

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LAVRAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ENSAIOS DE CONCRETO AUTOLIMPANTE PARA UTILIZAÇÃO NA
CONSTRUÇÃO CIVIL

TIAGO LUIZ SCHULZ

LAVRAS-MG

2020

TIAGO LUIZ SCHULZ

**ENSAIOS DE CONCRETO AUTOLIMPANTE PARA UTILIZAÇÃO NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Monografia apresentada ao Centro
Universitário de Lavras, como parte das
exigências do curso de graduação em
Engenharia Civil.

ORIENTADORA

Prof. Ms. Marisa Aparecida Pereira

CONVIDADO

Prof. Ms. Hafez Tadeu Sadi Júnior

PRESIDENTE

Prof.^a. Esp. Gabriela Bastos Pereira

LAVRAS-MG

2020

Ficha Catalográfica preparada pelo Setor de Processamento
Técnico da Biblioteca Central do UNILAVRAS

S388e Schulz, Tiago Luiz.
Ensaio de concreto autolimpante para utilização na
construção civil/ Tiago Luiz Schulz. – Lavras: Unilavras,
2020.
60 f.:il.

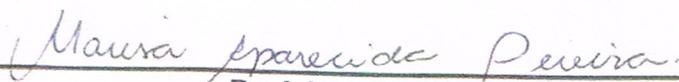
Monografia (Graduação em Engenharia Civil) –
Unilavras, Lavras, 2020.
Orientador: Prof. Marisa Aparecida Pereira.

1. Sustentabilidade. 2. Fotocatálise. 3. Dióxido de
titânio. 4. Cimento. I. Pereira, Marisa Aparecida (Orient.).
II. Título.

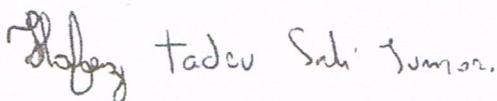
CDD 624

Centro Universitário de Lavras – UNILAVRAS

Monografia intitulada “Ensaio do Concreto Autolimpante para utilização na **Construção Civil**”, de autoria do graduando **Tiago Luiz Schulz**, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:



Prof. Ms. Marisa Aparecida Pereira
ORIENTADORA



Prof. Ms. Hafez Tadeu Sadi Júnior
CONVIDADO



Prof. Esp. Gabriela Bastos Pereira
PRESIDENTE DA BANCA

À minha mãe Maria Cristina Schulz,
que além de ter me dado a vida,
ensinou-me princípios e valores para
que eu viesse a me tornar um bom
ser-humano. Minha amada mãe,
obrigado por tudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus, por ter me proporcionado a vida e a oportunidade de fazer curso que eu gosto.

À minha orientadora, Prof^ª. Ms. Marisa Aparecida Pereira, por não poupar esforços para transferir seus conhecimentos.

Aos meus familiares, por terem me apoiado e compreendido as minhas ausências durante esse tempo de curso.

Ao meu irmão, André Rodrigo Schulz Santos, por sempre ter sido um exemplo de caráter, esforço e honestidade, sempre fazendo o seu melhor em tudo na vida.

À minha irmã, Janaína Cristina Schulz Santos, que me faz acreditar que tudo é possível, tendo muita coragem ao encarar desafios e nunca me deixa desistir dos meus sonhos.

À minha esposa, Dulceléa Aparecida Firmino Schulz, por sempre me apoiar e por vezes suportar minha impaciência devido às provas e trabalhos acadêmicos, e apesar disso sempre estar ao meu lado.

Aos meus filhos, Thales e Théo, que são inspiração para que eu queira ser cada vez mais um ser-humano melhor e que despertam o que há de melhor em mim.

Aos meus colegas de classe, por todo o tempo em que passamos estudando e nos ajudando, e em especial à Nádisson Oliveira Macêdo por todo o tempo que passamos estudando arduamente, e por ser um amigo para todas as horas.

Ao ex-aluno Bruno Resende Pimenta, por toda a ajuda e pelo companheirismo, e por ter se tornado mais do que um parceiro de pesquisa, mas um amigo que levarei para a vida toda.

Ao técnico administrativo Cláudio Henrique da Silva, pela ajuda e suporte durante todo o projeto.

Ao ex-professor Paulo Renato (Curió), por fazer da sala de aula mais do que um local de ensino acadêmico, mas também um local de aprendizados para a vida.

E aos demais professores por sempre estarem buscando transmitir todo o conhecimento possível e procurando novos meios de otimizar o ensino.

À FAPEMIG por ter me proporcionado a bolsa de estudos para que essa pesquisa pudesse ser realizada.

*“Os sábios são os que mais buscam a
sabedoria. Os tolos pensam já tê-la encontrado”.*

Napoleão Bonaparte (1769-1821)

RESUMO

Ao longo do tempo, os revestimentos de fachada permanecem expostos a diversos agentes de degradação, sejam eles associados aos próprios materiais empregados ou a fatores externos. Essa exposição implica em manchas formadas a partir da deposição de partículas poluentes na superfície dos revestimentos, elevando seus custos para limpeza e manutenção. Uma vez que permanecem expostas à radiação solar, as fachadas se mostram atraentes ao uso de materiais fotocatalíticos, os quais catalisam a mineralização de agentes poluentes, transformando-os em produtos inócuos. A adição de dióxido de titânio (TiO_2) pode resultar em superfícies autolimpantes, reduzindo a formação de manchas e mantendo sua coloração original ao longo do tempo. Portanto, busca-se avaliar a capacidade autolimpante do concreto fotocatalítico com adição de TiO_2 expostas ao microclima urbano da cidade de Lavras. Para isto, serão confeccionadas amostras de concreto utilizando-se o cimento branco estrutural CPB 40 contendo diferentes teores de TiO_2 , onde serão manchados com Rodamina B e lodo de cinzas da queima de eucalipto e, posteriormente, expostos diretamente ao ambiente externo. Ao longo do período de exposição, serão realizadas leituras colorimétricas tendo em vista a descoloração dos manchamentos aplicados. Além de teste a resistência compressão e absorção de água.

Palavras-chave: sustentabilidade; fotocatalise; dióxido de titânio; cimento; espectrofotometria.

ABSTRACT

Over time, facade coatings remain exposed to various degradation agents, whether associated with the materials employed or external factors. This exposure involves stains formed from the deposition of pollutant particles on the surface of the coatings, raising their costs for cleaning and maintenance. Since they remain exposed to solar radiation, the facades are attractive to the use of photocatalytic materials, which catalyze the mineralization of pollutants, transforming them into innocuous products. The addition of titanium dioxide (TiO_2) can result in self-cleaning surfaces, reducing the formation of stains and maintaining their original coloration over time. Therefore, it is sought to evaluate the self-cleaning capacity of photocatalytic concrete with addition of TiO_2 exposed to the urban microclimate of the city of Lavras. For this, concrete samples will be made using the structural white cement CPB 40 containing different levels of TiO_2 , where they will be stained with Rodamina B and sludge from the burning of eucalyptus and later exposed directly to the external environment. Throughout the exposure period, colorimetric readings will be carried out in view of the discoloration of the applied patches. In addition to testing the compressive strength and water absorption.

Keywords: sustainability; photocatalysis; titanium dioxide; cement; spectrophotometry.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1. Titânio	15
2.2. Dióxido de Titânio.....	16
2.3. Cimento Branco	18
2.4. Efeito fotocatalítico.....	19
2.5. Conceitos do Concreto Autolimpante.....	22
2.6. Rodamina B.....	23
2.7. Cinzas	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1. Moldagem dos Corpos de Prova e Placas de Concreto	24
3.1.1 Materiais Utilizados	26
3.1.2 Cimento Branco Estrutural	26
3.1.3 Agregado miúdo	26
3.1.4 Agregado graúdo	26
3.1.5 Água.....	26
3.1.6 Dióxido de Titânio.....	26
3.2. Ensaio de Compressão Axial dos Corpos de Prova.....	27
3.3. Manchamentos.....	27
3.3.1 Rodamina B.....	28
3.3.2 Cinzas	28
3.4. Procedimentos	28
3.4.1 Confecção dos Corpos de Prova.....	28
3.4.2 Ensaio de Compressão Axial.....	34
3.4.3 Manchamentos.....	35

3.4.4	Ensaio de Absorção por Imersão	40
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1.	Ensaio de Compressão Axial	43
4.2.	Ensaio de Absorção por Imersão	47
4.3.	Manchamentos	50
5.	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
	ANEXOS	58

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro quadrado
fck	Resistência característica à compressão do concreto
fcmj	Resistência média à compressão do concreto
m	Metro
mm	Milímetro
m ²	Metro quadrado
MG	Minas Gerais
nm	Nanômetro
NBR	Norma Brasileira
TiO ₂	Dióxido de titânio

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do Processo Kroll.....	15
Figura 2 - Mecanismo da ação autolimpante.....	21
Figura 3 - Esquema do mecanismo da fotocatálise.....	21
Figura 4 - Moldes metálicos para a confecção dos corpos de prova.....	24
Figura 5 - Pesagem do cimento	29
Figura 6 - Pesagem da areia	30
Figura 7 - Pesagem da brita	30
Figura 8 - Pesagem da água.....	31
Figura 9 - Pesagem do dióxido de titânio	31
Figura 10 - Concreto nas formas.....	32
Figura 11 - Corpos de prova deformados.....	33
Figura 12 - Corpos de prova e placas submersos no tanque.....	33
Figura 13 - Rompimento dos corpos de prova	34
Figura 14 - Pesagem da Rodamina B	35
Figura 15 - Placas de concreto imersas em solução aquosa	36
Figura 16 - Cinzas antes do peneiramento	36
Figura 17 - Peneira fina e colher de jardinagem.....	37
Figura 18 - Materiais retidos na peneira	37
Figura 19 - Cinzas após peneiramento	38
Figura 20 - Solução de água e cinzas	38
Figura 21 - Placas manchadas com Rodamina B	39
Figura 22 - Placas manchadas com cinzas	39
Figura 23 - Amostras de concreto sendo saturadas.....	40
Figura 24 - Amostra de concreto saturada sendo pesada.....	40
Figura 25 - Amostras de concreto durante o processo de secagem	41
Figura 26 - Amostra de concreto seca sendo pesada	42
Figura 27 - Placas no primeiro dia de exposição.....	51
Figura 28 - Placas no terceiro dia de exposição.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Esquema da moldagem dos corpos de prova	25
Tabela 2 - Resultado do teste estatístico para cada teor de TiO_2	47
Tabela 3 – Tabela dos valores de massas saturadas e secas, com seus respectivos resultados.....	48
Tabela 4 - Classificação do concreto de acordo com seu teor de absorção de água	50
Tabela 5 - Classificação do concreto para cada concentração de TiO_2	50
Tabela 6 – Cronograma para medição visual de limpeza das placas	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação entre resistência e tempo de cura sem adição de TiO_2	43
Gráfico 2 - Relação entre resistência e tempo de cura com adição de 5% de TiO_2 ..	44
Gráfico 3 - Relação entre resistência e tempo de cura com adição de 10% de TiO_2	44
Gráfico 4 - Relação entre resistência e tempo de cura com adição de 15% de TiO_2	45
Gráfico 5 - Relação entre resistência e tempo de cura com adição de 20% de TiO_2	45
Gráfico 6 - Relação entre resistência e adição de TiO_2	46
Gráfico 7 - Relação entre absorção de água e adição de TiO_2	49

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos houve um aumento na utilização de fachadas com revestimento em concreto aparente, essas fachadas tendem a sofrer mais com as ações do intemperismo e da poluição, desenvolvendo manchas superficiais, e assim, há um aumento significativo do custo com a manutenção e limpeza.

