

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA

ALEX FRANCISCO FOLSTER

**EFEITOS DA ADIÇÃO DE NANOTITÂNIA EM UMA ARGAMASSA DE
REVESTIMENTO**

Joinville, 2015

ALEX FRANCISCO FOLSTER

**EFEITOS DA ADIÇÃO DE NANOTITÂNIA EM UMA ARGAMASSA DE
REVESTIMENTO**

Trabalho apresentado ao curso de graduação em engenharia de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do título de bacharel em engenharia.

Orientador

Prof. Dr. Luciano Senff

Universidade Federal de Santa Catarina

Joinville, 2015

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer ao professor Dr. Luciano Senff pelo seu esforço, dedicação e orientação, transmitindo seu conhecimento e tornando possível a realização deste trabalho.

A minha família, amigos, namorada, que torceram e me apoiaram para que eu pudesse realizar esta etapa da minha vida com sucesso.

Ao colega Pedro Henrique da Rosa Braun, da Universidade Federal de Santa Catarina, campus Florianópolis, que colaborou de forma direta na realização de alguns ensaios.

Aos membros da banca, Doutor Adilson Schackow (UDESC/Joinville), Professora Doutora Carolina Brandão Pereira de Souza (UFSC/Joinville) e Professora Doutora Andréa Holz Pfützenreuter (UFSC/Joinville), pelo aceite do convite para participação na defesa do meu trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

A poluição atmosférica é um problema que tem recebido atenção especial nos últimos anos pelos pesquisadores no mundo inteiro, devido aos danos causados a saúde dos seres humanos, bem como os gastos elevados aos cofres públicos. Com a descoberta da atividade fotocatalítica do dióxido de titânio, o emprego da titânia na forma de nanopartícula (nano-TiO₂) tem-se tornado cada vez mais ampla na construção civil com o objetivo de desenvolver materiais que atuem como agentes purificadores de ar. Este trabalho avaliou o efeito da adição de nano-TiO₂ em uma argamassa comercial, em relação às propriedades físicas (densidade aparente, absorção de água, porosidade aberta, retração) e mecânica (resistência à compressão) até 28 dias de cura. Para tal, dosagens 0, 0,5, 1,0, 1,5 % (em massa) foram adicionadas as misturas mantendo a trabalhabilidade constante pelo uso de quantidades distintas de água. Em geral, os resultados obtidos mostraram que a presença de nano-TiO₂ afetou as propriedades físicas e mecânica em diferentes níveis. A densidade aparente sofreu reduções gradativas em relação ao aumento da presença de nano-TiO₂, enquanto a porosidade aberta, absorção de água e retração sofreram um aumento nos resultados. Para a resistência à compressão revelou menores variações. As formulações (0,5nT + 0,67a/c e 1,0nT + 0,69a/c) foram as que atenderam melhor as propriedades avaliadas nesse trabalho o que permite afirmar que em termos práticos de aplicação apresentaram melhores desempenhos quando comparado das demais argamassas produzidas.

Palavras-chave: fotocatalise, nanotecnologia, argamassa, titânia.

ABSTRACT

Air pollution is an issue that has been receiving special attention from researchers all over the world during recent years, because of the damages it causes to human health and the high costs generated to the public budget. After the discovery of the photocatalytic activity of titanium dioxide, its usage in the form of nanoparticle (nano-TiO₂) has become increasingly wider in civil construction, with the purpose of developing new materials to work as air purifying agents. This study analyzes the effect caused by the addition of nano-TiO₂ in a commercial mortar, in relation to the physical properties (bulk density, water absorption, open porosity, retraction) and mechanical properties (compression strength) in a curing period up to 28 days. For the study, 0, 0.5, 1.0, 1.5 % dosages (in mass) were added to the mixture while keeping constant workability through the usage of different amounts of water. Generally speaking, the obtained results show that the addition of TiO₂ affects the physical and mechanical properties at different levels. The bulk density has gradually reduced in relation to the increasing in the values of nano-TiO₂, whilst opened porosity, water absorption and retraction have increased results. For compression strength, the variation range was not very significant. The compositions (0,5nT + 0,67a/c and 1,0nT + 0,69a/c) were those which best suited the properties evaluated in this work, which allows to affirm that in practical terms they will bring to the best performance when compared to other kinds of mortars.

Keywords: photocatalysis, Nanotechnology, mortar, titânia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Eficiência fotocatalítica para amostras com 0,5 e 1,0% de nano-TiO ₂	23
Figura 2 - Argamassa mista	25
Figura 3 - Mesa de consistência.....	29
Figura 4 - Corpos de prova utilizados para o ensaio de compressão.....	30
Figura 5 - Ensaio de compressão das argamassas aos 28 dias de cura.	30
Figura 6 - Corpos de prova utilizados no ensaio de retração.	31
Figura 7 - Aparelho usado para medir a retração das argamassas.....	32
Figura 8 - Ajuste do espalhamento para as formulações: (a) 0,0nT + 0,65a/c, (b) 0,5nT + 0,67a/c, (c) 1,0nT + 0,69a/c, (d) 1,5nT + 0,70a/c, (e) 0,5nT + 0,65a/c.....	34
Figura 9 - Resultados da densidade aparente das argamassas com 28 dias.	36
Figura 10 - Resultados da porosidade aberta das argamassas aos 28 dias.....	37
Figura 11 - Resultados da absorção de água das argamassas aos 28 dias.....	37
Figura 12 - Variação dimensional das argamassas aos 7, 14, 21 e 28 dias de cura.	38
Figura 13 - Resultados da resistência à compressão das argamassas com 28 dias de cura.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos necessários para classificação das argamassas.....	13
Tabela 2 - Classificação das argamassas de assentamento e revestimento.	13
Tabela 3 - Classificação das areias em função do tamanho dos grãos	16
Tabela 4 - Composição dos cimentos comuns e compostos	26
Tabela 5 - Características físicas e químicas da nano-TiO ₂	27
Tabela 6 - Formulações das argamassas para uma mesma trabalhabilidade.	28
Tabela 7 - Relação a/c das formulações	35

LISTA DE ABREVIações

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

a/c - água/cimento

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

nT - nano-TiO₂

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVO GERAL	11
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2	ARGAMASSAS	12
a)	Argamassa de revestimento	12
2.1	COMPOSIÇÃO DAS ARGAMASSAS	14
2.1.1	Aglomerantes	14
2.1.1.1	Cimento Portland	14
2.1.1.2	Cal	15
2.1.2	Agregados miúdos	15
2.1.3	Água	16
2.2	PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO	17
2.2.1	Trabalhabilidade	17
2.3	PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO	18
2.3.1	Resistência mecânica	18
2.3.2	Variação dimensional - Retração	19
2.3.3	Densidade, absorção de água e porosidade	19
3	NANOMATERIAIS	20
3.1	NANOTECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	20
3.2	DIÓXIDO DE TITÂNIO	21
3.2.1	Fotocatálise	22
4	ÓXIDOS DE NITROGÊNIO	24
5	MATERIAIS E MÉTODOS	25
5.1	MATERIAIS	25
5.1.1	Argamassa mista	25
5.1.2	Cimento	26
5.1.3	Nanotitânia	26
5.2	MÉTODO EXPERIMENTAL	27
5.2.1	Formulações	27
5.2.2	Ajuste da trabalhabilidade das argamassas	28
5.2.3	Resistência à compressão das argamassas	29

5.2.4	Varição dimensional – Retração das argamassas.....	31
5.2.5	Densidade, absorção de água e porosidade aberta das argamassas. ...	32
6	RESULTADOS	34
6.1	RELAÇÃO A/C DAS ARGAMASSAS	34
6.2	DENSIDADE APARENTE, ABSORÇÃO DE ÁGUA E POROSIDADE ABERTA	35
6.3	VARIAÇÃO DIMENSIONAL - RETRAÇÃO DAS ARGAMASSAS	37
6.4	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS ARGAMASSAS	38
7	CONCLUSÕES	40
	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	41
	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é um dos grandes problemas atuais, e cada vez mais estudos têm sido realizados a fim de reduzi-la, cuja origem muitas vezes está associada à queima de combustíveis, tanto das indústrias como dos veículos automotores. Os óxidos nítricos são gases igualmente prejudiciais para a saúde dos seres humanos e quando entram em contato com a pele, podem causar ardência em algumas partes do corpo, principalmente nas mucosas podendo causar lesões, problemas respiratórios, intoxicações entre outros (CÓNSUL et al., 2014).

