditivos feita de forma errônea e as interações entre os materiais adicionados na argamassa também podem causar a exsudação (RUBIN, 2015).



Figura 18: Exsudação da argamassa autonivelante no estado fresco e no estado endurecido



Fonte: Gomes (2013) *apud* Rubin (2015).

Com o excesso da água de amassamento e a migração da água da mistura para a superfície, é comum o aparecimento de manchas (Figura 19). De acordo com Garcia e Brito (s.d.), o acúmulo de água na superfície produz segregação da argamassa e diferentes relações água/cimento ao longo da espessura da argamassa, resultando em manchas escuras no material e, conseqüentemente, reduz sua resistência superficial e durabilidade, podendo ocasionar o aparecimento de inúmeras patologias, como, por exemplo, esfarelamento e deslocamento do contrapiso.

Figura 19: Manchas causadas pelo excesso de água de amassamento



Fonte: Garcia e Brito (s.d.) *apud* Rubin (2015).

Devido à baixa resistência superficial, é possível que ocorra o esfarelamento do material, deixando-o com baixíssima resistência a abrasão. A baixa resistência superficial juntamente com a falta de qualidade na execução do contrapiso, tem causado o deslocamento da argamassa (Figura 20). O deslocamento ocorre quando há a separação do contrapiso ao substrato, seja nos casos de contrapisos aderidos ou de não aderidos. A presença de umidade excessiva e a incompatibilidade

com o substrato gera falta de aderência e pode causar o deslocamento parcial ou total do material (RUBIN, 2015).

Essa manifestação patológica tem ocorrido, principalmente, nos casos em que o revestimento de piso possui espessura fina, pois como a transmissão de solicitações é maior e a camada de fixação (argamassa colante ou cola) possui uma maior capacidade aderente, há maior exigência de resistência da camada de contrapiso na transmissão dos esforços (MENDES, 2019). Isso indica a necessidade de especificar a espessura mínima ou, nos casos em que se mantém reduzida espessura, recomendar o uso de aditivos promovedores de adesão.

Figura 20: Deslocamento de contrapiso de argamassa autonivelante



Fonte: Mendes (2019).

A espessura muito fina também está associada ao aparecimento de outra patologia muito comum, a fissura (Figura 21). A fissuração ocorre, principalmente, por conta da retração e da concentração de cargas em pontos específicos, a qual geralmente ocorre por conta da falta de reforços nestes pontos. A cura inadequada do material e a rápida perda de água da mistura, em decorrência da elevada taxa de evaporação do cimento, provocam retrações por secagem, e conseqüentemente, provocam o aparecimento de fissuras antes do início de pega (SOUZA, 2013). Por isso, faz-se necessário a recomendação de prazos mínimos de cura, ou recomendação de cura química, ou de aditivos compensadores de retração.

Figura 21: Fissuras de retração plástica em contrapiso de argamassa autonivelante



Fonte: Rubin (2015).

Cichinelli (2013) salienta sobre o ar existente e incorporado na mistura durante seu preparo e aplicação, pois se não for adequadamente removido durante a aplicação da argamassa, pode ser liberado durante o processo de cura. Ao provocar o aparecimento de bolhas na superfície (Figura 22), pode comprometer sua durabilidade, bem como seu acabamento. Desse modo, percebe-se a importância da recomendação da utilização de aditivos deaerantes às argamassas autonivelantes.

Figura 22: Bolhas superficiais em contrapiso autonivelante



Fonte: Cichinelli (2013).