Pesquisas demonstram que o dióxido de titânio (TiO_2) atua como excelente fotocatalisador e é eficaz para a obtenção de alguns tipos de superfícies autolimpantes, manifesta-se a hipótese de que o material possa ser introduzido no traço do concreto, com o objetivo de reduzir manchas nas fachadas. Deste modo, retardando a velocidade com que as superfícies das edificações ficam sujas ou manchadas, elimina-se a necessidade de realizar limpezas tão frequentes, reduzindo os custos e melhorando a estética visual da paisagem urbana.

É preciso avaliar a qualidade dos materiais desenvolvidos com o TiO_2 , garantir que o mesmo mantenha as suas propriedades ao longo de sua vida útil e verificar a sua viabilidade, para que este produto possa ser inserido no mercado construtivo com credibilidade. Diante do cenário exposto é justificada a necessidade e importância desta pesquisa.

O projeto tem como objetivo geral avaliar a eficiência de autolimpeza do concreto branco acrescido de dióxido de titânio com diferentes teores em relação ao cimento, expostos ao ambiente urbano da cidade de Lavras - MG, frente as variações climáticas da cidade. Como objetivo específico da pesquisa foi avaliada a resistência a compressão do concreto, para saber se o dióxido de titânio interfere ou não nessa resistência, e também foram realizados testes de absorção de água com a finalidade de se verificar a influência do TiO_2 na absorção de água.

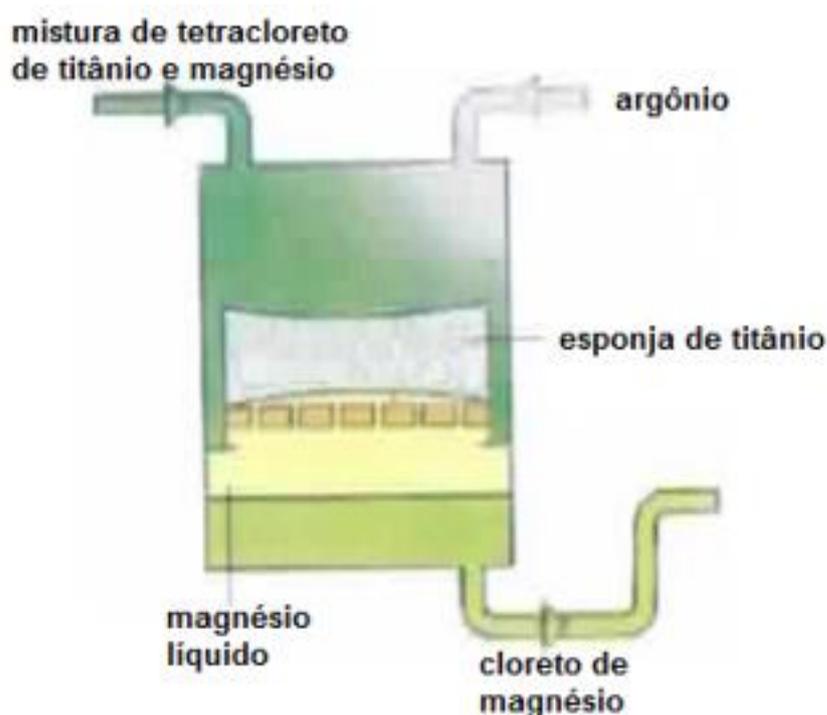
2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Titânio

O nome titânio tem origem da palavra grega *titanes*, que na mitologia grega é um dos filhos de Gaia (terra) e Urano (Céu). Este elemento químico foi descoberto em 1791, na Inglaterra, por Willian Justin Gregor, durante uma experiência de tratamento de ilmenita (FeTiO_3) com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido clorídrico (HCl) concentrado. Porém, só recebeu sua denominação em 1794, quando o químico alemão Heimich Klaproth o determinou em uma amostra de rutilo (TiO_2) (LAROUSSE & NOVA CULTURAL, 1998).

Um dos procedimentos para a obtenção de titânio é o processo Kroll mostrado na figura 1. Este processo consiste na passagem de uma corrente de cloro no minério aquecido em presença do carbono. O tetracloreto de titânio assim obtido é então reduzido por magnésio fundido, a vácuo ou em atmosfera de gás inerte. O titânio obtido se apresenta em forma de esponja e deve ser refundido em forno elétrico (LAROUSSE & NOVA CULTURAL, 1998).

Figura 1 - Esquema do Processo Kroll.



Fonte: Larousse & Nova Cultural (1998).

A produção de titânio é obtida com base em depósitos primários ou secundários. Nos depósitos primários, o titânio raramente é encontrado em concentrações economicamente aproveitáveis. Os minerais de titânio ocorrem associados aos minerais de ferro. Já nos depósitos secundários, também chamados de depósitos de placers, que são localizados nas áreas de praias onde o material quartzo é o mineral predominante, podem existir simultaneamente os minerais ilmenita e rutilo (BALTAR, 2008).

O titânio é um metal branco de alta densidade ($4,5 \text{ g/cm}^3$), alto ponto de fusão (1670°C), estabilidade térmica, grande capacidade de dispersão, excelente resistência à corrosão (semelhante à da platina), ótima característica mecânica (semelhantes às do aço) e pouco reativa em temperatura ambiente. Se aquecido, forma componente estáveis, dura e refratária (BALTAR, 2008).

Essas características permitem o uso deste elemento em aplicações industriais, como fabricação de turbinas para aviões supersônicos, próteses dentárias e tubulações em água do mar. Também, é utilizado em indústrias metalúrgicas, químicas, elétricas, cerâmicas, etc. (FROES, 1987).

Mesmo assim, o maior uso, cerca de 90% dos concentrados de minerais produzidos no mundo, é na produção de dióxido de titânio (GONZÁLEZ-BARROS, BARCELO, 1997).

O titânio é o nono elemento mais abundante na Terra, geralmente associado com oxigênio e ferro. Pode ser encontrado em rochas ígneas e sedimentos derivados desta rocha. Os principais minerais constituídos por titânio são: dióxido de titânio (TiO_2), ilmenita (FeTiO_3), perovskita (CaTiO_3), titanita (CaTiSiO_5) (AMORIM NETO; ALMEIDA, 2009).

2.2. Dióxido de Titânio

O dióxido de titânio é um pigmento estável, com alta resistência à mudança de cor, estabilidade térmica, excelente poder de cobertura e não tóxico. Por estes motivos, é utilizado como pigmento branco, sensor de gás, camada óptica, células solares, etc. Sendo as indústrias de tintas (57%), papel (13%), borracha e tintas para impressão os maiores consumidores (BALTAR, 2008).

Entre os semicondutores, o dióxido de titânio tem demonstrado ser, até o momento, o semicondutor mais adequado para o processo fotocatalítico. Processos que constituem, especialmente, despoluição de águas contaminadas com micro poluente orgânico, geração de gás hidrogênio e sistemas antiembaçantes e autolimpantes para espelhos (COSTA, 2006).

Além da despoluição de águas, o dióxido de titânio está sendo estudado, com o patrocínio da NASA, para eliminar o gás etileno de locais para armazenamento de frutas e vegetais (projeto Bio-Kes) e para eliminar microrganismos patogênicos do ar, principalmente os utilizados para bioterrorismo, como *Anthrax* (projeto AiroCide TiO_2) (SANTOS, 2016).

Existem diversos compostos que, quando em contato com o dióxido de titânio, se degradam. Pesticidas, dioxinas, álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, éteres, aminas, tioéteres, mercaptanas quando reagem com o dióxido de titânio geram formas não tóxicas (RODRÍGUEZ, 1996).

Além disso, o dióxido de titânio é um biocida, capaz de reagir com a maioria das moléculas biológicas, inativando alguns microrganismos, como *Lactobacillus acidophilus*, *Sacharomyces cerevisiae* e *Escherichia Coli* (NOGUEIRA, JARDIM, 1998). O dióxido de titânio (TiO_2) apresenta-se na forma de um pó ultrafino (nano partículas), com tamanho de partícula variando de 50 a 100 nm. As matérias primas para sua produção são a ilmenita, o rutilo, o rutilo sintético, o leucóxeno e a anatase natural. A ilmenita é encontrada em depósitos naturais na Noruega, Rússia, Finlândia, Canadá e Estados Unidos. Também pode ser encontrada em areias de fácil processamento na África do Sul, Austrália, Índia, Brasil, Malásia e Egito. A Austrália é o maior produtor do TiO_2 na forma cristalina rutilo. No Brasil são encontrados os depósitos mais ricos do mundo de anatase natural (FERREIRA, 2005).

Anatase (TiO_2) também é conhecida como octaedrita, sendo um produto de alteração do rutilo e da brookita. Cristaliza-se no sistema tetragonal, na coloração castanha no estado natural, contendo de 98,4 a 99,8 % de TiO_2 (MAIA, 2001).

O dióxido de titânio é produzido por meio desse processo, que consiste em reagir ilmenita (ou a escória de titânio) com ácido sulfúrico (H_2SO_4) quente, resultando na formação de sulfatos de titânio, ferroso e férrico (posteriormente, reduzido a ferroso). O sulfato ferroso é removido, após o resfriamento, por

centrifugação. Em seguida, a solução ácida de sulfatos de titânio é hidrolisada com soda cáustica, formando hidróxido de titânio que é precipitado, por hidrólise, filtrado e calcinado. No entanto, o interesse por esse processo tem diminuído em função de produzir pigmento de qualidade inferior para a maioria das aplicações e, também, de problemas ambientais decorrentes da grande quantidade de rejeito gerado na forma de sulfato de ferro. Cada tonelada de dióxido de titânio obtida pelo processo via sulfatação gera 7,0 toneladas de resíduos, enquanto pelo processo de cloretação a relação é de 1:1. O processo por sulfatação produz a forma de pigmento denominado anatase, sendo o tipo mais indicado para uso em indústrias de papel, cerâmica e tinta para impressão (BALTAR et al., 2005).

Lim (2000) ressalta que o dióxido de titânio (TiO_2) apresenta três estruturas cristalinas: anatase (tetragonal), rutilo (tetragonal), e brookite (ortorrômbica). A aplicação de TiO_2 , na forma anatase como purificador de ar foi impulsionado no Japão em 1996. O tipo anatase é mais amplamente usado porque tem maior eficiência como fotocatalítico que os outros tipos de TiO_2 (MGUIG et al., 2004).

2.3. Cimento Branco

O cimento branco é produzido pela pulverização de um clínquer de cimento Portland branco, onde através da diminuição do teor de ferro do clínquer (responsável pela cor cinza do clínquer do cimento comum) pode-se produzir cimentos de cores claras. Os teores de óxidos de ferro e manganês deste cimento devem ser inferiores a 0,5% em massa. Estas condições são alcançadas usando-se argila e rochas carbonatadas sem ferro como matéria-prima na fabricação do cimento, moinhos especiais de bolas com revestimentos e bolas de cerâmica para triturar a mistura da matéria-prima e um combustível limpo tal como óleo ou gás para a produção do clínquer em atmosfera redutora na zona de alta temperatura do forno rotativo de cimento. Assim, além da matéria prima ser mais cara, o preço da moagem é maior. Como consequência, o custo deste tipo de cimento é cerca de três vezes maior do que o custo do cimento cinza (METHA E MONTEIRO, 1994; HAMAD, 1995; NEVILLE, 1997).