A nanotecnologia se encontra cada vez mais presente na fabricação de muitos materiais que nos rodeiam. O uso de TiO_2 em materiais tem atraído o meio científico e industrial, pelo seu potencial de uso em pigmentos brancos de tinta, corante em alimentos, esmaltes cerâmicos, protetores solares e cosméticos (STELLMAN, 1998). A nano- TiO_2 possui a propriedade hidrofílica, com grande importância óptica, além da capacidade de auto-limpeza, impede a formação de gotas de água na superfície do vidro, contribuindo para que a superfície não fique embaciada (PARAMÉS; BRITO, 2010). No caso das argamassas, a inclusão de nano- TiO_2 tem mostrado ser um ótimo agente degradador do óxido de nitrogênio, devido ao efeito fotocatalítico, ao entrar em contato com titânia, o óxido nítrico reage e se transforma em íons de nitrato, substância que não oferece risco a saúde humana.

A incorporação de nano- TiO_2 pode alterar algumas propriedades dos materiais, no caso das propriedades mecânicas, reduz a resistência à flexão e compressão (CARVALHO; PESCAROLO, 2013). Para as propriedades físicas, o uso de nano- TiO_2 reduz a densidade aparente e conseqüentemente aumenta a porosidade e absorção de água no material (OLESKOWICZ, 2015).

A argamassa de revestimento é um dos materiais mais empregados na construção civil no mundo inteiro, cujas principais aplicações são sobre tetos e paredes de tijolos, protegendo-os de agentes agressivos e proporcionando um melhor acabamento da superfície.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal desta pesquisa foi produzir uma argamassa mista comercial composta de areia, cal e cimento, com diferentes percentagens de nano-TiO₂ adicionadas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo principal deste trabalho, objetivos específicos foram estabelecidos conforme descritos abaixo:

- Avaliar a influência da nano-TiO₂ na trabalhabilidade das misturas e formas de correção.
- Determinar o diâmetro adequado de espalhamento das argamassas.
- Identificar os efeitos causados pela nano-TiO₂ nas propriedades físicas (densidade aparente, absorção de água, porosidade aberta e retração) e mecânica (resistência à compressão) das argamassas até os 28 dias de cura.

2 ARGAMASSAS

Conforme a NBR 13281/2005, argamassa consiste de uma mistura homogênea composta por aglomerantes, agregado miúdo e água, contendo ou não aditivos e adições, com propriedades de aderência e endurecimento. A argamassa é considerada um material muito importante na construção civil, utilizada principalmente para o assentamento de alvenaria e revestimento de paredes.

A qualidade de uma argamassa depende basicamente do tipo, da quantidade e da qualidade das matérias-primas utilizadas (SANTIAGO, 2007). O uso de materiais isentos de impurezas e com uma dosagem bem definida, permite que todas as partículas do agregado fiquem completamente envolvidas pelo aglomerante, tornando o material mais resistente. Para Cardoso (2009, p. 6): "o desempenho final das argamassas depende das matérias-primas e de suas proporções na formulação, pois estas determinam o comportamento do material na etapa de aplicação e a microestrutura final do material endurecido".

a) Argamassa de revestimento

A argamassa é utilizada para o recobrimento de uma superfície lisa ou áspera, proporcionando um melhor acabamento da mesma, podendo ter uma ou mais camadas. Segundo Nascimento (2009), o revestimento de argamassa é constituído por uma série de camadas sobrepostas, chapisco, emboço e reboco, cada uma com sua função e composição. Estas camadas são aplicadas sequencialmente, em intervalos de tempos necessários para a cura de cada camada.

Normalmente, a aplicação do reboco é executada sobre bases de concreto armado, alvenarias de tijolos e blocos, materiais que nem sempre possuem uma boa aderência, gerando um fraco suporte para o reboco, sendo assim, faz-se necessário a aplicação do chapisco sobre as bases, reforçando a aderência e permitindo uma melhor execução do revestimento.

A qualidade do acabamento depende muito de uma correta execução, por se tratar de um trabalho manual, erros podem ocorrer comprometendo a estrutura

revestida, tornando assim a necessidade de mão de obra qualificada para execução do serviço.

A NBR 13281 (2005) estabelece os requisitos (Tabela 1) necessários para a classificação das argamassas de revestimento, através das características e propriedades apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1 - Requisitos necessários para classificação das argamassas.

Requisitos	Unidades	NBRs
Resistência à compressão	MPa	13279 (2005)
Densidade de massa aparente no estado endurecido	Kg/m ³	13280 (2005)
Resistência à tração na flexão	MPa	13279 (2005)
Coefficiente de capilaridade	g/dm ² /min ^{1/2}	15259 (2005)
Densidade de massa no estado fresco	Kg/m ³	13278 (2005)
Retenção de água	%	13279 (2005)
Resistência potencial de aderência a tração	MPa	15258 (2005)

Fonte: O autor, 2015.

Tabela 2 - Classificação das argamassas de assentamento e revestimento.

Classes	P	M	R	C	D	U	A
	MPa	kg/m ³	MPa	g/dm ² /min ^{1/2}	kg/m ³	%	MPa
1	≤ 2,0	≤ 1200	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1400	≤ 78	≤ 0,20
2	1,5 a 3,0	1000 a 1400	1,0 a 2,0	1,0 a 2,5	1200 a 1600	72 a 85	≥ 0,20
3	2,5 a 4,5	1200 a 1600	1,5 a 2,7	2,0 a 4,0	1400 a 1800	80 a 90	≥ 0,30
4	4,0 a 6,5	1400 a 1800	2,0 a 3,5	3,0 a 7,0	1600 a 2000	86 a 94	-
5	5,5 a 9,0	1600 a 2000	2,7 a 4,5	5,0 a 12,0	1800 a 2200	91 a 97	-
6	> 8,0	> 1800	> 3,5	> 10,0	> 2000	95 a 100	-

Fonte: (SILVA, 2006)

O manual de revestimentos de argamassa (ABCP, 2003) descreve as principais funções das argamassas de revestimento:

- Proteger bases de concreto ou alvenarias de tijolo da ação dos agentes agressivos, contribuir para o isolamento termoacústico e para a estanqueidade à água e aos gases.
- Proporcionar um acabamento final regular, adequado para o recebimento de outros revestimentos.

2.1 COMPOSIÇÃO DAS ARGAMASSAS

2.1.1 Aglomerantes

São materiais ativos, ligantes e pulverulentos, com a função de formar uma pasta ao misturar com a água, promovendo a união entre os grãos do agregado. Os aglomerantes são classificados conforme o seu princípio ativo, podendo ser aéreos, hidráulicos e poliméricos (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

2.1.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland é o aglomerante mais usado na construção civil em todo o mundo, devido a sua vasta aplicabilidade em várias etapas de execução de uma construção.

A NBR 5732/1991 define o cimento Portland como um aglomerante hidráulico obtido através da moagem do clínquer ao qual se adiciona uma quantidade de sulfato de cálcio. Durante o processo de mistura, outros elementos como os materiais pozolânicos, escórias de alto-forno e materiais carbonáticos, podem ser adicionados a mistura de cimento, modificando algumas características do material, como o tempo de pega e a resistência à compressão.

2.1.1.2 Cal

Material oriundo da extração de rochas que possuem como principal componente o carbonato de cálcio, através do processo de calcinação, onde o carbonato de cálcio sob elevada temperatura se decompõe formando o óxido de cálcio e o dióxido de carbono, que por se tratar de um gás, se desprende resultando apenas o óxido de cálcio, conhecido como cal virgem (GUIMARÃES, 2002).

Através do processo de mistura da cal virgem e água em proporções adequadas é gerada a cal hidratada. Segundo a NBR 7175/2003, a cal hidratada é um pó obtido através da hidratação da cal virgem, constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou até mesmo de uma mistura de hidróxido de cálcio e de magnésio, ou ainda, por uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

Para Rago e Cincotto (1999), a inclusão da cal na mistura proporciona uma melhor plasticidade para a argamassa no estado fresco, conseqüentemente uma melhor trabalhabilidade, facilitando a aplicação e gerando uma maior produtividade na execução do revestimento.

2.1.2 Agregados miúdos

São materiais granulares, que segundo a NBR 9935/2011, para obter a classificação de miúdo, 95% da massa deve passar pela peneira de abertura de 4,75 mm, no ensaio de distribuição granulométrica. Para Angelim et al., (2003), a distribuição granulométrica tem influência direta no desempenho da argamassa no estado fresco e endurecido, interferindo na trabalhabilidade, consumo de água e aglomerantes na mistura, fissuração da camada de revestimento, na permeabilidade e na rugosidade da superfície.