## 2.11 APLICAÇÃO DE FIBRAS EM ARGAMASSAS

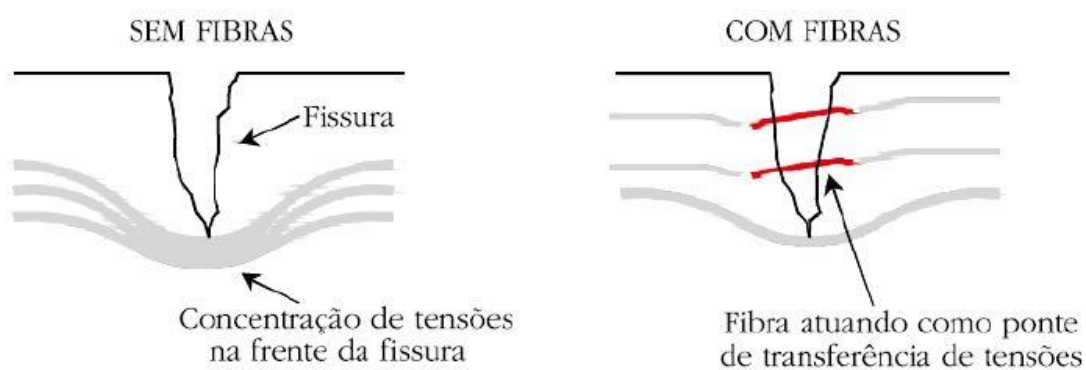
A aplicação de fibras em compósitos cimentício tem como principal finalidade proporcionar a melhoria das propriedades mecânicas, como a resistência à tração, durabilidade, dureza e ductibilidade das estruturas, sendo que sua utilização é encontrada em revestimentos de túneis, em radiers, pisos industriais, lajes e até em vigas (MENDES, 2019). Segundo Quinino *apud* Mendes (2019), a inserção de fibras

em matrizes cimentícias é eficiente quando as fibras são distribuídas uniformemente pela pasta de cimento, assim como, quando considera-se o fator de forma e o teor ótimo de adição das mesmas. Quando estes parâmetros são atendidos, os compósitos são mais deformáveis, possuem maior tenacidade e, conseqüentemente, maior módulo de elasticidade.

O desempenho dos compósitos reforçados com fibras é controlado, principalmente, pelo teor e pelo comprimento da fibra, pelas propriedades físicas da fibra e da matriz e pela aderência entre as duas fases (HANNANT, 1986). Além disso, um alto teor de fibras confere maior resistência pós-fissuração e menor dimensão das fissuras, desde que as fibras possam absorver as cargas adicionais causadas pela fissura. O tipo de fibra, a distribuição, a relação comprimento-diâmetro e a durabilidade da fibra, assim como o seu grau de aderência com a matriz, são fatores determinantes para o comportamento mecânico do compósito e o desempenho do componente fabricado (MENDES, 2019).

As fibras adicionadas à matriz de cimento funcionam como ponte de transferência de tensões (Figura 23), contribuindo para o aumento da capacidade resistente e de deformação e aumento da tenacidade do compósito. Assim, a argamassa que apresentava fissuras frágeis devido à rigidez (geralmente repentinas), pode apresentar fissuras com maior ductilidade, ou seja, as fibras podem controlar o processo de fissuração do material, reduzindo o surgimento de microfissuras e aumentando, de certa forma, a microfissuração (FIGUEIREDO *et al.*, 2002).

Figura 23: Mecanismo de reforço da fibra atuando como ponte de transferência de tensões



Fonte: Mendes (2019).

As fibras não impedem a formação de fissuras nos compósitos, mas possibilitam o aumento da resistência à tração e o controle da propagação de fissuras. Quando a primeira fenda aparece em um compósito sem a adição de fibras, sua abertura progressiva faz com que a matriz colapse. Entretanto, nos compósitos em que utilizam-se as fibras, essa fratura será atrasada. A ruptura torna-se um processo progressivo para as pontes de transferência formadas pelas fibras que absorvem parte das fissuras (FERREIRA *et al.*, 2017).

De acordo com Salvador *apud* Mendes (2019) a atuação das fibras em matrizes cimentícias é diferente no estado fresco e no estado endurecido. No estado fresco, quando a fibra é misturada a matriz cimentícia, há uma redução na trabalhabilidade, isso pode ser justificado pelo fato da geometria da fibra dificultar a mobilidade dos agregados, pois quanto maior o teor de fibras e mais compridas elas forem, menor a trabalhabilidade da mistura. No estado endurecido, as fibras interagem com a matriz proporcionando meios de transferências de tensões, de forma que a propagação das microfissuras seja retardada e, quando atingir a resistência final do compósito, as fibras podem reduzir o surgimento e o crescimento das microfissuras.

## 2.12 FIBRAS POLIMÉRICAS RECICLADAS

Segundo Gorni (2013), os polímeros são materiais compostos por macromoléculas, cadeias compostas pela repetição de uma unidade básica, chamada de mero. As macromoléculas do PET constituem-se de unidades repetitivas do tereftalato de etileno. Nos polímeros produzidos comercialmente, 130 a 155 unidades desse mero formam uma macromolécula típica de PET (WELLEN & RABELO, 2008).