Os materiais inertes passíveis de serem utilizados em concretos de cimento Portland branco são inúmeros, desde os calcários e areias silicosas aos inertes de

mármore, granito, entre outros, dependendo da cor e dos efeitos estéticos pretendidos (NERO E NUNES, 2000). Os autores atentam para a alteração do teor de argila ou outro material que poderá ocorrer durante o fornecimento, que mesmo que seja baixo, constitui um risco para a homogeneidade da mistura, principalmente da cor.

Em nível de produção do concreto, os materiais utilizados devem ser escolhidos e lavados, com especial cuidado quanto à tonalidade e limpeza dos mais finos. Segundo a *Portland Cement Association* (PCA, 1999), são as partículas do agregado miúdo que fornecem ao concreto a cor predominante, sendo que agregados escuros podem influir na cor final do concreto, já que é o agregado miúdo que envolve o agregado graúdo, mesmo quando utilizado cimento Portland branco porque são os finos que preenchem os espaços entre os agregados graúdos que definirão a tonalidade da mistura. Isto ocorre pela elevada quantidade de agregado miúdo em proporção ao cimento. A cor do agregado graúdo não irá influenciar tanto quanto a do miúdo.

2.4. Efeito fotocatalítico

Para Coimbra (2016), o desenvolvimento e pesquisas de concretos com efeito fotocatalítico que promovem a autolimpeza da superfície exposta e que combatem a poluição representam importante avanço na tecnologia do concreto aparente em favor da sustentabilidade.

Um dos problemas da utilização do concreto aparente é que, em contato com o meio ambiente, ao decorrer do tempo, tem sua qualidade estética diminuída devido ao acúmulo progressivo de partículas de “sujeira” em sua superfície, que pode ocorrer em função da deposição de partículas poluentes atmosféricas (de origem natural- ventos, vulcões - ou produzidas pelas atividades humanas) da proliferação de microrganismos ou por mau uso (pichação) sendo necessário portanto constante manutenção (GAYLARDE, 2005).

A forma de uso, as propriedades superficiais do concreto como rugosidade, porosidade, permeabilidade, as características da construção, como os detalhes construtivos, e, o entorno com seu microclima, como sentido e intensidade de incidência de vento, de chuva, quantidade e tipos de poluentes, entre outros, são

fatores que influem no desempenho e no grau de deterioração da superfície da estrutura de concreto aparente ao longo de sua vida útil (COIMBRA, 2016).

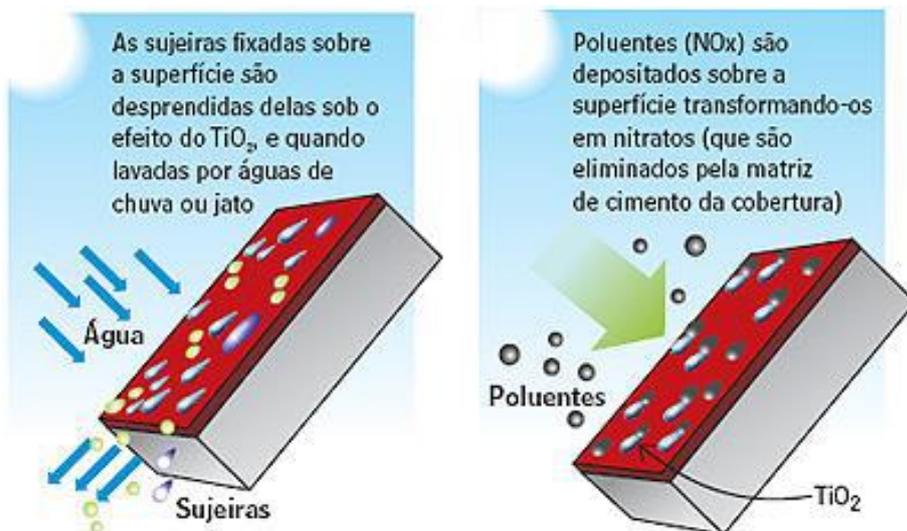
Os sistemas de proteção superficial têm vida útil reduzida em relação ao concreto, o que resulta em procedimentos e custos de manutenção da estrutura. Para solucionar este problema várias soluções têm sido propostas e patenteadas, dentre elas, a tecnologia de concretos com efeito fotocatalítico, que, segundo descrito por Calcia (2016), aproveita de forma útil, a abundante e renovável energia solar, o que representa caminho eficiente para o desenvolvimento tecnológico, a baixo custo. Atualmente, dois cimentos compatíveis com essa tecnologia estão sendo produzidos pelo grupo Italcementi que, desde 1996 já registrou 12 patentes sobre fotocatalise aplicada a materiais cimentícios e fabrica vários produtos (tintas, argamassas, etc.) com esse princípio: um com propriedade autolimpante, que reduz a sujeira de origem biológica, e outro, que combate a poluição atmosférica.

A fotocatalise, de acordo com Bétocib (2009), é um fenômeno natural que utiliza a energia luminosa. Consiste na aceleração da velocidade de reações químicas a partir da incidência de raios ultravioleta (UV) em substância catalisadora, que não se altera no processo e gera a decomposição e neutralização de substâncias nocivas presentes na atmosfera que contribuem para o efeito estufa.

A fotocatalise age sobre compostos biológicos e sobre alguns poluentes primários, danosos ao meio-ambiente, como os produzidos pela combustão de motores de veículos - monóxido de carbono, óxidos de azoto (NOx) e compostos orgânicos voláteis (COV) - que podem, através de reações químicas, produzir poluentes secundários, que são ainda mais nocivos, como a chuva ácida e o ozônio, promovendo oxidação ou reduzindo-os a elementos menos nocivos, que serão lavados da superfície do concreto pela chuva, que ficará limpa (POON, CHEUNG, 2009).

Quando a superfície recebe radiação ultravioleta durante o dia, ocorrem os processos de oxidação e degradação de compostos orgânicos que foram depositados na superfície durante o período noturno. Simultaneamente, ocorre a redução do ângulo de contato e o arraste das partículas aderidas quando há chuva, conforme representado na figura 2.

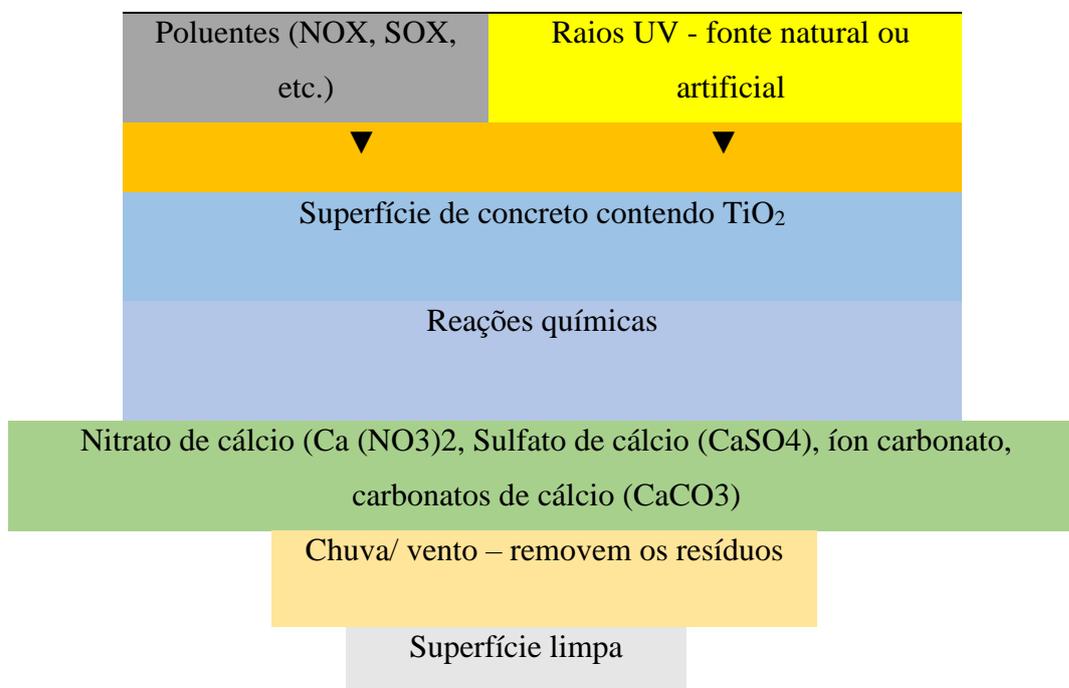
Figura 2 - Mecanismo da ação autolimpante



Fonte: <http://www.revistatechne.com.br/engenhariacivil/141/artigo119365-1.asp> 19/11/2011.

Na figura 3 é representado o esquema do mecanismo da fotocatalise no concreto, no qual os poluente e raios ultra violeta aderem à superfície do concreto, ocorrendo assim reações químicas, que após as mesmas, os ventos e as chuvas removem os resíduos deixando assim, a superfície limpa.

Figura 3 - Esquema do mecanismo da fotocatalise



Fonte: Coimbra (2016).

Tão importante quanto o processo e decomposição é o arraste dos subprodutos depositados. Os processos fotocatalíticos juntamente com a ação do

TiO₂ transformam a superfície em super-hidrofílica, onde a lâmina de água é formada, como consequência dos ângulos de contato próximos de zero, facilitando o arraste (COIMBRA, 2016).

Ainda de acordo com Coimbra (2016), este fenômeno, porém, é reversível e quando retirada a radiação UV, percebe-se um contínuo aumento do ângulo de contato. Por isso, materiais com propriedades fotocatalíticas devem ser usados em locais com elevada inclinação, como fachadas e telhados de edifícios.

2.5. Conceitos do Concreto Autolimpante

O concreto autolimpante é, segundo Coimbra (2016), o concreto que, elaborado com cimento composto por substância catalisadora, sob incidência de raios ultravioleta, atua de acordo com o fenômeno da fotocatalise, gera a decomposição de compostos biológicos, promovendo a limpeza de sua superfície aparente e, portanto, conservação de sua qualidade estética.

A propriedade autolimpante está diretamente relacionada com:

- A- meio ambiente - quantidade e tipo de sujidades a que a superfície do concreto estará sujeita;
 - sujidades de origem orgânica (algas, bactérias, etc.), eliminadas pela fotocatalise;
 - sujidades de origem inorgânica (fuligem e pós minerais, resíduos de combustão, etc.), fixadas na superfície utilizando moléculas orgânicas;
 - B- condições de exposição – a umidade relativa influi na tendência à proliferação de microrganismos, gerando sujidades de origem orgânica. temperaturas mais altas favorecem o processo fotocatalítico;
 - baixa umidade relativa, < 65%, não são favoráveis à proliferação de microrganismos;
 - média umidade relativa, entre 65% e 95%, pode ser favorável à proliferação de microrganismos;
 - alta umidade relativa, >95%, são favoráveis à proliferação de microrganismos;
 - C- superfície do concreto – o tipo de superfície influi no grau de facilidade de fixação de sujidades e umidade;
 - lisa – polida, bruta de desforma – difícil fixação, fácil secagem, não são favoráveis à proliferação de microrganismos;
 - rugosa – moderadas fixações de sujidades e conservação da umidade, favorável à proliferação de microrganismos;
 - muito rugosa - facilidade de fixação de sujidades e conservação da umidade, favorável à proliferação de microrganismos; pouca matriz cimentícia, quantidade reduzida de catalisador em contato com o meio.
- (ITALCEMENTI, 2004)

2.6. Rodamina B

Trata-se de um corante orgânico de coloração vermelho forte, comumente empregado pela indústria têxtil. Em normas italianas, é adotado para determinação da atividade fotocatalítica de ligantes hidráulicos (FOLLI et al., 2012).