A areia é o agregado miúdo mais conhecido popularmente, constituída predominantemente de quartzo, originada a partir da alteração de rochas ricas nesse mineral, muito utilizada na construção civil para a produção de concreto e argamassas. A NBR 7211 (2005) classifica a areia conforme a sua granulometria.

Tabela 3 - Classificação das areias em função do tamanho dos grãos

Classificação	Tamanho do grão (em mm)
areia grossa	entre 2 e 1,2
areia média	entre 1,2 e 0,42
areia fina	entre 0,42 e 0,75

Fonte: (MINEROPAR, 1999)

Os agregados miúdos podem ser encontrados sob a forma natural, nos leitos dos rios, depósitos lacustres e mantos de decomposição de rochas, ou na forma artificial, através do processo de britagem de rochas. O problema de escassez de areia natural e as fortes restrições ambientais, tem dificultado a obtenção do material nas grandes cidades, tornando a obtenção de agregados miúdos através do processo de britagem de rochas, uma fonte alternativa de produção para utilização em concretos e argamassas (ULSEN, 2011).

Segundo MINEROPAR (2004) apud Silva (2006), as três principais funções dos agregados miúdos são:

- Prover o aglomerante de um material de enchimento relativamente econômico;
- Prover a pasta de partículas adaptadas para resistir às cargas na qual estão sendo submetidas, ao desgaste mecânico, e ao intemperismo;
- Reduzir as retrações durante o processo de cura.

2.1.3 Água

É a molécula mais abundante na terra, grande parte da superfície terrestre é composta por água, mas apenas uma pequena quantidade é própria para o consumo humano. A água é o principal aditivo na produção de argamassa, altera o estado de dispersão das partículas e a consistência do material (CASAGRANDE, 2012).

Quando a água entra em contato com os compostos químicos do cimento Portland, formam produtos de hidratação que, com o passar do tempo dão origem a uma massa firme e resistente.

2.2 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

A avaliação das características e propriedades das argamassas no estado fresco é de grande importância, pois a aplicação do material é executada ainda na forma fluida, tais características podem influenciar tanto no manuseio da argamassa, quanto na qualidade final do material (OLESKOWICZ, 2015).

Para Cardoso, Pileggi e John (2005), o comportamento da argamassa no estado fresco é importante, pois facilita a aplicação do material e minimiza defeitos como fissuras e manchas na superfície revestida após o processo de cura, defeitos que podem ser decorrentes de um inadequado comportamento reológico para a aplicação.

2.2.1 Trabalhabilidade

Segundo Rago e Cincotto (1999), a trabalhabilidade é a primeira propriedade a ser avaliada quando estudamos as argamassas, pois tem grande influência na qualidade do produto final, envolvendo outras propriedades responsáveis pelo desempenho adequado das argamassas como a resistência mecânica e a retenção de água.

A trabalhabilidade de uma argamassa no estado fresco pode ser definida como uma propriedade que determina a facilidade com que o material pode ser misturado, aplicado, consolidado e acabado a uma condição homogênea (CARDOSO; PILEGGI; JOHN, 2005).

Para Romano (2004), a trabalhabilidade depende de algumas características como água/cimento, traço, granulometria dos agregados e aditivos.

No Brasil, a avaliação da trabalhabilidade de uma argamassa é realizada através do índice de consistência estabelecido pela NBR 13276 (1995), utilizando a mesa de espalhamento (*flow table*) prescrita pela NBR 7215 (1996) no anexo B desta norma.

2.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

As propriedades no estado endurecido podem interferir na qualidade e durabilidade da argamassa, fazendo com que o material suporte as tensões a ele submetidas.

2.3.1 Resistência mecânica

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2003), define a resistência mecânica como sendo a capacidade dos revestimentos suportarem diversos esforços, que resultam em tensões internas de tração, compressão e cisalhamento.

Após o processo de cura, quando submetida a algum tipo de esforço mecânico, como o de abrasão superficial ou de impacto, a argamassa de revestimento deverá ser resistente o suficiente para suportar tais esforços. Oliveira (2001) relata que a resistência ao desgaste superficial ou a abrasão, é influenciada pelo teor de aglomerante e pela natureza e granulometria do agregado na argamassa.

O método utilizado para se obter resistência à compressão e à tração na flexão em argamassas é descrito pela NBR 13279/2008.

2.3.2 Variação dimensional - Retração

Segundo Melo Neto (2002), a retração nos materiais é causada pela perda da umidade para o ambiente e por reações de hidratação dos aglomerantes ao longo do tempo de cura, gerando uma diminuição do volume do material.

Para Peña (2004), as variáveis que influenciam na retração dos materiais podem ser separadas em dois grupos, o primeiro está relacionado com a composição da mistura, relação a/c e o volume da pasta, já o segundo é baseado na condição de exposição do material, variação de temperatura, umidade, período de cura e vento. A determinação da variação dimensional, tanto de retração como de expansão linear é normatizada pela NBR 15261/2005.

2.3.3 Densidade, absorção de água e porosidade

A densidade é definida como sendo a quantidade de massa contida em uma unidade de volume, ou seja, a densidade mede o grau de concentração de massa em determinado volume. Oleskowicz (2015) relata que no processo de mistura com duas ou mais matérias-primas, deve-se investigar a densidade, por se tratar de uma característica ligada à resistência resultante do material. Para Mazali (2005), a densidade pode ser determinada apenas com medidas de massa obtidas com uma balança de precisão, utilizando o princípio de Arquimedes.

A absorção de água e a porosidade são características resultantes de um conjunto de opções tomadas no processo de fabricação e cura, como a escolha do material, o traço, a quantidade de água e o tipo de cura (duração e condições ambientes). Para Dullien (1979) apud Rato (2006), um material poroso é aquele que contém espaços não preenchidos por sólidos distribuídos por todo o material, normalmente ocupados por um fluido, podendo ser a água ou o ar, e permeável ao fluxo de diversos fluidos. Rato (2006) define em seu estudo que a quantidade de água absorvida depende essencialmente do valor da porosidade na argamassa, e que a porosidade interfere diretamente do desempenho e durabilidade do material.

3 NANOMATERIAIS

São materiais que possuem dimensões em sua estrutura menor do que 100 nanômetros, sendo aplicados como memórias eletrônicas, produtos de beleza e protetor solar. Os nanomateriais também são utilizados na indústria automotiva, em vidros autolimpantes e tintas que mudam de cor dependendo das condições ambientais externas (BRITO; PONTES, 2015). Para Gazzoni (2005), a nanotecnologia é um conjunto de ferramentas emergentes que nos permitirá criar e manipular materiais.

Os nanomateriais podem contribuir para melhorar a qualidade de vida das pessoas e aumentar a competitividade industrial, porém, não se sabe muito dos efeitos que essa tecnologia pode causar ao meio ambiente e à saúde dos seres vivos, uma vez que as nanopartículas podem se movimentar com facilidade pelo corpo humano (SEGURA, 2014).

Pesquisas sobre a nanotecnologia teve um grande desenvolvimento nos últimos anos em países como Estados Unidos, Alemanha e Japão (PASCHOALINO; MARCONE; JARDIM, 2010). No Brasil, estavam previstos investimentos de aproximadamente R\$ 440 milhões em 2013 e 2014, (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2013).

3.1 NANOTECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A área da engenharia civil é umas das áreas mais afetadas pela nanotecnologia, pois vai agregar materiais inteligentes, como nanotubos, dispositivos orgânicos emissores de luz, nanofluidos e revestimentos tribológicos (SANTOS, 2011).

Os materiais inteligentes são os materiais nanoestruturados, capazes de se modificar quando o ambiente na qual estão expostos sofrem alguma alteração. Tentativas têm sido realizadas com uso de desses materiais na construção de pontes e prédios, quando essas estruturas estiverem submetidas a cargas excessivas, sejam capazes de mudar a coloração, alertando para o perigo de

acidente. Essa tecnologia é usada atualmente em lentes de óculos, que quando exposto a luz solar escurece, protegendo os olhos (BRITO; PONTES, 2015).

Além disso, a inclusão de nanopartículas pode aprimorar algumas propriedades de materiais tradicionais como o concreto, e desenvolver novas funções a materiais já existentes, como os vidros autolimpantes, tintas antimicrobianas e revestimentos purificadores de ar (HANUS; HARRIS, 2013). A adição de nanotubos em argamassas de cimento, por se tratar de partículas muito pequenas, diminui o número de vazios presentes no material, e por consequência, promove a melhora de algumas propriedades como a resistência, além de impedir ou retardar a propagação de fissuras e agir como agentes de nucleação (MELO, 2009).