A produção de grande quantidade de garrafas de politereftalato de etileno (PET) desencadeou um problema ambiental de proporções gigantescas, visto que essas garrafas não são recicladas pelos fabricantes e são resíduos plásticos que não se decompõem facilmente na natureza (MAHDI *et al.*, 2007). Como resultado, eles persistem no meio ambiente como potenciais poluentes.

Aproximadamente 76% dos resíduos sólidos são destinados aos aterros sanitários, no qual 17 % deste percentual correspondem ao politereftalato de etileno (PET) e outros plásticos (CEMPRE, 2017). De acordo com o 11º Censo da Reciclagem

do PET, publicado pela Associação Brasileira da Indústria do PET (Abipet), o Brasil reciclou 55% das embalagens de PET em 2019, isso corresponde a um reaproveitamento de 311 mil toneladas. Porém, esse número pode ser considerado baixo quando comparado a reciclagem de latas de alumínio, que chega a reciclar mais de 90% deste resíduo, segundo dados da Abralatas - Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade (CEMPRE, 2017).

A reciclagem do PET pode ser feita de três maneiras: reciclagem química, onde é separado os componentes do PET, fornecendo matéria-prima para solventes e resinas, entre outros produtos; reciclagem energética, onde o calor gerado com a queima do produto pode ser aproveitado na geração de energia elétrica (usinas termelétricas), alimentação de caldeiras e altos-fornos; e reciclagem mecânica, que pode ser dividida em recuperação, revalorização e transformação. Na fase da recuperação, é feita a limpeza das embalagens e elas são separadas por cor e prensadas. A separação por cor garante sua uniformidade e facilita a sua aplicação no mercado. A prensagem viabiliza o transporte, pois os fardos são montados de maneira a garantir maior quantidade em um menor volume. Na fase da revalorização, as embalagens são moídas e formam os flocos, sendo que os flocos mais refinados podem ser utilizados diretamente como matéria-prima para a fabricação de outros produtos que o PET reciclado dá origem na etapa de transformação ou ainda há a possibilidade de produzir os grãos de PET reciclado, onde o produto é otimizado e melhora seu desempenho na transformação. Na fase da transformação, os flocos ou o granulado são transformados em um novo produto, inclusive novas garrafas para produtos não alimentícios (CANELLAS *apud* SANTOS, 2012).

Sharma e Bansal (2016) afirmam que a incorporação de resíduos de PET nos materiais de construção iniciou uma grande evolução dentro deste ramo nos últimos anos, tendo em vista que os materiais poliméricos, utilizados como aditivos no segmento da construção, geram um impacto econômico significativo, diminuindo seu custo e, além disso, reduzem algumas desvantagens dos compostos cimentícios, como a baixa resistência à tração e a retração na secagem.

Existem quatro processos principais identificados para a reciclagem de garrafas PET usadas em materiais de construção. No primeiro, as garrafas PET usadas podem ser despolimerizadas em resina de poliéster insaturada para produzir argamassa de polímero ou polímero de concreto. O segundo método é usar fibra de PET como reforço para concretos e argamassas. O terceiro processo de reciclagem

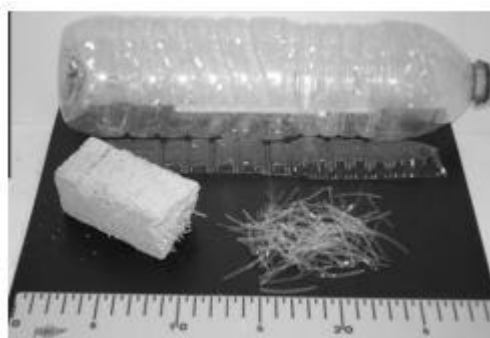
consiste em substituir parte do agregado usado na produção de concretos e argamassas por resíduos de PET. O quarto método estudado é reciclar flocos de garrafas PET e usá-los diretamente como aglutinante (GE *et al. apud* BENOSMAN *et al.*, 2015).