O Rodamina B é pouco sensível à alcalinidade de materiais cimentícios e bastante solúvel em água, podendo espalhar-se com facilidade e de maneira uniforme sobre superfícies. Desta forma, tem sido amplamente utilizada como manchamento em testes de autolimpeza de produtos cimentícios, conforme observado nos trabalhos de PICADA Project (2006), Ruot et al. (2009), Folli (2010), Folli et al. (2012), Krishnan et al. (2013), Diamanti et al. (2008).

2.7. Cinzas

A cinza definida como um dos manchamentos do presente trabalho é residuária da queima de lenha de eucalipto. O material é o mesmo utilizado por Vaske (2012), que realizou estudos sobre a sua adição a concretos de cimento Portland.

A escolha pelos resíduos de cinzas visa simular a ação de particulados de poluição sobre superfícies expostas ao ambiente urbano. De acordo com Vaske (2012), "A combustão de lenha gera milhares de toneladas de cinzas, sendo a maior parte deste resíduo descartado sem um mínimo de controle, [...] e parte dispersa na atmosfera poluindo o ar."

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A realização dos experimentos, necessários para a presente pesquisa, aconteceu no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário de Lavras.

Os materiais empregados na confecção dos concretos foram: cimento branco estrutural, agregado miúdo, agregado graúdo, dióxido de titânio (TiO_2), água e os materiais de manchamento (Rodamina B e cinzas).

3.1. Moldagem dos Corpos de Prova e Placas de Concreto

A moldagem foi feita com moldes cilíndricos de metal, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, de acordo com o que é estabelecido pela NBR 5738 (ABNT,2015) e as placas com 15 cm de comprimento, 15 cm de largura e 5 cm de altura. A figura 4 mostra os moldes metálicos.

Figura 4 - Moldes metálicos para a confecção dos corpos de prova



Fonte: O autor (2018).

Foram moldados 160 corpos de prova cilíndricos com diferentes teores de dióxido de titânio, sendo eles 0%, 5%, 10%, 15% e 20% em relação a quantidade de cimento utilizado no concreto. Para cada porcentagem de dióxido de titânio foram moldados 32 corpos de prova cilíndricos, sendo 8 corpos de prova para cada período de cura, sendo eles 7, 14, 21 e 28 dias, e 6 placas retangulares para cada teor de TiO_2 , totalizando 30 placas como é mostrado na tabela 1.

Tabela 1 - Esquema da moldagem dos corpos de prova

Teor de TiO_2	Quantidade de corpos de prova	Tempo de cura
0%	8 corpos de prova	7 dias
	8 corpos de prova	14 dias
	8 corpos de prova	21 dias
	8 corpos de prova	28 dias
	6 placas de concreto	28 dias
5%	8 corpos de prova	7 dias
	8 corpos de prova	14 dias
	8 corpos de prova	21 dias
	8 corpos de prova	28 dias
	6 placas de concreto	28 dias
10%	8 corpos de prova	7 dias
	8 corpos de prova	14 dias
	8 corpos de prova	21 dias
	8 corpos de prova	28 dias
	6 placas de concreto	28 dias
15%	8 corpos de prova	7 dias
	8 corpos de prova	14 dias
	8 corpos de prova	21 dias
	8 corpos de prova	28 dias
	6 placas de concreto	28 dias
20%	8 corpos de prova	7 dias
	8 corpos de prova	14 dias
	8 corpos de prova	21 dias
	8 corpos de prova	28 dias
	6 placas de concreto	28 dias
Total de corpos de prova para cada teor de TiO_2:		32
Total de corpos de prova moldados para a pesquisa:		160
Total de placas de concreto moldadas para a pesquisa:		30

Fonte: O autor (2018).

3.1.1 Materiais Utilizados

Para a realização dessa pesquisa foram utilizados os seguintes materiais.

3.1.2 Cimento Branco Estrutural

Para confecção dos concretos, empregou-se o cimento branco CPB-40 Estrutural, proveniente de fonte internacional.

3.1.3 Agregado miúdo

Para a produção dos concretos, foi utilizada areia média e fina, que passou na peneira de 0,6 mm, de origem de um mesmo lote, disponível comercialmente na região e cuja matéria-prima é a rocha calcária, disponível no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário de Lavras.

3.1.4 Agregado graúdo

No concreto foi usada a brita número 1 como agregado graúdo.

3.1.5 Água

A água empregada na confecção do concreto foi a disponível para abastecimento local.

3.1.6 Dióxido de Titânio

A fase do dióxido de titânio utilizado foi a anatase, que é uma das 3 formas minerais do mesmo. Adicionou-se ao concreto os teores de 5%, 10%, 15% e 20% de dióxido de titânio em relação a quantidade de cimento utilizado na confecção do concreto.

3.2. Ensaio de Compressão Axial dos Corpos de Prova

No ensaio de compressão axial, foi utilizado a Prensa Hidráulica Elétrica Digital, executando o rompimento dos corpos de prova para cada teor de TiO_2 e a cada tempo de cura. Esse ensaio é realizado para identificar a resistência a compressão de cada corpo de prova. Colocou-se o corpo de prova na prensa, protegido com capeamento metálico com Neoprene, configurou-se a prensa para o diâmetro dos corpos de prova de 78,54 cm^2 , fechou-se o alívio de pressão e assim deu-se início ao teste. Foi aberto o controle de vazão para manter a velocidade de carregamento entre 3,5 e 4 kN/s (Kilo Newtons por segundo) que é a carga em relação ao tempo utilizada para esse formato de corpo de prova, cada material e formato de corpo de prova tem uma velocidade de carregamento específica. Imediatamente quando o corpo de prova se rompeu, a prensa parou e foi anotado a resistência obtida, esse processo foi repetido para todos os corpos de prova. A prensa foi configurada para imprimir os resultados dos testes em MPa (Mega Pascal) que é uma medida de pressão comumente utilizada no ramo da engenharia civil. Com esse teste foi possível saber qual a pressão necessária para romper cada corpo de prova. Esse procedimento seguiu o que é exigido pela NBR 5739 (ABNT, 2007).

3.3. Manchamentos

Os manchamentos foram realizados com a Rodamina B e lodo de cinza. Esse manchamento é feito para assemelhar-se com os efeitos que a poluição causa no concreto. Em seguida, são mostrados os materiais utilizados para os manchamentos, que foram o lodo de cinzas e a Rodamina B.

Para cada teor de TiO_2 foram manchadas 3 placas com Rodamina B e 3 placas com lodo de cinzas.

3.3.1 Rodamina B

Para o manchamento da presente pesquisa, os corpos de provas foram imersos em solução aquosa de Rodamina B, à concentração de 0,5 g/L (gramas por litro), por 24 horas. A escolha pelo manchamento por imersão permite que as amostras sejam expostas à solução aquosa de maneira uniforme em toda a extensão de suas superfícies (DIAMANTI et al., 2008)

3.3.2 Cinzas

Foi aplicada em uma bacia de PVC a proporção de 1:2 (cinza:água) e o corpo de prova foi colocado diretamente sobre o lodo gerado, pelo período de 24 horas. Depois, os corpos de prova de concreto foram retirados das bacias e secos em ambiente de laboratório, naturalmente, por 72 horas. Após, seguiram para a etapa de exposição ao ambiente urbano.

3.4. Procedimentos

Os procedimentos realizados para o desenvolvimento da pesquisa são descritos a seguir.

3.4.1 Confeção dos Corpos de Prova

O concreto utilizado foi confeccionado no laboratório do Centro Universitário de Lavras utilizando-se cimento branco estrutural. Com o intuito de evitar a formação de vazios na concretagem e conseqüentemente obter um bom adensamento do concreto, a moldagem deve ser realizada em três etapas. Na primeira etapa, 1/3 do volume do concreto deve ser inserido no molde e aplicado 12 golpes, com o soquete, para adensar o mesmo. Nas próximas duas etapas devem ser repetidos os mesmos procedimentos.

Foram feitos 32 corpos de prova para cada teor adicionado de TiO_2 , sendo esses teores de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% em relação à quantidade de cimento.

O concreto foi processado no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário de Lavras, sendo utilizado um traço de 1:2:3 (cimento:areia:brita), que foi calculado seguindo os critérios estabelecidos na NBR 12655 (ABNT, 2015).

O fck estabelecido foi de 25 MPa e o fcmj calculado foi de 34,08 MPa, com esses dados foi determinado o fator água/cimento de 0,54. Dispondo-se de equipamentos como, balança digital, betoneira, mesa vibratória e prensa hidráulica elétrica digital os materiais foram pesados, peneirados e misturados de forma homogênea. As figuras 5, 6, 7 e 8 mostram os materiais sendo pesados de acordo com o traço definido. Na figura 5 é mostrado o cimento com uma massa de 10,25 kg.

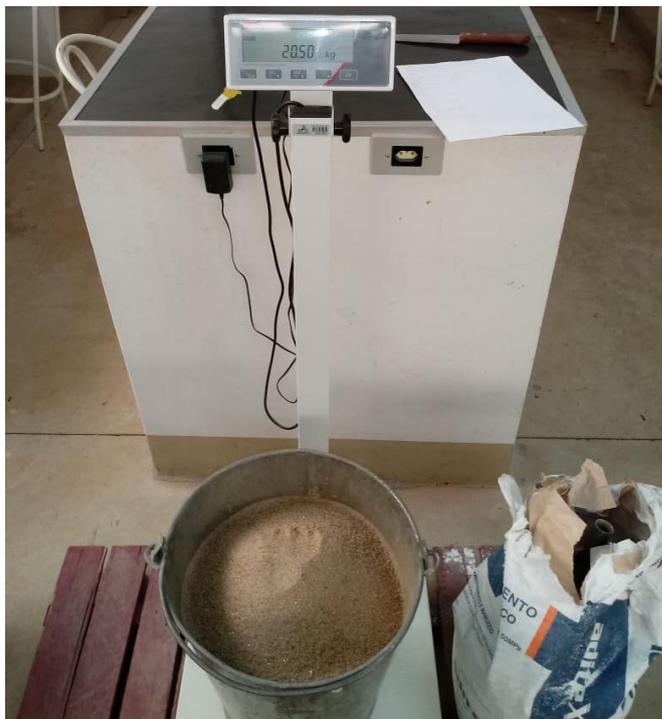
Figura 5 - Pesagem do cimento



Fonte: O autor (2018).

Na figura 6 é apresentada a areia após ter passado pelo processo de secagem e ter sido peneirada, utilizando-se somente a areia que passou na peneira de 0,6 mm, sendo pesada com uma massa de 20,5 kg.

Figura 6 - Pesagem da areia



Fonte: O autor (2018).

A figura 7 mostra a brita 1, que foi utilizada durante todo o processo, sendo pesada com massa de 30,75 kg.

Figura 7 - Pesagem da brita



Fonte: O autor (2018).

E por fim na figura 8 é mostrada a água utilizada durante todo o processo, sendo pesada com uma massa de 5,55 kg.