Para Oleskowicz (2015), a incorporação de titânia em argamassa pode gerar uma diminuição na densidade do material, devido o fato da nanotitânia (nano-TiO₂) ter uma densidade menor que os demais materiais constituintes, e um aumento na absorção de água e na porosidade, por se tratarem de propriedades inversas a densidade. O autor relata ainda que o uso de nT pode gerar um aumento na retração do material, fenômeno relacionado diretamente à porosidade.

3.2 DIÓXIDO DE TITÂNIO

“O titânio é o nono elemento mais abundante da terra. É um elemento litófilo e tem uma forte afinidade com oxigênio, fazendo com que a maior parte do titânio na litosfera esteja na forma de óxido” (DNPM, 2001, p. 1). Descoberto em 1971, na Inglaterra, por Willian Justin Gregor. Porém, só recebeu sua denominação em 1794, quando o químico alemão Heimich Klaproth o determinou em uma amostra de rutilo (LAROUSSE & NOVA CULTURAL, 1998 apud CARVALHO et al., 2013).

O dióxido de titânio pode ser encontrado na forma de três estruturas cristalinas: anatásio, rutilo e brookite. O tipo anatásio é mais amplamente usado por ter maior eficiência fotocatalítica que os outros tipos de TiO₂, cristaliza no sistema tetragonal, possuindo cor e brilho variável (CASAGRANDE, 2012).

A utilização de TiO_2 na produção de materiais fotocatalíticos pode ser atribuído ao fato de ser um material relativamente barato, seguro, quimicamente estável, ter um bom desempenho em atividades fotocatalíticas, ser compatível com materiais de construção mais usuais e ser efetivo sob irradiação solar fraca em ambiente atmosférico (BERDAHL; AKBARI, 2008 apud MELO, 2011).

Além da propriedade fotocatalítica, o dióxido de titânio possui a propriedade hidrofílica, com grande importância óptica, além da capacidade de auto-limpeza, impede a formação de gotas de água que contribuem para que a superfície do vidro fique embaciada (PARAMÉS; BRITO, 2010).

3.2.1 Fotocatálise

As propriedades fotocatalíticas do dióxido de titânio foram descobertas em 1969, pelos pesquisadores Fujishima e Honda, onde estudavam a hidrólise da água em hidrogênio e oxigênio utilizando apenas energia solar em combinação com o semicondutor dióxido de titânio. Em 1972 os resultados dessa pesquisa foram publicados, estimulando outros pesquisadores a focarem em estudos sobre a atividade catalítica do dióxido de titânio (FUJISHIMA, 1972 apud CARVALHO et al., 2013).

A fotocatálise consiste na quebra de uma molécula por meio do uso de cargas positivas e negativas que são formadas na superfície do catalisador através de uma excitação do mesmo. Essa excitação ocorre quando a radiação UVA, que tem a energia necessária para realizar essa quebra, entra em contato com a superfície do TiO_2 (LACEY; SCHIRMER, 2008).

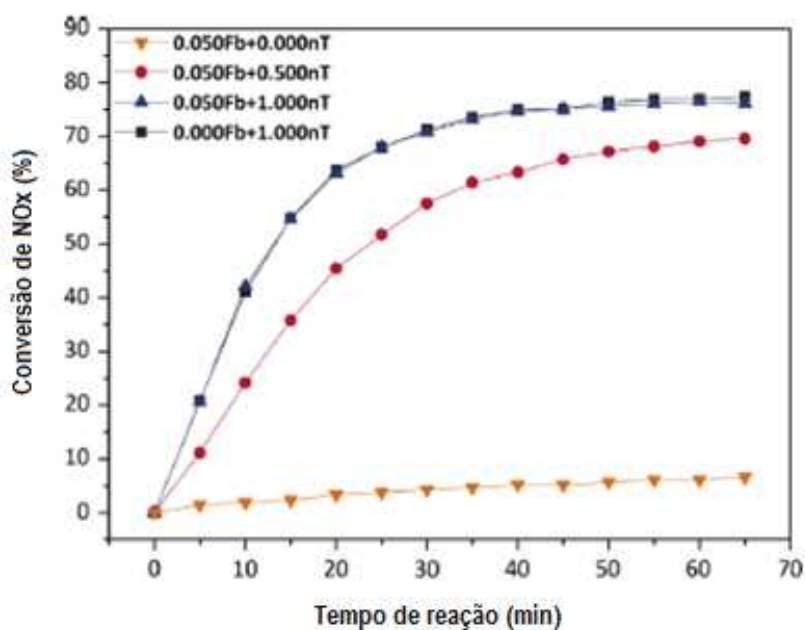
Watts e Cooper (2008) apud Casagrande (2013), relatam que a adição de TiO_2 em conjunto com o cimento, é capaz de transformar óxidos nítricos (NO) em íons de nitrato (NO_3^-) através da excitação de elétrons pela radiação incidente, que são absorvidos pela superfície do concreto, e lavado da superfície através das chuvas.

Alguns estudos de aplicação de nano-TiO₂ em argamassas, tem mostrado uma grande eficiência no processo de degradação de óxidos nítricos. Segundo Casagrande (2012, p.94):

É possível obter eficiência na degradação dos NO_x de até 100%, dependendo do tipo e quantidade de dióxido de titânio incorporado, da textura superficial da peça e das condições de ensaio (em particular, intensidade de radiação UVA e vazão de NO_x).

Relativamente a quantidade adicionada, Senff et al. (2015), provaram que degradação de óxidos nítricos variam de 60 à 75 %, adicionando entre 0,5 e 1,0 % nano-TiO₂ (em massa sólidos totais), conforme indicado na Figura 1.

Figura 1 - Eficiência fotocatalítica para amostras com 0,5 e 1,0% de nano-TiO₂.



Fonte: (SEFFF et al., 2015)

4 ÓXIDOS DE NITROGÊNIO

São compostos químicos gasosos, formados pela combinação do oxigênio com o nitrogênio. Considerados como um importante poluente da atmosfera, os óxidos de nitrogênio podem ser gerados através de fontes naturais como a queima de árvores, atividade vulcânica e bacteriana, ou através da combustão interna de motores e indústrias químicas (CÓNSUL et al., 2004).

Para a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a poluição pode ser definida como qualquer substância em grande concentração presente no ar, tornando-o impróprio, nocivo ou ofensivo a saúde, causando danos aos materiais, à fauna e à flora, interferindo diretamente no bem estar público, inibindo o uso de propriedades para atividades normais da comunidade.

O óxido de nitrogênio puro, não representa muito perigo à saúde humana, o problema ocorre quando ele se oxida através de uma reação com o oxigênio, formando o dióxido de nitrogênio, que é um gás altamente tóxico. Diante disso Cónsul et al. (2004) destaca que:

A pessoa atingida sente imediatamente ardência nos olhos, no nariz e nas mucosas em geral. O NO_2 reage com todas as partes do corpo expostas ao ar, pele e mucosas provocando lesões celulares. Os epitélios (revestimentos celulares) que mais sofrem são aqueles das vias respiratórias, ocorrendo degenerações celulares e inflamações no sistema respiratório, desde o nariz até a profundidade dos alvéolos pulmonares.

No ano de 2013, o estado de São Paulo teve um gasto de R\$ 246,2 milhões com tratamento de doenças provocadas pela poluição ambiental, entre 2006 e 2011, foi registrado 99.084 mortes relacionadas com poluição (INFO, 2013). São valores expressivos que geram um grande prejuízo aos cofres públicos.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAIS

A influência da nano-TiO₂ foi avaliada em uma argamassa comercial utilizada na região de Florianópolis, cujo traço adotado é semelhante aquele usualmente empregado por várias construtoras da região.

5.1.1 Argamassa mista

Para realização dos estudos, foi utilizado uma argamassa mista comercial, (Empresa ARGAMASSA 2 IRMÃOS LTDA.) comum na região da grande Florianópolis, (ver Figura 2). Segundo a empresa responsável pela produção e comercialização deste produto, o material consiste de uma mistura de 80 litros de cal hidratada por metro cúbico de areia fina.

Figura 2 - Argamassa mista



Fonte: O autor, 2015.