O politereftalato de etileno é um polímero com estrutura linear, possui propriedades que dependem do seu grau de cristalinidade, tais como leveza, brilho, transparência, facilidade de moldagem e, também, é inodoro, insípido, atóxico e inerte. Além disso, possui elevada resistência mecânica, térmica e química, além de boas propriedades de barreira, alta resistência à gorduras, à tração e à abrasão e pode apresentar-se no estado amorfo (transparente), semicristalino e orientado (translúcido) e altamente cristalino (opaco) (AWAJA *et al.*; ROMÃO *et al. apud* FIGUEIREDO *et al.*, 2015). O politereftalato de etileno (PET) é um poliéster termoplástico com módulo de elasticidade à tração e flexão de cerca de 2,9 e 2,4 GPa, respectivamente, resistência à tração de até 60 MPa e excelente resistência química, com ponto de fusão em torno de 260 °C (REIS *et al.*, 2011).

Oliveira e Castro-Gomes (2011) analisaram a utilização de PET reciclada como fibras de reforço em argamassa de reboco. As fibras de tereftalato de polietileno (PET) foram feitas com corte mecânico das laterais das garrafas PET, conforme mostrado na Figura 24, onde os gargalos e o fundo das garrafas foram descartados. A uniformidade das fibras é garantida por ajustes finos executados em máquina de corte semiautomática. As dimensões das fibras eram de aproximadamente 2mm de largura, 0,5mm de espessura e 35mm de comprimento. As fibras foram adicionadas à argamassa com diferentes volumes (0%, 0,5%, 1,0% e 1,5%). Os resultados mostraram que a adição das fibras provoca uma pequena diminuição da densidade das argamassas endurecidas, não ultrapassando 5% mesmo para 1,5% do volume da fibra, ou seja, não há uma alteração significativa. Verificou-se que a adição de fibras modifica a porosidade da argamassa, principalmente no entorno da zona de contato fibras-matriz, reduzindo o número de poros capilares. Os resultados indicam que a incorporação das fibras não altera significativamente a magnitude da resistência à compressão da argamassa. Observou-se também que a incorporação da fibra na argamassa aumenta a resistência à flexão. O aumento da resistência é mais significativo aos 63 dias, onde a argamassa pode atingir mais que o dobro de resistência obtida com argamassa sem fibra. Quando o teor de fibra de PET aumenta de 0,5% para 1,5%, supõe-se que a resistência à flexão aumente devido ao fato de

existir uma maior quantidade de fibra, o que possibilita uma maior capacidade de resistência à tensão de tração, principalmente no pós-fissuração. No entanto, isso depende da distribuição aleatória da fibra na zona de tração das amostras de teste. Com o aumento do teor de fibra, formam-se fissuras em torno do mesmo ponto de deflexão em que foi atingida a carga máxima para a argamassa lisa; entretanto, como a carga é suportada com fibra de PET, a carga aumenta. Posteriormente, a carga aumenta e diminui repetidamente, indicando alta tenacidade para o volume de fibra de 1,5%. O volume de fibras de 1,5% obteve o melhor desempenho da argamassa compatível com a trabalhabilidade desejada.

Figura 24: Fibras de tereftalato de polietileno (PET)



Fonte: Oliveira (2011).

Reis *et al.* (2011) utilizaram resíduos de garrafas PET em substituição parcial dos agregados nas argamassas poliméricas, onde frações em peso de areia 5%, 10%, 15% e 20% foram substituídas pelo mesmo peso de PET. Além de utilizar resíduos de PET como substituto do agregado, também foi utilizado como aglutinante uma resina de poliéster insaturado fabricado a partir de PET reciclado e comparada à resina epóxi. As argamassas foram preparadas misturando areia de fundição com resinas epóxi e poliéster insaturado. Após a lavagem, os resíduos de garrafas PET foram triturados em grânulos por uma máquina de trituração. Os resultados mostraram que há uma diminuição na tenacidade à fratura para argamassa de polímero epóxi e poliéster insaturado à medida que o teor de agregado de PET aumenta. A queda na tenacidade à fratura devido à adição de PET triturado pode ser atribuída principalmente à má ligação entre a matriz e o agregado plástico. Foi observado uma redução do peso específico das argamassas poliméricas e uma melhoria significativa do seu comportamento pós-pico de flexão. A adição de PET triturado na mistura de



argamassas diminuiu o módulo de elasticidade. Notou-se que para maiores porcentagens de PET triturado, mais energia é necessária para o crescimento da fissura. O PET, por si só, possui uma característica não quebradiça sob carregamento e, portanto, a substituição da areia por PET triturado na mistura retarda a fase de fratura, pois a trinca tem que comprometer as partículas de plástico a serem propagadas na matriz. Conforme aumenta a quantidade de PET triturado, o material se torna mais dúctil e apresenta falhas menos frágeis.