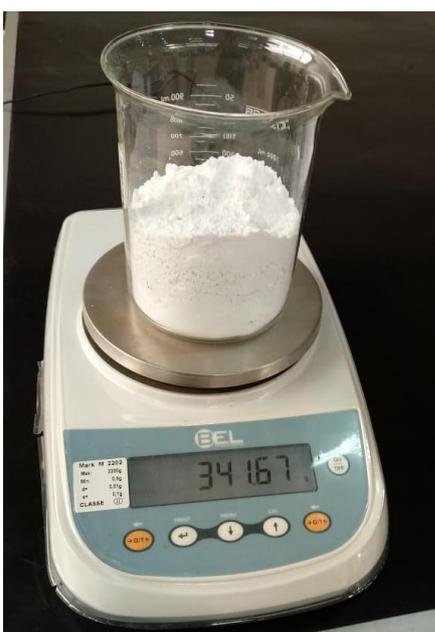
Figura 8 - Pesagem da água



Fonte: O autor (2018).

Após a pesagem dos materiais eles foram misturados na betoneira até atingir uma mistura homogênea. Para os corpos de prova que continham concentrações de TiO_2 foi utilizada uma balança de precisão para pesar o material. A figura 9 mostra o TiO_2 sendo pesado para depois ser adicionado à betoneira juntamente com os outros materiais.

Figura 9 - Pesagem do dióxido de titânio



Fonte: O autor (2018)

Depois de misturar todos os materiais e deixá-los homogêneos, foi obtido o concreto. Esse concreto foi então depositado nos moldes metálicos para a confecção dos corpos de prova e nas formas de madeira para a confecção das placas que seriam manchadas posteriormente, esse material foi levado para uma sala específica do laboratório para que ocorresse a secagem do concreto e fosse possível realizar o desmolde após 24 horas. A figura 10 apresenta o concreto recém confeccionado nos moldes metálicos e nas formas de madeira, já na sala para a secagem.

Figura 10 - Concreto nas formas



Fonte: O autor (2018).

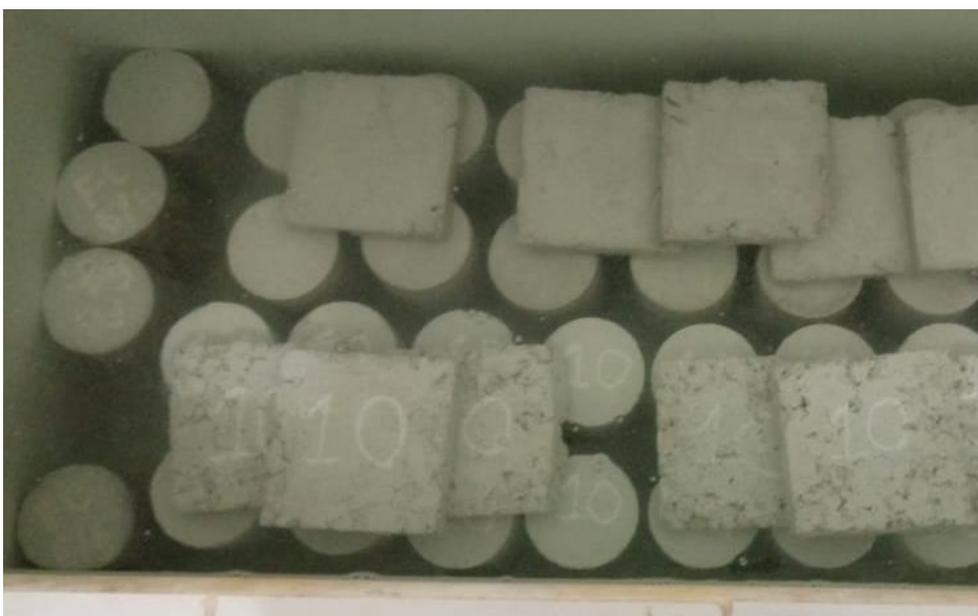
Após 24 horas os corpos de prova e as placas de concreto foram retirados das formas e imersos em um tanque contendo água para a realização do processo de cura do concreto. A figura 11 mostra os corpos de prova desformados, e a figura 12 os mostra submersos no tanque.

Figura 11 - Corpos de prova desformados



Fonte: O autor (2018).

Figura 12 - Corpos de prova e placas submersos no tanque



Fonte: O autor (2018).

Depois de serem imersos no tanque os corpos de prova foram retirados somente para o rompimento, após transcorridos um certo período de tempo pré-determinado 7, 14, 21 e 28 dias, as placas foram retiradas somente após 28 dias de imersão.

3.4.2 Ensaio de Compressão Axial

Em seguida, foram feitos os testes de compressão axial na prensa hidráulica elétrica digital, os corpos de prova foram rompidos, como mostra a figura 13, e a pressão necessária para esse rompimento é impressa. Esse ensaio é realizado para identificar a resistência à compressão de cada corpo de prova.

Figura 13 - Rompimento dos corpos de prova



Fonte: O autor (2018).

Esse procedimento foi realizado com todos os corpos de prova após decorrido o tempo pré-estabelecido para os rompimentos. Após o término dos rompimentos os

resultados foram transferidos para planilhas para que fosse possível observar o comportamento do concreto após a adição de TiO_2 .

3.4.3 Manchamentos

A segunda fase da pesquisa foi destinada para a realização dos manchamentos das placas de concreto. Segundo a NBR 7215(ABNT, 1996), foi aguardado o tempo de cura das placas de concreto de 28 dias após a confecção dos corpos de prova. Sucessivamente, foram utilizados o Rodamina B e as cinzas para manchar a superfície das placas de concreto sendo manchadas 3 placas com Rodamina B e 3 placas com cinzas. Para manchar as placas com Rodamina B os corpos de provas foram imersos em solução aquosa de Rodamina B, à concentração de 0,5 g/L (gramas por litro), por 24 horas. A escolha pelo manchamento por imersão permite que as amostras sejam expostas à solução aquosa de maneira uniforme em toda a extensão de suas superfícies (DIAMANTI et al., 2008).

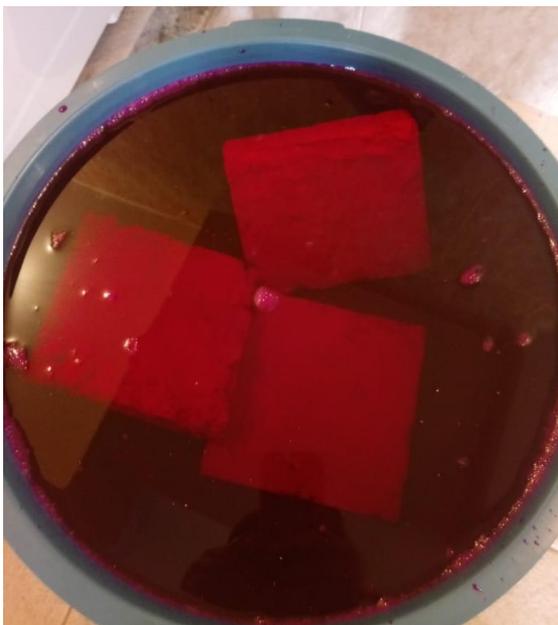
A figura 14 mostra a Rodamina B sendo pesada e a figura 15 mostra as placas imersas durante 24 horas na solução aquosa contendo Rodamina B.

Figura 14 - Pesagem da Rodamina B



Fonte: O autor (2018).

Figura 15 - Placas de concreto imersas em solução aquosa

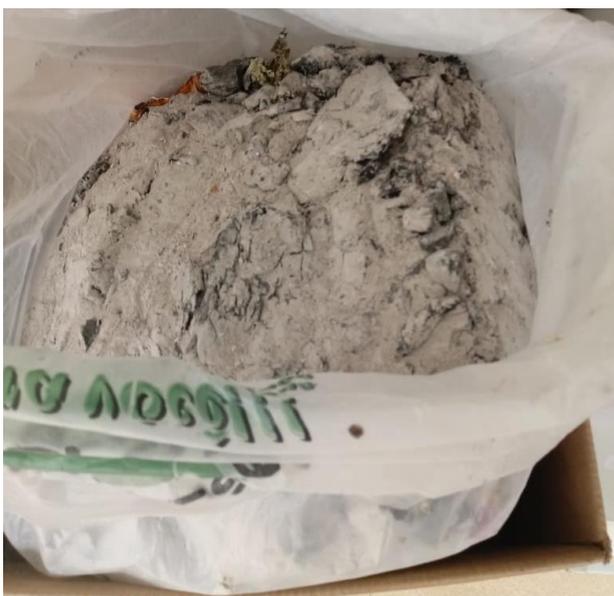


Fonte: O autor (2018).

As cinzas utilizadas para esse processo precisaram passar por um processo de peneiramento, pois quando foram recebidas elas continham outros materiais que não eram desejáveis para a mistura, como pedaços de madeira queimada e folhas, e para esse procedimento é necessário somente as cinzas.

A figura 16 mostra as cinzas quando foram recebidas, antes de serem peneiradas.

Figura 16 - Cinzas antes do peneiramento



Fonte: O autor (2018).

Para a realização da retirada dos materiais indesejáveis das cinzas foi utilizada uma peneira fina e uma colher de jardinagem, a figura 17 mostra esses instrumentos.

Figura 17 - Peneira fina e colher de jardinagem



Fonte: O autor (2018).

Esse processo de peneiramento foi muito importante para se manter a homogeneização da mistura, na figura 18 são mostrados os materiais retidos na peneira e a figura 19 mostra as cinzas após serem peneiradas.

Figura 18 - Materiais retidos na peneira



Fonte: O autor (2018).

Figura 19 - Cinzas após peneiramento



Fonte: O autor (2018).

Foi colocada em uma bacia de PVC a proporção de 1:2 (cinza : água) e as placas foram colocadas diretamente sob a solução gerada por essa mistura, pelo período de 24 horas, a figura 20 mostra essa solução de água e cinzas.

Figura 20 - Solução de água e cinzas



Fonte: O autor (2018).

Depois, as placas de concreto, tanto as manchadas com Rodamina B quanto as com cinzas, foram retiradas das bacias e secas em ambiente de laboratório, naturalmente, por 72 horas. Após, seguiram para a etapa de exposição ao ambiente

urbano, a figura 21 mostra as placas manchadas com Rodamina B e a figura 22 mostra as placas manchadas com cinzas, no dia em que foram expostas ao ambiente urbano.

Figura 21 - Placas manchadas com Rodamina B



Fonte: O autor (2018).

Figura 22 - Placas manchadas com cinzas



Fonte: O autor (2018).

3.4.4 Ensaio de Absorção por Imersão

A terceira fase do projeto foi fazer os ensaios de absorção de água por imersão em amostras de concreto que foram recolhidas dos corpos de prova rompidos após 28 dias de tempo de cura. Foram colocadas 3 amostras de cada teor de TiO_2 no tanque com água durante 24 horas para o preenchimento dos poros com água, assim saturando a amostra, como é apresentado na figura 23.

Figura 23 - Amostras de concreto sendo saturadas



Fonte: O autor (2018).

Decorridas as 24 horas de imersão no tanque as amostras foram pesadas para se obter a massa saturada, como é visto na figura 24.

Figura 24 - Amostra de concreto saturada sendo pesada



Fonte: O autor (2018).

As massas saturadas das amostras foram anotadas e logo após essa pesagem as amostras foram colocadas em uma estufa elétrica para a realização da secagem, esse procedimento de secagem durou 24 horas com a temperatura da estufa em 100° C, podendo variar 5° C para mais ou para menos. As amostras colocadas na estufa podem ser vistas na figura 25.

Figura 25 - Amostras de concreto durante o processo de secagem



Fonte: O autor (2018).

Após passadas as 24 horas, as amostras foram retiradas e pesadas novamente, como é visto na figura 26.