5.1.2 Cimento

O cimento utilizado para a moldagem dos corpos de prova foi o Portland Votoran CP-II Z32 da Votorantim Cimentos. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), o cimento é considerado do tipo composto com cerca de 6 à 14% de material pozolânico adicionado a mistura, e indicado para aplicação em argamassas de revestimentos. A Tabela 4 fornece a composição química para este tipo de cimento.

Tabela 4 - Composição dos cimentos comuns e compostos

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clinker + gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)	
Comum	CP I	100		-		NBR 5732
	CP I-S	99-95		1-5		
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	

Fonte: (ABCP, 2002)

5.1.3 Nanotitânia

Para os estudos foi utilizado o dióxido de titânio Aeroxide P25, fabricado por Evonik Degussa Corporation – Aerosil. Segundo o fabricante, o material é um componente ativo para as reações fotocatalíticas com elevado grau de pureza. Ilha (2012) mostrou através da difração de raios-X que a referida nano-TiO₂ é composta por duas fases cristalinas, anatase e rutilo, em uma proporção de aproximadamente 80/20. A Tabela 5, fornecida pela fabricante, apresenta as principais características do produto.

Tabela 5 - Características físicas e químicas da nano-TiO₂

Propriedades	Unidade	Valor
Área de superfície específica	m ² /g	35 - 65
Valor de Ph em (4% de dispersão)		3.5 - 4.5
Perda na secagem (2 horas à 105 °C)	%	≤ 1,5
Densidade	g/l	100 - 180
Dióxido de titânio	%	≥ 99.50
Al ₂ O ₃	%	≤ 0.300
SiO ₂	%	≤ 0.200
Fe ₂ O ₃	%	≤ 0.010
HCl	%	≤ 0.300
Resíduo peneira 45 µm	%	≤ 0.050

Fonte: (Product information. AEROXIDE TiO₂ P25, 2015)

5.2 MÉTODO EXPERIMENTAL

Para a realização do estudo, foram produzidos corpos de prova, com diferentes percentagens de nano-TiO₂, variando a quantidade de água para obter a mesma trabalhabilidade das misturas. Ensaios de retração, resistência à compressão, densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta, foram às propriedades no estado endurecido até os 28 dias de cura, seguindo os procedimentos indicados por suas respectivas normas.

Os ensaios foram realizados no laboratório de materiais de construção da UFSC/Joinville em parceria ao Núcleo de Aplicações de Nanotecnologia em Construção Civil (NANOTEC), no Departamento de Engenharia Civil (ECV), na UFSC/Florianópolis.

5.2.1 Formulações

A formulação de referência foi definida com base na produção do material em construções na região, com um traço de 1/5 de argamassa em relação ao cimento. As demais formulações foram determinadas com base na trabalhabilidade

(espalhamento na mesa) da formulação referência, adicionando diferentes percentagens de nano-TiO₂.

Com a adição de nano-TiO₂ a argamassa tende a perder a trabalhabilidade, e tendo como estratégia de estudo que todas as amostras possuam a mesma trabalhabilidade, os teores de água foram ajustados para obter um mesmo espalhamento em todas as formulações.

Através da Tabela 6 é possível observar as formulações obtidas para se manter a mesma trabalhabilidade, onde a quantidade de argamassa e cimento se mantiveram constantes, e as variações ficaram por conta da nano-TiO₂ e da água.

Tabela 6 - Formulações das argamassas para uma mesma trabalhabilidade.

amostras	% nT	% água	argamassa (g)	cimento (g)	titânia (g)	H ₂ O total (g)	total sólidos (g)	espalhamento (mm)			
								medição 1	medição 2	medição 3	media total
1	0	9,73	1400	280	0	181	1680	250	250	248	249,33
2	0,5	10,02	1400	280	8,4	187	1680	250	255	250	251,67
3	1	10,26	1400	280	16,8	192	1680	255	257	254	255,33
4	1,5	10,40	1400	280	25,2	195	1680	255	255	250	253,33
5	0,5	9,73	1400	280	8,4	181	1680	249	250	250	249,67

Fonte: O autor, 2015.

A amostra 5 foi produzida com a mesma percentagem de nano-TiO₂ da amostra 2 e a mesma quantidade de água da amostra sem titânia (referência = 0% nT), de modo a fazer uma estimativa dos efeitos entre a nano-TiO₂ e a H₂O.

5.2.2 Ajuste da trabalhabilidade das argamassas

A trabalhabilidade de um material pode ser compreendida como a facilidade com que ele tem em se deformar. No presente trabalho foi adotado um diâmetro de espalhamento na mesa de 250 ± 5 mm para todas as formulações, seguindo os

procedimentos da NBR 13276 (2005), utilizando a mesa de consistência (Figura 3) descrita pela NBR 7215 (1996).

Figura 3 - Mesa de consistência



Fonte: (OLESKOWICZ, 2015)

5.2.3 Resistência à compressão das argamassas

Para o ensaio de resistência à compressão (NBR 13279, 2005), foram produzidos 3 corpos de prova para cada formulação, com as dimensões 4 x 4 x 16 cm. A Figura 4 mostra os corpos de prova nos moldes logo após a produção e os mesmos corpos de prova após a desmoldagem, e em processo de cura.

Figura 4 - Corpos de prova utilizados para o ensaio de compressão.



Fonte: O autor, 2015.

Utilizado para compreender o comportamento e a resistência de um material quando submetido a uma carga axial no seu estado endurecido, o ensaio de resistência à compressão foi realizado com 28 dias de cura. A Figura 5 mostra o corpo de prova antes e depois da execução do ensaio, onde é possível observar o corpo de prova rompido devido à carga axial aplicada.

Figura 5 - Ensaio de compressão das argamassas aos 28 dias de cura.



Fonte: O autor, 2015.

5.2.4 Variação dimensional – Retração das argamassas

Para o ensaio de retração (NBR 15261, 2005), o número de corpos foi o mesmo que para a compressão, mas com dimensões distintas: 2,5 x 2,5 x 28,5 cm. Através da Figura 6 é possível observar os corpos de prova utilizados no ensaio de retração logo após o processo de produção e após a desmoldagem, em processo de cura.

Figura 6 - Corpos de prova utilizados no ensaio de retração.



Fonte: O autor, 2015.

O ensaio de retração foi realizado em idades distintas (1, 7, 14, 21 e 28 dias de cura) para avaliar o comportamento da variação da dimensão do material ao longo do tempo. Os resultados são apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Aparelho usado para medir a retração das argamassas.



Fonte: O autor, 2015.

A retração do material é dada pela equação abaixo.

$$\text{Retração (et)} = \frac{Dl}{C} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- et = contração no tempo (%);
- Dl = variação do comprimento (mm);
- C = comprimento efetivo do provete (mm).

5.2.5 Densidade, absorção de água e porosidade aberta das argamassas.

Ensaio realizado conforme a NBR 9778 (2006). A obtenção das variáveis necessárias para os cálculos consiste da:

- Pesagem dos corpos de prova após passarem 24 horas em uma estufa a 100 °C (ms).

- Pesagem das amostras imersa (m_i), depois de 72 horas mergulhadas em água.
- Pesagem dos corpos de prova após a secagem da superfície (m_{sss}).

Os resultados das propriedades físicas foram obtidos utilizando as equações 2, 3 e 4.

$$\text{Densidade aparente} = \frac{m_s}{m_{sss} - m_i} \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{Absorção de água} = \frac{m_{sss} - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

$$\text{Porosidade aberta} = \frac{m_{sss} - m_s}{m_{sss} - m_i} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

- m_s = Massa seca;
- m_i = Massa imersa;
- m_{sss} = Massa superfície saturada seca.

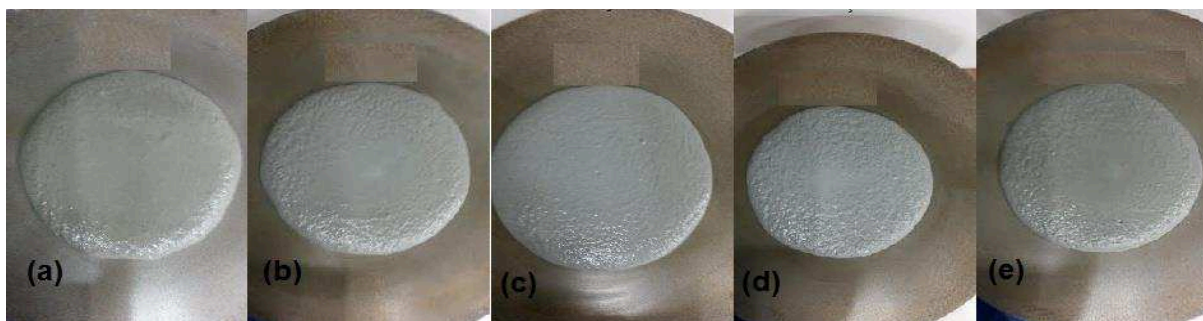
6 RESULTADOS

6.1 RELAÇÃO A/C DAS ARGAMASSAS

Com a inclusão de nano-TiO₂ na mistura, ocorreu uma perda parcial da trabalhabilidade do material. Entretanto, este valor foi facilmente restabelecido com dosagens distintas de H₂O nas misturas, obtendo com isso, amostras com mesma trabalhabilidade.