Rahman *et al.* (2013) analisaram a utilização de fibras de garrafas PET como agregado em argamassa de alvenaria. As garrafas PET foram trituradas e, posteriormente, peneiradas. O tamanho das partículas de PET variou de 1 a 7mm. Os materiais de PET triturados foram submetidos a uma lavagem manual com água em lotes sem a adição de produtos químicos. As partículas foram deixadas secar por 24 horas ao sol. Verificou-se que mais da metade (cerca de 60%) dos agregados de PET estava dentro de uma faixa de tamanho de 2mm, embora quase 90% das partículas enquadram-se na faixa de tamanho de 3 mm. Para a preparação da argamassa de alvenaria, utilizou-se o traço 1:3 e a relação água/cimento de 0,45, a fibra de PET foi usada como substituta da areia por 0%, 3%, 7%, 20% e 30%, em peso. Os resultados mostraram que a resistência à compressão da argamassa modificada diminuiu com o aumento da quantidade de PET. A absorção de água das amostras aumentou conforme a aumentava a porcentagem de fibras de PET na argamassa. O aumento da absorção de água pode ser explicado pelo aumento da porosidade, pois esta aumentou gradualmente de 16,78% na amostra que contém a menor porcentagem de PET (3,33%, em peso de areia) para 20% na amostra que contém a maior porcentagem de PET (23,3%, em peso de areia). Um provável motivo para isso pode ser porque o aumento da quantidade de fibras de PET resultou em má ligação com a matriz cimentícia e fez com que vazios de ar aderissem à sua vizinhança. Esse atributo do material representa seu potencial como material isolante, pois o ar preso nos poros da argamassa resistiria à condução de calor e, portanto, garantiria conforto térmico.

Benosman *et al.* (2015) estudaram o desempenho mecânico de materiais compósitos de argamassa que contêm resíduos de garrafas PET triturados como substitutos do cimento. As partículas de PET foram obtidas por moagem muito fina de garrafas de bebidas, como mostrado na Figura 25. Após alguns testes, optou-se pela utilização de partículas menores que 1 mm. Foram analisados os efeitos de substituição de 1,5%, 2,5%, 3,5%, 5% e 7,5% em peso de cimento por partículas de

resíduos de PET. As argamassas foram preparadas com traço 1:3 e duas relações água/cimento diferentes,  $A/C=0,47$  e  $A/C=0,5$ , sendo que as combinações foram preparadas a partir de diferentes porcentagens dos constituintes: areia do mar (30, 50, 70 e 100%) e areia da pedreira (30, 50, 70 e 100%). A resistência à compressão diminuiu com o aumento da porcentagem de PET. Notou-se um aumento na resistência à flexão de todos os materiais com a idade de conservação das amostras, entretanto, a resistência à flexão também diminuiu com o aumento da porcentagem de PET. As partículas de PET melhoraram as resistências à flexão a longo prazo de 360 dias na ordem de 48%. Em geral, compósitos contendo PET desenvolvem resistência semelhante, se não melhor, em comparação com uma argamassa de controle de longo prazo de 360 dias. Além disso, o PET possui uma estrutura mais flexível que a argamassa. Para se chegar a essas conclusões, foi necessário realizar testes de identificação microestrutural. Assim, o efeito da adição de PET como substituto do cimento reduz os macroporos, preenchendo os poros da matriz cimentícia, levando à densificação da matriz, o que serve para melhorar a resistência e a durabilidade dos materiais compósitos. Observou-se que os desempenhos mecânicos, em particular as resistências à flexão, das argamassas nas quais o tereftalato de polietileno foi incorporado são considerados semelhantes, se não melhores, em comparação com os de uma argamassa de controle. Um valor ideal observado para o composto é de 2,5%.

Figura 25: Partículas de tereftalato de polietileno (PET)



Fonte: Benosman *et al.* (2015).

Brant (2016) analisou a inserção de fibras de politereftalato de etileno (PET) em argamassa de emboço com traço 1:3:0,57. Para a confecção das fibras, as

garrafas PET foram cortadas em formato de fitas. As fitas foram trituradas mecanicamente com um equipamento de reciclagem chamado de moinho de rotor vertical, transformando-as em grãos. As fibras de PET foram modificadas em solução de NaOH e incorporadas na argamassa em 2%, 4%, 6% e 8%, em massa, como substituição ao agregado miúdo. Os resultados mostraram que em nenhuma das argamassas contendo fibras de PET a resistência média de compressão axial foi maior do que no caso da argamassa sem a inserção de fibra PET. A perda da resistência a compressão ocorreu mesmo com tratamento do PET em soluções de NaOH. Verificou-se que os índices de consistências diminuíram com o aumento da porcentagem de PET inserido e a absorção de água ficou maior nas argamassas que continham fibras de PET.