Figura 26 - Amostra de concreto seca sendo pesada



Fonte: O autor (2018).

Depois de se pesar todas as amostras foram montadas tabelas com esses dados e foi calculada a absorção de água de cada amostra de concreto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

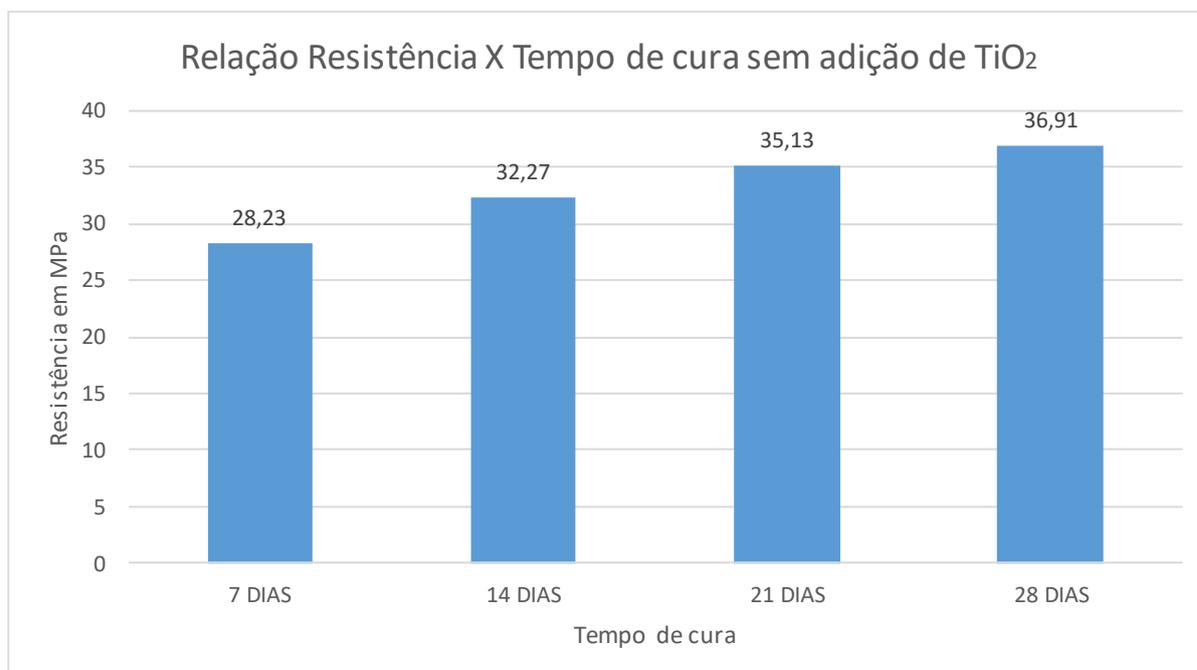
A seguir serão mostrados os resultados dos ensaios de compressão axial, do ensaio de absorção por imersão e dos manchamentos.

4.1. Ensaio de Compressão Axial

Os resultados dos testes de compressão foram anotados e transferidos para tabelas no *software* Excel. Esses resultados são mostrados nas tabelas que se encontram em anexo. Analisando os resultados dos testes de compressão foi possível observar que o concreto tende a aumentar sua resistência com o passar do tempo de cura, até atingir sua resistência máxima aos 28 dias, esse aumento de resistência pode ser visto nos gráficos mostrados abaixo. Esses gráficos foram montados utilizando-se as médias dos resultados para cada dia de ensaio à compressão.

O gráfico 1 apresenta a resistência do concreto sem adição de TiO_2 em diferentes períodos.

Gráfico 1 - Relação entre resistência e tempo de cura sem adição de TiO_2

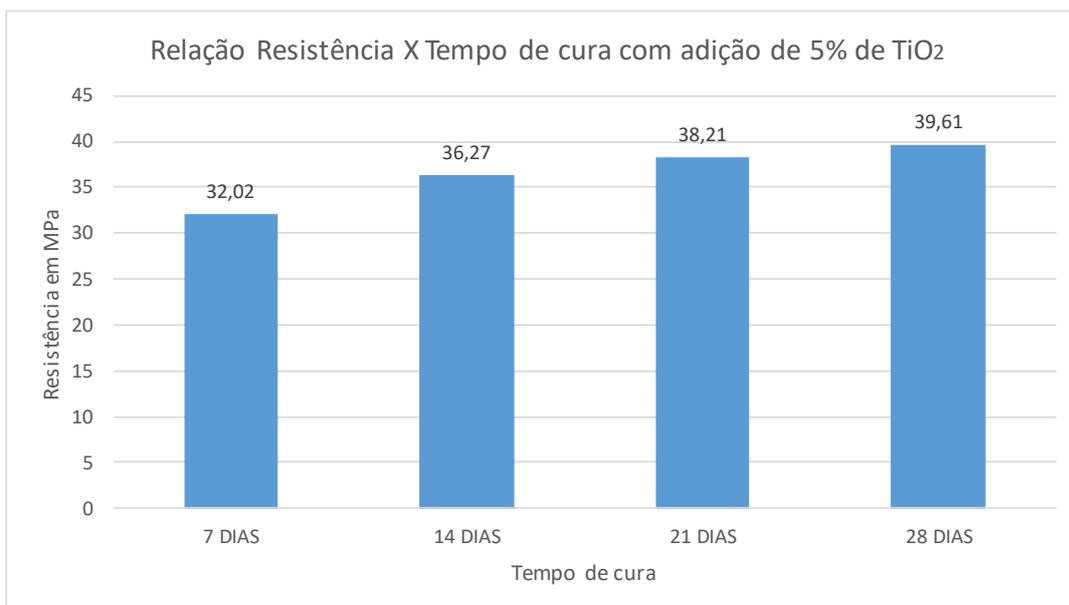


Fonte: O autor (2018).

Analisando o gráfico 1 pode-se perceber que a resistência aos 28 dias foi de 36,91 MPa, muito próxima ao fck calculado de 34,08 MPa.

O gráfico 2 apresenta a resistência do concreto com adição de 5% de TiO_2 em diferentes períodos.

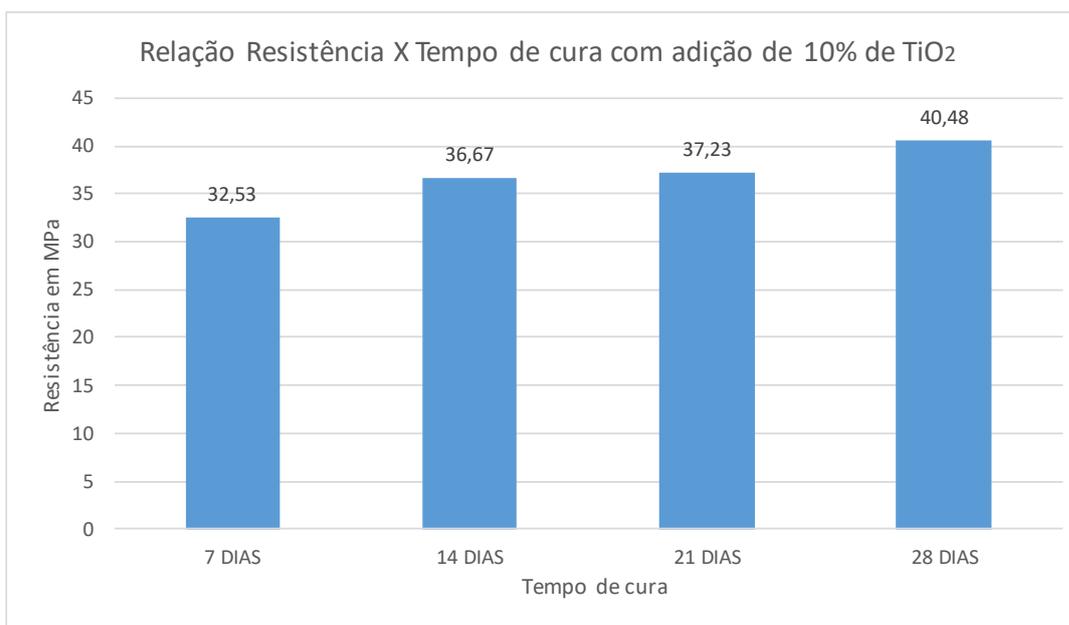
Gráfico 2 - Relação entre resistência e tempo de cura com adição de 5% de TiO_2



Fonte: O autor (2018).

O gráfico 3 apresenta a resistência do concreto com adição de 10% TiO_2 em diferentes períodos.

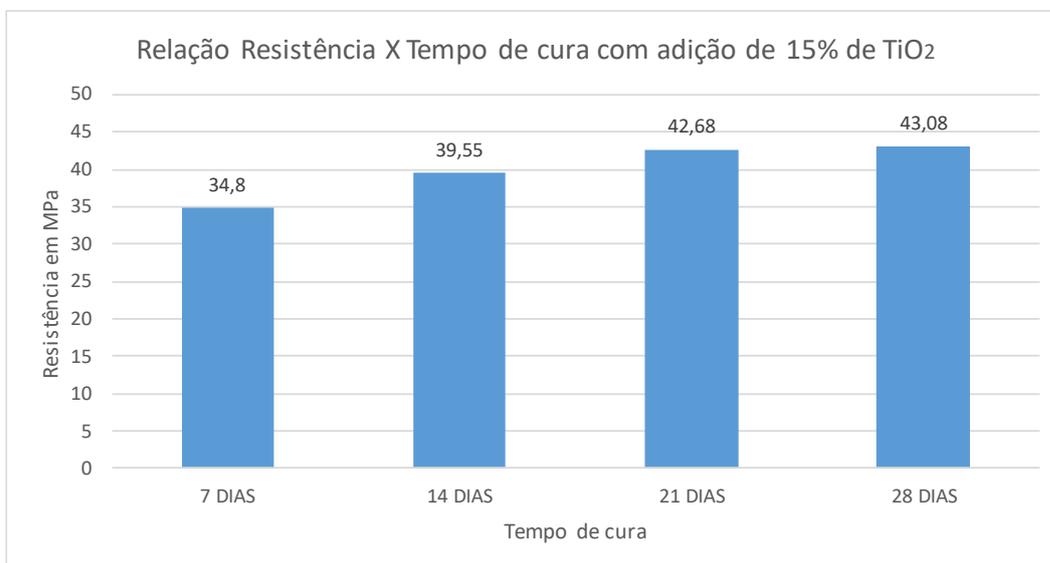
Gráfico 3 - Relação entre resistência e tempo de cura com adição de 10% de TiO_2



Fonte: O autor (2018).

O gráfico 4 apresenta a resistência do concreto com adição de 15% TiO_2 em diferentes períodos.