Como o ensaio é realizado manualmente, a exatidão dos resultados é de extrema dificuldade, por isso foi adotado um valor de abertura de 250 ± 5 mm para todas as formulações. Os resultados do ensaio podem ser observados na Figura 8.

Figura 8 - Ajuste do espalhamento para as formulações: **(a)** 0,0nT + 0,65a/c, **(b)** 0,5nT + 0,67a/c, **(c)** 1,0nT + 0,69a/c, **(d)** 1,5nT + 0,70a/c, **(e)** 0,5nT + 0,65a/c.



Fonte: O autor, 2015.

Os resultados dos teores a/c em relação da variação da quantidade de nano-TiO₂ nas formulações podem ser observados através da Tabela 7. A presença de nano-TiO₂ requereu quantidades distintas de H₂O nas misturas, obtendo uma variação quase que linear.

Tabela 7 - Relação a/c das formulações

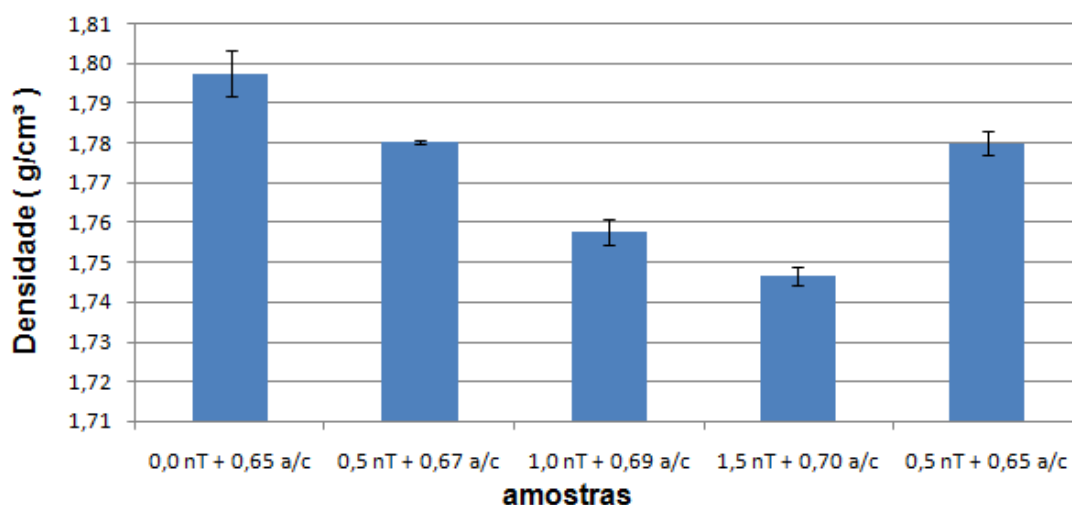
amostras	% titânia	a/c
1	0	0,65
2	0,5	0,67
3	1	0,69
4	1,5	0,70
5	0,5	0,65

Fonte: O autor, 2015.

6.2 DENSIDADE APARENTE, ABSORÇÃO DE ÁGUA E POROSIDADE ABERTA

A Figura 9 apresenta os resultados da densidade aparente das amostras ensaiadas aos 28 dias de cura. Através do gráfico é possível observar uma redução de densidade aparente com o aumento gradativo da nano-TiO₂ nas amostras. Outro fator que poderia ocasionar essa redução seria o aumento da relação a/c. Entretanto, se compararmos as amostras com 0,0nT + 0,65a/c e 0,5nT + 0,65a/c, fica evidente que essa variação de densidade ocorreu pela inclusão da nano-TiO₂ nas amostras. Isso pode ser explicado pelo fato da titânia possuir uma densidade pequena que fica em torno de 0,1 a 0,18 g/cm³, inferior aos demais componentes da mistura que compõem a argamassa. Além disso, quando comparamos as amostras 0,5nT + 0,65a/c e 0,5nT + 0,67a/c, que possuem a mesma quantidade de nano-TiO₂ e diferente relação a/c, não é possível observar a influência da relação a/c nos resultados, reforçando o que havia sido comentado antes sobre a forte influência das nanopartículas sobre os resultados.

Figura 9 - Resultados da densidade aparente das argamassas com 28 dias.



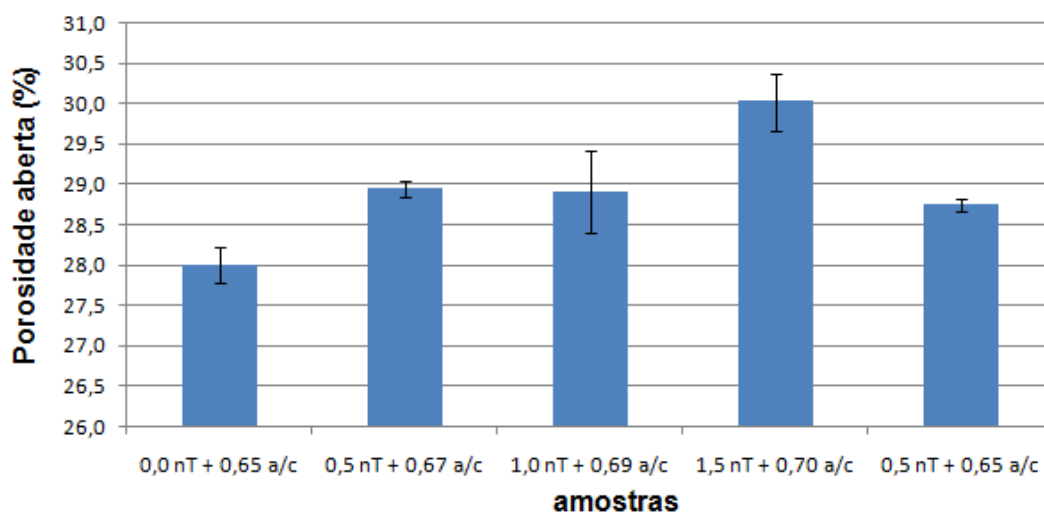
Fonte: O autor, 2015.

Os resultados da porosidade aberta das argamassas com 28 dias de cura podem ser observados através da Figura 10. À medida que aumenta a quantidade de nano-TiO₂ na amostra, aumenta a porosidade, resultado que já era esperado pelo fato da porosidade aberta ser uma propriedade inversamente proporcional à densidade aparente, ou seja, com o aumento da porosidade interna é possível imaginar que a diminuição da densidade aparente seria uma consequência.

Comparando a amostra 0,0nT + 0,65a/c com as amostras 0,5nT + 0,65a/c, observa-se que o responsável pelo aumento da porosidade nas argamassas é a nano-TiO₂, uma vez que 0,5nT + 0,65a/c e 0,5nT + 0,67a/c permaneceram praticamente invariáveis, quando o desvio padrão é levado em consideração.