Com base nos estudos apresentados, observou-se que o desempenho das argamassas com resíduos de PET apresenta melhores resultados ao ser comparado com as argamassas sem a adição de fibras de PET, mesmo que estes não sejam tão expressivos. Então, tendo em vista os resultados obtidos nos estudos analisados, a potencialidade da utilização das fibras de garrafa PET em argamassa autonivelante sugerem apresentar melhor desempenho térmico, melhor resistência à tração, à abrasão e à flexão, assim como, melhor ductibilidade e, principalmente, melhor controle da propagação de fissuras.

Embora os estudos existentes analisaram um número notável de propriedades desse material, os efeitos do tamanho e o formato das fibras de PET nas argamassas ainda são desconhecidos. Assim como, qual forma de utilização proporcionaria um melhor desempenho, seja em forma de resina de poliéster insaturada, em forma de fibra usada como reforço para concretos e argamassas, em forma de flocos como substituição do agregado ou do aglutinante.

### 3 CONCLUSÃO

Constata-se na pesquisa de literatura que o uso de resíduos de politereftalato de etileno (PET) como material de construção tem sido um tópico de profundo interesse entre os pesquisadores. Muitos exploraram o potencial do PET para ser considerado um novo aliado à tecnologia dentro da construção civil. Entretanto, a maioria dos estudos tende a focar nas possibilidades do uso do PET em concretos. Os polímeros geralmente contribuem para melhorar as propriedades mecânicas e a durabilidade do concreto, mas para argamassas, eles parecem agir de maneira diferente. Observou-se que o comportamento das argamassas com resíduos de PET, relatado em diferentes estudos e na forma como foi abordada, não se traduz em ganhos significativos, mas apresenta melhores resultados ao ser comparado com as argamassas sem adição de fibras de PET. Além disso, os efeitos do tamanho das fibras e a forma dos agregados de PET nas argamassas ainda são inexplorados.

A pesquisa de literatura mostrou que há um significativo número de estudos realizados sobre o uso de resíduos de politereftalato de etileno (PET) no ramo da construção civil. Assim como, também existem inúmeros estudos referentes à argamassa autonivelante. Os estudos destacaram propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido, como resistência à compressão, resistência à tração, resistência à flexão, módulo de elasticidade, retração, absorção de água, microestrutura, propriedades térmicas, resistência à abrasão, etc. Entretanto, nenhum estudo analisou especificamente as propriedades e o desempenho mecânico de uma argamassa autonivelante com adição de fibras de politereftalato de etileno (PET).

Apesar do fato de estudos existentes já terem explorado um número notável de propriedades desse material, ainda há espaço para estudos acerca desse tema. O uso bem-sucedido na indústria da construção dos resíduos de PET descartados pode ser uma ótima solução para diminuir o acúmulo de plásticos nos aterros sanitários. Daí surge a necessidade de mais estudos para padronizar sua aplicação nas práticas de construção civil.

A aplicação de compósitos de argamassa-polímero à base de resíduos de PET na indústria da construção parece viável, tendo em vista os resultados obtidos pelos estudos apresentados. Argamassas contendo PET sugerem apresentar melhor desempenho térmico do que os de argamassa não modificada. Elas poderiam

fornecer várias aplicações, especialmente para impedir a transferência de calor e economizar energia.

O principal objetivo desta análise, que foi o de realizar uma revisão de trabalhos de pesquisa científica nesse campo, foi alcançado. Como conclusão, a utilização de resíduos de politereftalato de etileno (PET) reciclados seria útil nas dimensões técnica e ambiental. Este trabalho pode ser usado como uma ferramenta útil para motivar estudos unindo argamassas autonivelantes com a utilização de resíduos de PET reciclados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 12041**: Argamassa de alta resistência mecânica para pisos — Determinação da resistência à compressão simples e tração por compressão diametral. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 13753**: Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15261**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2009.

AENOR - ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **UNE-EN 13813**: Pastas autonivelantes y pastas autonivelantes para suelos - Características y especificaciones. 2003.