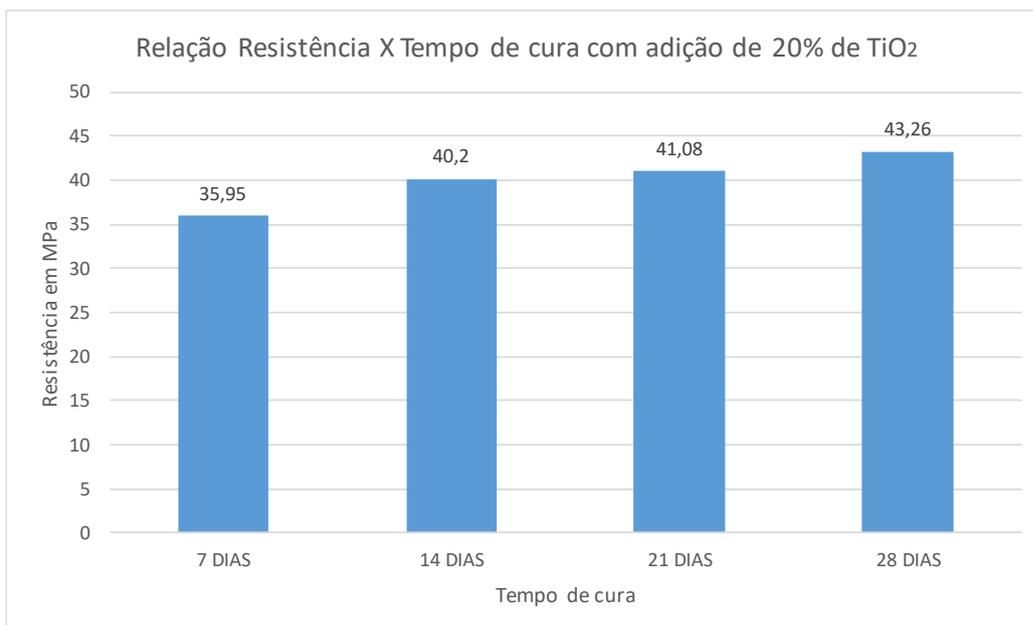
Gráfico 4 - Relação entre resistência e tempo de cura com adição de 15% de TiO_2



Fonte: O autor (2018).

O gráfico 5 apresenta a resistência do concreto com adição de 20% TiO_2 em diferentes períodos.

Gráfico 5 - Relação entre resistência e tempo de cura com adição de 20% de TiO_2



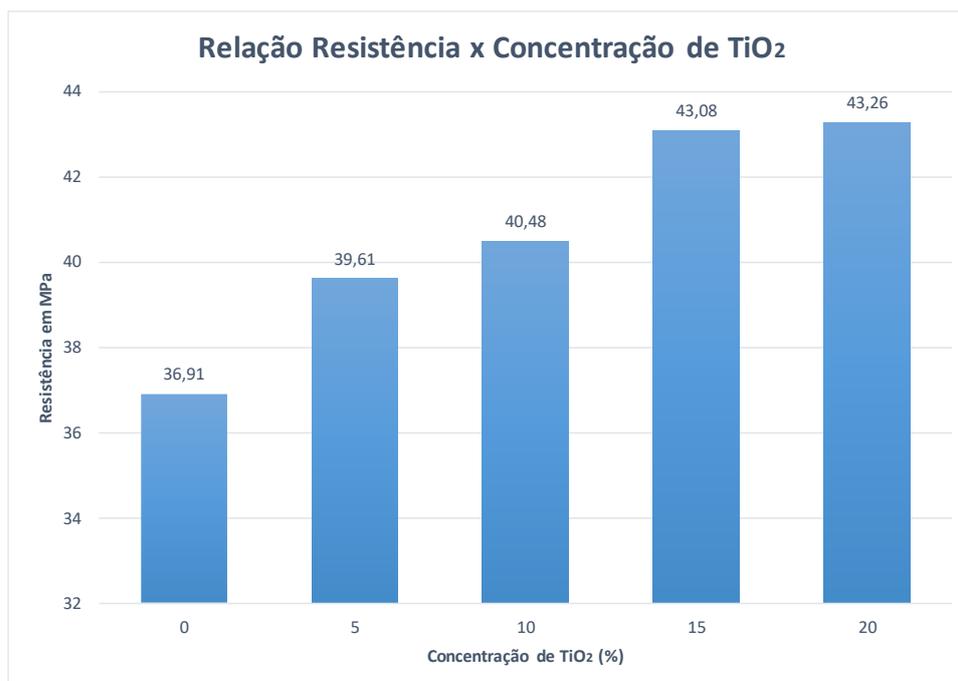
Fonte: O autor (2018).

Analisando esses resultados foi possível perceber que a resistência do concreto à compressão aumentou conforme foi aumentada a concentração de TiO_2 ,

esse aumento de resistência também ocorreu no estudo de Resende (2019), que trabalhou com concreto usinado composto por Cimento *Portalnd* III, CP-III.

Esse aumento pode ser visto no gráfico 6, que mostra a média dos resultados dos testes de compressão após 28 dias para cada teor de TiO_2 .

Gráfico 6 - Relação entre resistência e adição de TiO_2



Fonte: O autor (2018).

Após a obtenção de todos esses dados foi realizado o estudo estatístico em relação a resistência em MPa do concreto analisado após os 28 dias de tempo de cura, utilizando o método de Tukey, sendo utilizado o programa BioEstat. Esse teste serve para mostrar se existe ou não diferença estatística entre os resultados, ou seja, para identificar se essa diferença foi significativa ou não. Para o teste de compressão utilizando esse método, se resultado der menor que o p-valor $<0,05$, quer dizer que há diferença entre os tratamentos, e nesse teste o p-valor obtido foi $<0,05$, portanto houve diferença estatística em relação a resistência à compressão entre as diferentes concentrações de TiO_2 nos corpos de prova analisados. O resultado deste estudo é mostrado na tabela 2.

Tabela 2 - Resultado do teste estatístico para cada teor de TiO₂

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM
Tratamentos	4	222.429	55.607
Erro	35	82.117	2.346
F =	23.7010		
(p) =	< 0.0001		
Média (Coluna 1) 0%=	36.9138		
Média (Coluna 2) 5%=	39.6125		
Média (Coluna 3) 10%=	40.4825		
Média (Coluna 4) 15%=	43.0838		
Média (Coluna 5) 20%=	43.2613		
Tukey:	Diferença	Q	(p)
Médias (1 a 2) =	2.6988	4.9834	< 0.05
Médias (1 a 3) =	3.5687	6.5899	< 0.01
Médias (1 a 4) =	6.1700	11.3933	< 0.01
Médias (1 a 5) =	6.3475	11.7210	< 0.01
Médias (2 a 3) =	0.8700	1.6065	ns
Médias (2 a 4) =	3.4713	6.4099	< 0.01
Médias (2 a 5) =	3.6488	6.7376	< 0.01
Médias (3 a 4) =	2.6013	4.8034	< 0.05
Médias (3 a 5) =	2.7788	5.1311	< 0.01
Médias (4 a 5) =	0.1775	0.3278	ns

Fonte: O autor (2018).

As únicas concentrações que não apresentaram diferença estatística entre si foram: entre 5% e 10% (Médias 2 a 3) e entre 15% e 20% (Médias 4 a 5), portanto entre essas amostras não há diferença significativa de resistência, pode-se considerar que as concentrações de 5% e 10% e as concentrações de 15% e 20% possuem a mesma resistência à compressão.

4.2. Ensaio de Absorção por Imersão

Os resultados dos ensaios de absorção por imersão, são representados pela tabela 3 que onde mostra, as amostras identificadas por números e letras, sendo a concentração de TiO₂ e diferenciação entre amostras, respectivamente, massas saturadas, massas secas, o resultado do cálculo e média, para achar o índice de absorção de água. A fórmula do índice de absorção de água é dada por:

$$\frac{(M_{sat} - M_s)}{M_s} * 100$$

onde, Msat e Ms, são massa saturada e massa seca, respectivamente.

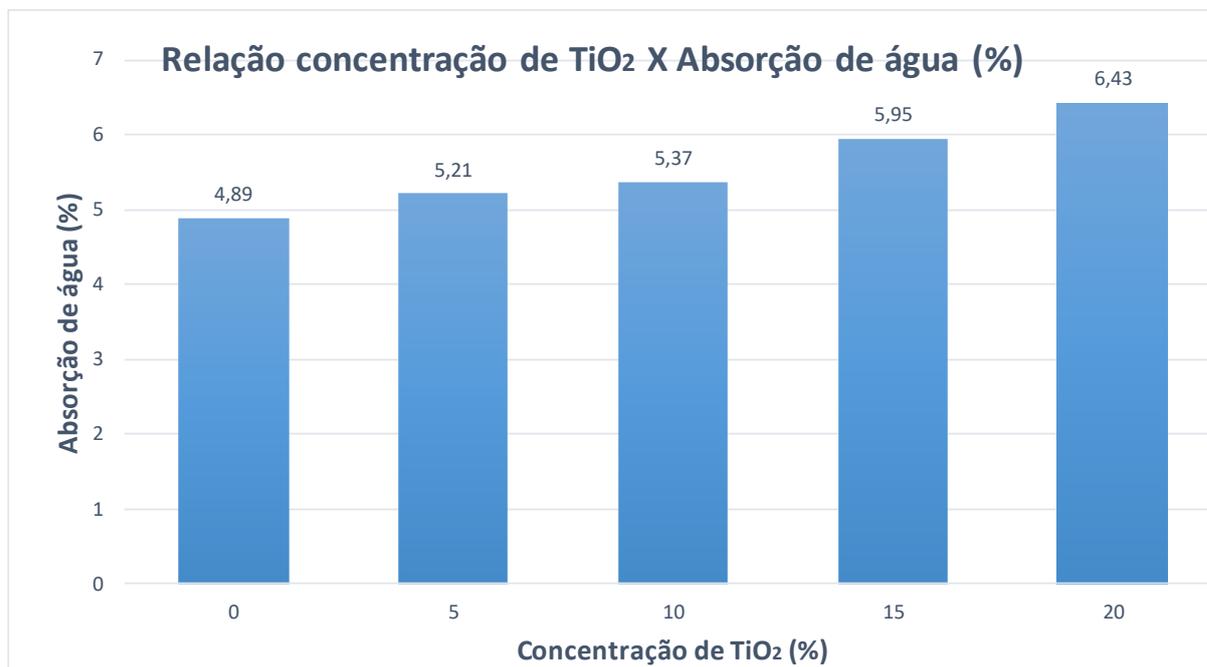
Tabela 3 – Tabela dos valores de massas saturadas e secas, com seus respectivos resultados

TESTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DO CONCRETO				
CONCRETO SEM ADIÇÃO DE TiO₂				
Massa do concreto seco (g)		Massa do concreto saturado (g)		Absorção (%)
0A	678,99	0A	709,16	4,44
0B	553,91	0B	581,91	5,05
0C	385,06	0C	404,98	5,17
Absorção média:				4,89
CONCRETO COM 5% DE TiO₂				
Massa do concreto seco (g)		Massa do concreto saturado (g)		Absorção (%)
5A	199,61	5A	211,43	5,92
5B	573,68	5B	595,05	3,73
5C	131,44	5C	139,30	5,98
Absorção média:				5,21
CONCRETO COM 10% DE TiO₂				
Massa do concreto seco (g)		Massa do concreto saturado (g)		Absorção (%)
10A	408,22	10A	427,21	4,65
10B	395,39	10B	415,28	5,03
10C	173,27	10C	184,40	6,42
Absorção média:				5,37
CONCRETO COM 15% DE TiO₂				
Massa do concreto seco (g)		Massa do concreto saturado (g)		Absorção (%)
15A	351,31	15A	369,22	5,10
15B	121,44	15B	130,09	7,12
15C	154,94	15C	163,67	5,63
Absorção média:				5,95
CONCRETO COM 20% DE TiO₂				
Massa do concreto seco (g)		Massa do concreto saturado (g)		Absorção (%)
20A	124,41	20A	133,30	7,15
20B	307,79	20B	325,67	5,81
20C	169,69	20C	180,45	6,34
Absorção média:				6,43

Fonte: O autor (2018).