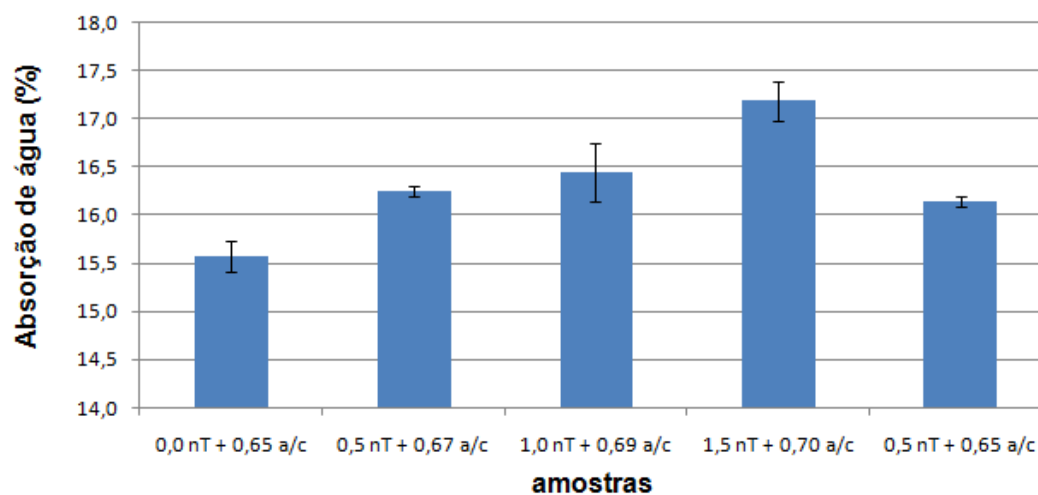
Os resultados da absorção de água para as amostras com 28 dias de cura são apresentados na Figura 11. Observa-se claramente um aumento na absorção de água nas amostras em relação ao aumento da percentagem de nano-TiO₂, isso pode ser explicado pelo fato da absorção de água, assim como a porosidade, também ser uma propriedade inversamente proporcional à densidade aparente. Através da comparação entre as amostras 0,0nT + 0,65a/c, 0,5nT + 0,67a/c e 0,5nT + 0,65a/c, considerando o desvio padrão, fica claro a influência da nano-TiO₂ sobre os resultados.

Figura 10 - Resultados da porosidade aberta das argamassas aos 28 dias.



Fonte: O autor, 2015.

Figura 11 - Resultados da absorção de água das argamassas aos 28 dias.



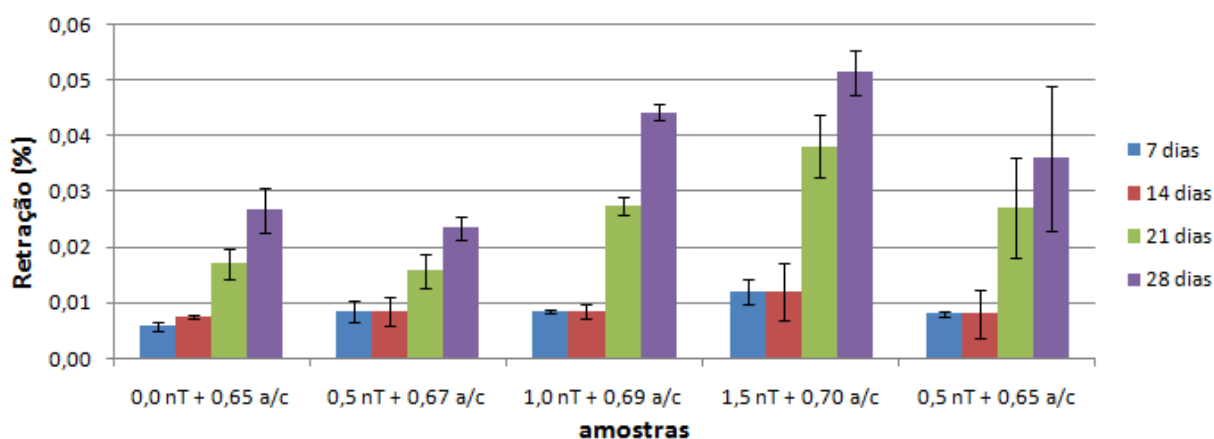
Fonte: O autor, 2015.

6.3 VARIAÇÃO DIMENSIONAL - RETRAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Para a obtenção dos resultados da variação dimensional das argamassas foram verificados dados para a retração em 7, 14, 21 e 28 dias (Figura 12) de cura.

Analisando os resultados obtidos pode-se observar a pequena variação dimensional das amostras nos primeiros dias de cura e um aumento mais significativo após os 14 dias. Tal comportamento não era o esperado uma vez que normalmente a retração mais intensa ocorre nos primeiros dias, onde o material perde mais água e conseqüentemente retrai mais. Além disso, é perceptível o aumento da retração conforme varia a relação a/c e a quantidade de nano-TiO₂ nas misturas. Esse resultado já era previsto, pois a variação dimensional das argamassas é uma propriedade diretamente proporcional à porosidade. Ao compararmos as amostras 0,0nT + 0,65a/c, 0,5nT + 0,67a/c e 0,5nT + 0,65a/c, fica evidente a influência da nano-TiO₂ na propriedade física.

Figura 12 - Variação dimensional das argamassas aos 7, 14, 21 e 28 dias de cura.



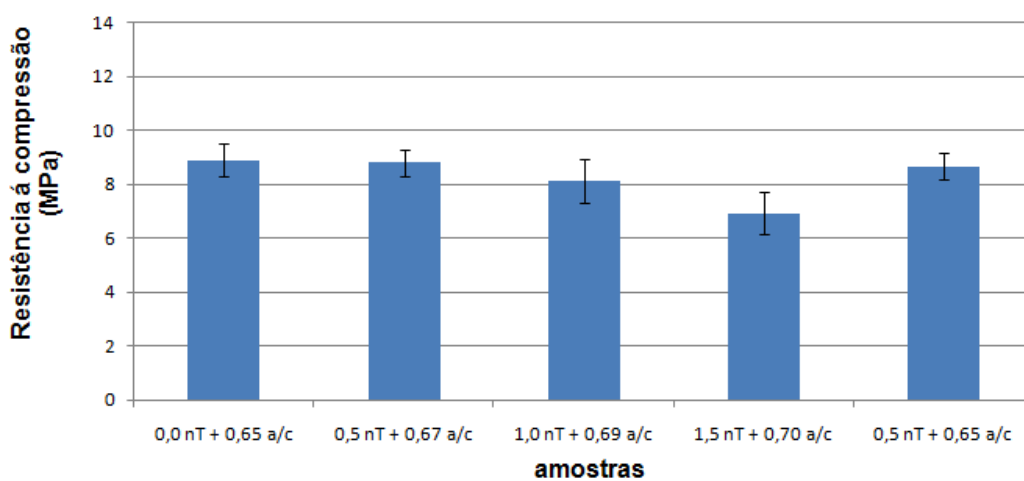
Fonte: O autor, 2015.

6.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS ARGAMASSAS

Os resultados médios obtidos através do ensaio de resistência à compressão, utilizando três corpos de prova para cada formulação após um período de 28 dias de cura são apresentados através da Figura 14. Aumentos sucessivos de nano-TiO₂ e H₂O nas amostras implica na redução da resistência à compressão, já considerando o desvio padrão. Essa redução fica evidenciada apenas quando comparado com a amostra 1,5nT + 0,70a/c, esse resultado pode ser explicado tanto pelo aumento da

porosidade aberta nos corpos de prova, cuja propriedade é uma função direta da resistência à compressão, como pelo espaço ocupado pela TiO_2 , que eventualmente seria ocupada por algum aglomerante. A comparação da amostra $0,5\text{nT} + 0,65\text{a/c}$, com as amostras $0,0\text{nT} + 0,65\text{a/c}$ (referência) e $0,5\text{nT} + 0,67\text{a/c}$, não permitiu uma clara definição sobre o principal fator (TiO_2 ou H_2O) responsável por tal redução da resistência à compressão.

Figura 13 - Resultados da resistência à compressão das argamassas com 28 dias de cura.



Fonte: O autor, 2015.

7 CONCLUSÕES

A presença de nano-TiO₂ causou variações nas propriedades físicas e mecânica em diferentes níveis para as argamassas estudadas neste trabalho. Porém, as propriedades físicas sofreram maiores influências, quando comparado resistência à compressão.

A adição gradativa de nano-TiO₂ reduziu a trabalhabilidade das misturas, mas esse impacto negativo foi facilmente compensado através de dosagens adicionais de água.

A adição de nano-TiO₂ resultou em menores valores de densidade aparente, mas aumentaram a porosidade aberta e absorção de água aos 28 dias de cura, confirmando a existência da relação inversa entre a primeira propriedade e as duas últimas, normalmente observada em materiais porosos.

A retração sofreu variações distintas, sendo mais visível somente após 14 dias de cura. Além disso, valores mais intensos foram observados para as amostras com maiores porosidades. Quanto à resistência à compressão, variações menores foram observadas em relação à amostra de referência, não evidenciando o fator (nano-TiO₂, relação a/c) responsável por essa pequena variação dos resultados.