ANDERBERG, A. **Studies of moisture and alkalinity in self-levelling flooring compounds**. 2007. 63f. Doctoral Dissertation - Division of Building Materials, Lund Institute of Technology, Lund University, Lund, 2007.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C109/C109M - 16**: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). USA (2016), 10p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1708/C1708M - 16**. Standard Test Methods for Self-leveling Mortars Containing Hydraulic Cements. USA: 2016, 8p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C191 - 13**: Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. USA: 2013, 8p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C348 - 14**: Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars. USA (2014), 6p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C490 - 04**: Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete. USA: 2004, 5p.

BENOSMAN, A. S.; TAÏBI, H.; MOULI, M.; SENHADJI, Y.; BELBACHIR, M.; BAHLOULI, I. M.; HOUIVET, D. **Effect of addition of PET on the mechanical performance of PET-Mortar Composite materials**. Article in Journal of Materials and Environmental Science. ISSN : 2028-2508. 2015.

BOINY, H. U.; ALSHKANE, Y. M.; RAFIQ, S. K. **Mechanical properties of cement mortar by using polyethylene terephthalate fibers**. In: 5º National and 1º International Conference on Modern Materials and Structures in Civil Engineering. Terhan: 2016.

BRANCO, A. C., BRITO, M. **Contrapiso Autonivelante**. 2º caderno de casos de inovação na construção civil. 2014.

BRANT, C. A. C. **Inserção de fibras de politereftalato de etileno (PET) em argamassa: Análise das propriedades mecânicas e físicas**. Anais do 25º Encontro Anual de Iniciação Científica, Maringá - PR, 2016.

Censo da Reciclagem de PET no Brasil. **Associação Brasileira da Indústria do PET (Abipet)**. Vila Olímpia, São Paulo - SP. 2019. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3>>. Acesso em: 15 de dez. de 2020.

CEMPRE – **Reciclagem: Ontem, Hoje, Sempre. Compromisso Empresarial para a Reciclagem**. Caderno de Reciclagem N° 2. Disponível em: <[www.cempre.org.br](http://www.cempre.org.br)> Acesso em: 14 de dez. de 2020.

CHAVES, P. S. **Argamassa autonivelante com adição mineral (fíler) de resíduo de beneficiamento de mármore e granito**. 2019. 136f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

CICHINELLI, G. **Contrapiso autonivelante**. Revista Equipe de Obra. Edição 58. Abril, 2013.

**Construção Sustentável**. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>. Acesso em: 20 de out. de 2019.



COSTA FILHO, T.B. **Avaliação do desempenho de argamassas com adições de cinza de casca de arroz amorfa e cristalina em relação à corrosão de armaduras em ambiente contaminado com íons cloreto**. 2005. 212f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

EGLE, T. **Contrapiso autonivelante**. Revista Técnica. Edição 164. Novembro, 2010.

EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). **Specification and guidelines for self-compacting concrete**. In: EFNARC, fev. 2002. 32p.

FERREIRA, S. R. SILVA, F. A. LIMA, P. R. L. TOLEDO FILHO, R. D. **Effect of hornification on the structure, tensile behavior and fiber matrix bond of sisal, jute and curauá fiber cement based composite systems**. Artigo. Construction & Building Materials. Vol. 139, 2017.

FERFA - **The resin flooring**. Association. European standards for In situ Flooring products. England, 2005.

FIGUEIREDO, A. D., TANESI, J.; NINCE, A. A. **Concreto com fibras de polipropileno**. Técnica, São Paulo, v.10, n.66, p.48-51, 2002.

FIGUEIREDO, A. L.; ALVES, A. P. M.; FERNANDES JUNIOR, V. J.; ARAUJO, A. S. **Reciclagem Terciária do Poli(etileno tereftalato) Visando a Obtenção de Produtos Químicos e Combustível: Uma Revisão**. Revista Virtual Química. 2015.

GARCIA, J.; BRITO, J. **Pavimentos Autonivelantes - Excesso de água na amassadura**. Grupo de Estudos da Patologia da Construção - PATORREB. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. s.d.

GOMES, A. O.; GONÇALVES, J. P. **Inovações tecnológicas em canteiros de obras**. X SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa. Fortaleza, 2013.

GORNI, A. A. **Introdução aos plásticos**. Revista Eletrônica Plástico Industrial. 2013.