A estimativa dos efeitos revelou que a nano-TiO₂ foi a principal responsável pelas alterações nas propriedades físicas e mecânica da argamassa de revestimento até os 28 dias de cura. Entretanto, tais alterações não foram suficientes a ponto de torná-las inviáveis em termos de aplicação. Além disso, as amostras com 0,5nT + 0,67a/c e 1,0nT + 0,69a/c, no geral, foram as que melhor atenderam as propriedades estudadas nesse trabalho. Portanto, pode-se concluir, por questões econômicas, que a formulação 0,5nT + 0,67a/c é a mais indicada para aplicar na argamassa de revestimento estudada, levando em conta as propriedades estudadas.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A introdução de nano-TiO₂ em argamassas é um estudo pouco ainda explorado no mundo, mas que vem crescendo nos últimos anos, já se sabe que a nano-TiO₂ influencia algumas propriedades físicas e mecânicas das argamassas, porém não se sabe os efeitos que esse material pode causar a longo tempo, algumas propriedades não foram exploradas nesse trabalho e que podem ser de interesse para trabalhos futuros, como:

- O efeito fotocatalítico da argamassa comercial.
- O efeito causado pela introdução de nano-TiO₂ na argamassa comercial ao longo prazo.
- Estudar a influência da temperatura nas propriedades mecânicas e físicas da argamassa comercial contendo a nano-TiO₂.
- Estudar o efeito da inclusão de outras adições junto à argamassa comercial e a nano-TiO₂.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Guia básico de utilização do cimento portland. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de revestimentos de argamassa**. Manual. 2003.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5732**: cimento portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas – requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211**: agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2005. 9p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7215**: Cimento Portland – determinação da resistência a compressão, anexo B. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2006. 3p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. 2011.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação a resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 9p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15261**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005. 6p.

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H.. Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003.

ARAÚJO, Regina Célia Lopes; RODRIGUES, Edmundo Henrique Ventura; FREITAS, Edna das Graças Assunção. Materiais de construção. Seropédica (RJ): Universidade Rural, 2000. 209p. il.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia. Brasília. Agosto de 2013. Disponível em: WWW.nano.mct.gov.br/noticias/iniciativa-brasileira-de-nanotecnologia-2013-08-20/. Acesso em 29 de outubro de 2014.

BRITO, Ana Cristina Facundo de; PONTES, Daniel de Lima. **A Indústria na era dos nanomateriais**. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/albinonunes/disciplinas/quimica-experimental/industria-quimica/cap-8>>. Acesso em: 25 out. 2015.

CARDOSO, Fabio A.; PILEGGI, Rafael G.; JOHN, Vanderley M.. Caracterização reológica de argamassas pelo método de squeeze-flow. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSA, VI., 2005, Florianópolis. **Anais...** . Florianópolis: Sbta, 2005. p. 1 - 23.

CARDOSO, F. A., Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico. São Paulo, 2009.

CARVALHO, A. C; PESCAROLO, A; SIMIONI, A. C.. Uso de Argamassa Cimentícia com Adição de Dióxido de Titânio para Remoção de SO₂ do Ar. Trabalho de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

CASAGRANDE, César Augusto. **Estudo da incorporação de partículas de titânia em argamassas fotocatalíticas**. Florianópolis, 2012. 103 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Poluentes. Governo do Estado de São Paulo. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br/solo/vegetacao/43-poluentes. Acesso em 31 de outubro de 2014.

CÓNSUL, J. M. A; THIELE, D; VESES, R.C; BAIBICH, I. M; DALLAGO, R. M. Decomposição catalítica de óxidos de nitrogênio. Quím. Nova vol. 27 no. 3 São Paulo mai/jun 2014.

DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineral. TITÂNIO. Balanço Mineral Brasileiro 2001. Disponível em: www.dnpm.gov.br/ASSETS/GALERIADOCUMENTO/BALANCOMINERAL2001/TITANIO.PDF. Acesso em 30 de outubro de 2014.

GAZZONI, D. L. Nanotecnologia. Cultivar, Pelotas, v. 7, n. 79, p. 40, Nov. 2015.

GUIMARÃES, J. E. P. A cal – fundamentos e aplicações na engenharia civil. 2. ed. São Paulo: Pini, 2002.

HANUS, Monica J; HARRIS, Andrew T. Nanotechnology innovations for the construction industry. Progress in Materials Science 58 (2013) 1056 -1102.

ILHA, Jackson. **Degradação fotocatalítica de fenol utilizando nanofios de dióxido de titânio modificados com nitrogênio**. 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2012.

INFO. São Paulo gasta R\$ 246,2 milhões em saúde devido à poluição. Setembro de 2013. Disponível em: www.info.abril.com.br/noticias/tecnologias-verdes/2013/09/sao-paulo-gasta-r-246-2-milhoes-em-saude-devido-a-poluicao.shtml. Acesso em 31 de outubro de 2014.

LACEY, M. E. Q; SCHIRMER, W. N.. Photocatalysis and its user for indoor deodorization and disinfection. Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais V. 4 N. 2 Maio/Ago. 2008.

MAZALI, I. O. **Determinação da densidade de sólidos pelo método de Arquimedes**. Apostila. UNICAMP – Campinas, 2005.

MELO NETO, Antonio Acacio de. **Estudo da retração em argamassa com cimento de escoria ativada**. 2002. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MELO, Valquiria Silva. Nanotecnologia aplicada ao concreto: efeito da mistura física de nanotubos de carbono em matrizes de cimento portland. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 2009.

MINERAIS DO PARANÁ S.A – MINEROPAR. **Programa de Desenvolvimento da Indústria Mineral Paranaense**. Curitiba: MINEROPAR, 1999. 44 p.

NASCIMENTO, J. M. Miranda do. Avaliação da Influência dos Revestimentos no Comportamento Mecânico de Paredes de Alvenaria ao Corte. Porto, junho de 2009. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia da Universidade do porto. Departamento de Engenharia Civil.

OLESKOWICZ, Alex Valentim. **A influência da adição de nanotitânia e fibras poliméricas em argamassas usadas em paredes de tijolos solo-cimento.** 2015. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Centro de Engenharias da Mobilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

OLIVEIRA, Maria Luiza Lopes de. **INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO EM ARGAMASSAS.** 2001. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

PARAMÈS, J; DE BRITO, J. - Self-cleaning nanotechnologic construction materials. Teoria e Prática na Engenharia Civil, N.15, P.55-62, ABRIL, 2010.

PASCHOALINO, Matheus P. ; MARCONE, Glauciene P. S. ; JARDIM, Wilson F.. OS NANOMATERIAIS E A QUESTÃO AMBIENTAL. Inst. de química, Universidade Estadual de Campinas . Quim. Nova, Vol. 33, No. 2, 421-430, 2010.

PEÑA, Manuel Ramón Grullón. **Estudo da fissuração associada à retração em argamassas para reparo em estruturas de concreto.** 2004. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

Product information. **AEROXIDE TiO₂ P25.** Disponível em: <<https://www.aerosil.com/www2/uploads/productfinder/AEROXIDE-TiO2-P-25-EN.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. Influência do tipo da cal hidratada na reologia de pastas. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. Boletim Técnico n. 233.

RATO, Vasco Nunes da Ponte Moreira. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas.** 2006. 294 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2006.

ROMANO, C. A. **Apostila de tecnologia do concreto.** Apostila. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. 2004.

SANTIAGO, CC. Argamassas tradicionais de cal [online]. Salvador: EDUFBA, 2007. 202 p. ISBN

SANTOS, Altair. Nanotecnologia impulsiona nova revolução do concreto - Massa cinzenta. Abril de 2011. Disponível em: www.cimentoitambe.com.br/nanotecnologia-impulsiona-nova-revolucao-do-concreto. Acesso em 28 de outubro de 2014.

SEGURA, Ricardo. O futuro é minúsculo: veja como os nanomateriais vão mudar a sua vida. Info. 2014. Disponível em: www.info.abril.com.br/noticias/ciencia/2014/05/o-futuro-e-minusculo-veja-como-os-nanomateriais-va-mudar-sua-vida.shtml. Acesso em 29 de outubro de 2014.

SENN, L. et al. The influence of TiO₂ nanoparticles and polyacrylonitrile fibers on the rheological behavior and hardened properties of mortars. **Construction And Building Materials**, v. 75, p.315-330.

SILVA, Narciso Gonçalves. **ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE CIMENTO, CAL E AREIA BRITADA DE ROCHA CALCÁRIA**. 2006. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Setor da Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

STELLMAN, J. M. Encyclopedia of Occupational Health and Safety: Chemical, industries and occupations. 4 ed. International Labour Organization, 1998.

ULSEN, Carina. Caracterização e separabilidade de agregados miúdos produzidos a partir de resíduos de construção e demolição. ed. ver. São Paulo, 2011.