HANNANT, D. J.; HUGHES, D. C. **Durability of cement sheets reinforced with layers of continuous network of fibrillated polypropylene film**. In: Developments in Fibre Reinforced Cement and Concrete. Proceedings RILEM Symposium, Sheffield, 1986.

HOUANG, P. **Estágio de Desenvolvimento de Contra Pisos Autonivelantes**. X SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa, Fortaleza, 2013.

LESSA, F.; COUTINHO, M. **Weber Saint-Gobain**. X SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa, Fortaleza, 2013.

MAHDI, F.; KHAN, A.A.; & ABBAS, H. **Physiochemical properties of polymer mortar composites using resins derived from post-consumer PET bottles**. Cement and Concrete Composites, v. 29, p. 241-248, 2007.

MARTINS, A. J. G. **Estudo da durabilidade dos revestimentos de piso**. 2012. 415f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal, 2012.

MARTINS, E. J. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa autonivelante**. 2009. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná., Curitiba, 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2ª Ed. Editora Nicole Pagan Hasparyk. São Paulo: IBRACON, 2014.

MELO, L. L. F. **Dosagem de argamassa autonivelante para contrapiso**. 2015. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

MENDES, A. P, L. **Efeito da adição de fibras sintéticas e naturais nas propriedades físicas e mecânicas de argamassas autonivelantes com metacaulinita.** 2019. 131f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

MENDES, G. A. **Dosagem de argamassa autonivelante com adição de resíduos do corte de mármore e graníticos (RCMG): Análise das propriedades físicas e mecânicas.** 2019. 128f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2019.

NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. **Pisos Autonivelantes: Propriedades e Instalação.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2., 1997, São Paulo. Anais... Salvador: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1997. 12p. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/69203347-li-simposio-brasileiro-de-tecnologia-das-argamassas-pisos-autonivelantes-propriedades-e-instalacao.html>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; KNISS, C. T.; GRAUDENZ, G. S. **Gerenciamento e manejo sustentável de resíduos sólidos de construção e demolição (RCD): um desafio para o setor da construção civil.** Artigo apresentado no ENGEMA 2011: Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, São Paulo, 5-7 dez. 2011.

OLIVEIRA, L. A. P.; CASTRO-GOMES, J.P. **Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar.** Construction and Building Materials, v. 25, n. 4, p. 1712-1717, 2011.

PIZZANI, L.; SILVA, R. C.; BELLO, S. F.; HAYASHI, M. C. P. I. **A arte da pesquisa bibliográfica na busca do conhecimento.** Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação, Campinas, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 53-66, jul. 2012.

RAHMAN, M.M.; MAHI, M.A.; CHOWDHURY, T.U. **Utilization of waste PET bottles as aggregate in masonry mortar**. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), ISSN: 2278-0181. Vol. 2, 2013.

REIS, J. M. L.; CHIANELLI-JUNIOR, R.; CARDOSO, J. L.; MARINHO, F. J. V. **Effect of recycled PET in the fracture mechanics of polymer mortar**. Construction and Building Materials, v. 25, n. 4, p. 2799-2804, 2011.

RUBIN, A. P. **Argamassas autonivelantes industrializadas para contrapiso: Análise do desempenho físico-mecânico frente às argamassas dosadas em obra**. 2015. 207f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SANTOS, A. C. D. **Investigação do efeito da incorporação de resíduos de PET em compósitos cimentícios**. 2012. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2012.

SHARMA, R.; BANSAL, P. P. **Use of different forms of waste plastic in concrete - a review**. Journal of Cleaner Production, v. 112, p. 473-482, 2016.

SILVA, J. M.; DAL BELLO, A. C.; STOLZ, C. M.; MASUERO, A. B. **Caracterização reológica de argamassas dosadas in loco sobre substratos porosos**. Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto. Gramado, 2013.

SILVA, S. H. L. **Desenvolvimento de formulações de argamassas autonivelantes para pisos e avaliação da retração por secagem**. 2016. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SOUZA, N. C. **Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema convencional**. 2013. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

WELLEN, R. M. R.; RABELO, M. S. **Polímeros**. In: Revista Eletrônica de Materiais e Processos. 2008.

YANG, L.; ZHANG, Y.; YAN, Y. **Utilization of original phosphogypsum as raw material for the preparation of self-leveling mortar**. Artigo. Journal of Cleaner Production. Vol. 127, 2016.