Com esses resultados foi possível perceber que houve um aumento na absorção de água conforme se aumentou a concentração de TiO₂, isso pode ser visto com maior facilidade no gráfico 7.

Gráfico 7 - Relação entre absorção de água e adição de TiO_2



Fonte: O autor (2018).

Pode-se observar que houve um aumento na absorção de água a medida em que se aumenta a concentração de TiO_2 . Esse aumento de absorção geralmente não é desejável, uma vez que quanto maior a absorção de água em uma construção maior é a possibilidade de ocorrerem patologias, alguns exemplos dessas patologias:

- umidade de infiltração, que é a passagem de umidade da parte externa para a parte interna, através de trincas ou da própria capacidade de absorção do material;
 - umidade ascensional, que é a umidade originada do solo, e sua presença pode ser notada em paredes e solos;
 - umidade por condensação, que é consequência do encontro do ar com alta umidade, com superfícies apresentando baixas temperaturas, o que causa a precipitação da umidade.
- (LERSCH, 2003, p. 69)

Foi analisado ainda a classificação do concreto em função do teor de absorção de água para cada porcentagem de dióxido de titânio. Essa classificação foi feita utilizando-se a média de absorção de água para cada teor de TiO_2 , essa classificação é mostrada na tabela 4.

Tabela 4 - Classificação do concreto de acordo com seu teor de absorção de água

CLASSIFICAÇÃO DO CONCRETO	TEOR DE ABSORÇÃO DE ÁGUA(a)
DURÁVEL – ALTO DESEMPENHO	$\leq 4,2\%$
CONVENCIONAL	$4,2\% < a < 6,2\%$
DEFICIENTE	$\geq 6,2\%$

Fonte: NBR 9778/2015.

Utilizando-se essa norma como referência foram analisados os resultados do teste de absorção e o concreto foi classificado como mostra a tabela 5.

Tabela 5 - Classificação do concreto para cada concentração de TiO_2

Concentração de TiO_2 (%)	Absorção de água (%)	Classificação
0	4,89	Convencional
5	5,21	Convencional
10	5,37	Convencional
15	5,95	Convencional
20	6,43	Deficiente

Fonte: O autor (2018).

Analisando esses resultados é possível perceber que o concreto com adição de 20% de TiO_2 é considerado um concreto deficiente, portanto não é recomendável se utilizar essa concentração pelo menos até obter-se mais estudos nessa área, os demais concretos foram considerados concretos convencionais.

4.3. Manchamentos

No primeiro dia de exposição ao ambiente urbano foi realizada a medição de resíduos de forma visual, com a utilização de um papel graduado com o intuito de visualizar a diminuição gradual dos resíduos nas placas. Essas medições seriam realizadas periodicamente até se atingir 84 dias de exposição ao clima urbano, de acordo com o cronograma mostrado na tabela 6.

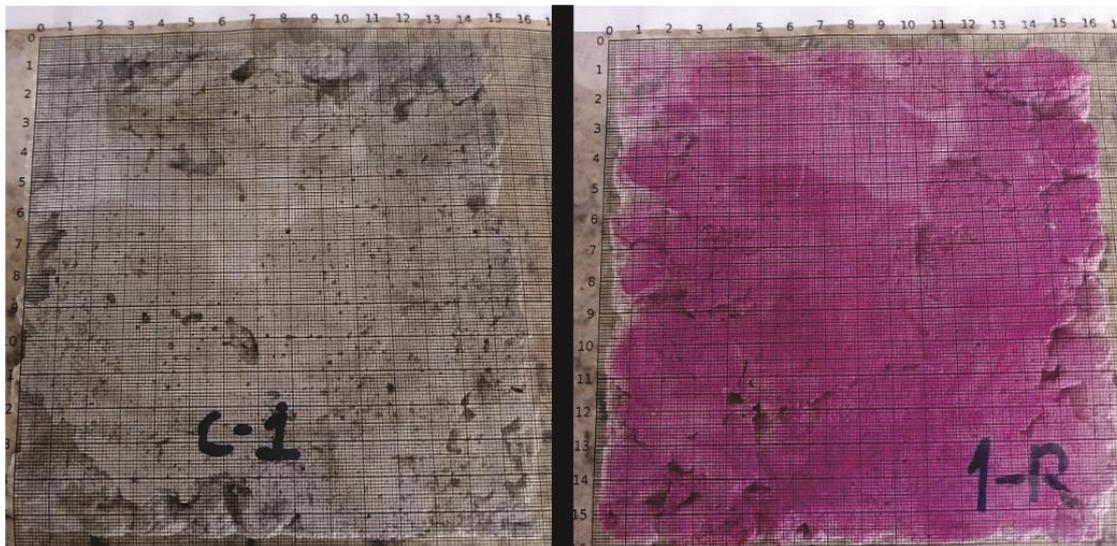
Tabela 6 – Cronograma para medição visual de limpeza das placas

Cronograma para medição visual de limpeza										
0%	0 dias	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	42 dias	56 dias	70 dias	84 dias
	15/11/2018	19/11/2018	23/11/2018	29/11/2018	06/12/2018	13/12/2018	27/12/2018	10/01/2019	24/01/2019	10/02/2019
5%	0 dias	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	42 dias	56 dias	70 dias	84 dias
	19/12/2018	23/12/2018	27/12/2018	03/01/2019	10/01/2019	17/01/2019	31/01/2019	14/02/2019	28/02/2019	14/03/2019
10%	0 dias	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	42 dias	56 dias	70 dias	84 dias
	20/12/2018	24/12/2018	28/12/2018	04/01/2019	11/01/2019	18/01/2019	01/02/2019	15/02/2019	01/03/2019	15/03/2019
15%	0 dias	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	42 dias	56 dias	70 dias	84 dias
	21/12/2018	25/12/2018	29/12/2018	05/01/2019	12/01/2019	19/01/2019	02/02/2019	16/02/2019	02/03/2019	16/03/2019
20%	0 dias	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	42 dias	56 dias	70 dias	84 dias
	22/12/2018	26/12/2018	30/12/2018	06/01/2019	13/01/2019	20/01/2019	03/02/2019	17/02/2019	03/03/2019	17/03/2019

Fonte: O autor (2018).

As figuras 27 e 28 mostram essas medições no primeiro e terceiro dia de exposição, à esquerda está a placa manchada com cinzas e à direita a placa manchada com Rodamina B.

Figura 27 - Placas no primeiro dia de exposição



Fonte: O autor (2018).

Figura 28 - Placas no terceiro dia de exposição



Fonte: O autor (2018).

Com essas medições foi possível observar que as placas estavam limpas após o terceiro dia de exposição, isso se repetiu em todas as outras placas, por esse motivo não se continuou com as medições visuais, não sendo possível, portanto determinar a eficiência do TiO_2 em remover as sujeiras.

5. CONCLUSÃO

Foi possível concluir que o dióxido de Titânio aumenta a resistência do concreto em relação à compressão. Nas concentrações de 15% e 20% não houve variação estatística, portanto caso se opte por utilizar o TiO_2 para aumentar a resistência do concreto quanto a compressão pode-se utilizar apenas 15% de TiO_2 em relação ao cimento, lembrando que o concreto com adição de 20% de dióxido de titânio foi classificado como deficiente.

Observa-se também que o aumento da concentração de TiO_2 aumenta sua absorção de água, e isso pode ser prejudicial para o concreto.

Em termos visuais não possível determinar a eficiência do TiO_2 em remover as manchas, uma vez que não houve diferença entre as amostras analisadas.

Sugiro que em pesquisas futuras utilize-se o espectrofotômetro para que se consiga medir a eficiência do TiO_2 em nível microscópico. Sugiro também que se teste outras concentrações de TiO_2 pois até a concentração de 20% a resistência continuou aumentando, e não se sabe ainda o que vai ocorrer caso se utilize 25%, 30%, ou maiores concentrações, vale lembrar que com a concentração de 20% o concreto foi considerado deficiente, pode-se fazer um estudo para saber porque isso ocorreu, ou seja, porque o TiO_2 aumenta a capacidade de absorção de água do concreto e se há alguma forma de impedir esse aumento de absorção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland** – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos** - Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland** – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 15575-1: edificações habitacionais** – Desempenho Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

AMORIM NETO, A.A.; ALMEIDA, A. B. L. **Titânio**. Em: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3999>. Acesso em: outubro de 2016.

BALTAR, C. A. M et al. **Rochas e Minerais Industriais - Minérios de Titânio**. Centro de Tecnologia Mineral - Ministério da Ciência e Tecnologia, Coordenação de Processos Minerais – COPM. Rio de Janeiro, 2005.

BALTAR, C. A. M.; SAMPAIO, J. A.; ANDRADE, M. C.; PINTO, D. C. **Minerais de Titânio**. Comunicação Técnica elaborada para o Livro Rochas Minerais Industriais: Usos e Especificações, Parte 2 – Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações, Capítulo 37 – pág. 841 a 863, Rio de Janeiro-RJ, dezembro de 2008.

BETOCIB, Les bétons apparents- **Prescriptions techniques De la mise en oeuvre à la protection, l'entretien, la réparation**. COLLECTION TECHNIQUE BETOCIB. Edição : Bétocib março 2009 Disponível em: <http://www.infociments.fr/publications/batiment/collection-technique-betocib/ctb-e80>. Acesso em janeiro 2010. 146 p. Acesso em outubro 2016.

CALCIA Ciments, Disponível em: <http://www.ciments-calcia.fr/FR>, Ciments Calcia, Italcementi Group França. Pesquisa no site. Acesso em outubro 2016.

CASSAR, L. **Photocatalysis of cimentitious materials: clean buildings and clean air**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. MRS Bulletin n. 9.

CHAVES, A. M. V. A. **Patologia e reabilitação de revestimentos de fachadas.** 2009. 160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2009.

CHEUNG, J; POON, C.-S. **Photocatalytic Construction and Building Materials: From Fundamentals to Applications.** Building and Environment 44, 1899-1906. Hong Kong, 2009.

CHEW, M. Y. L.; TAN, P. P. **Staining of facades.** Singapore: World Scientific, 2003.
CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações.** Tecnologia de edificações. São Paulo: PINI/IPT, 1988. p. 549-554.

COIMBRA, W. P. **Estudo, confecção e utilização do concreto usinado com adição de produto fotocatalítico na construção civil.** Projeto de Iniciação Científica (FAPEMIG). Centro Universitário de Lavras. Lavras, 2016.

COSTA, A. C. F. M.; VILAR, M. A; LIRA, H. L.; KIMINAMI, R. H. G. A.; GAMA, L. **Síntese e caracterização de nanopartículas de TiO₂.** Cerâmica. v.52, p.255-259, 2006.

DIAMANTI, M. V.; ORMELLESE, V.; PEDEFERRI, M. P. **Characterization of photocatalytic and superhydrophilic properties of mortars containing titanium dioxide.** Cement and Concrete Research, v. 38, n. 11, p. 1349-1353, jul. 2008.

FERREIRA, Ivete V. L. **Fotocatálise Heterogênea com TiO₂ Aplicada ao Tratamento de Esgoto Sanitário Secundário.** Tese de Doutorado. 29 Departamento de Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2005.

FOLLI, A. **TiO₂ photocatalysis in Portland cement systems: fundamentals of self cleaning effect and air pollution mitigation.** 2010. 176f. Thesis (Doctor of Philosophy) – Department of Chemistry, University of Aberdeen, 2010.

FOLLI, A.; PADE, C.; HANSEN, T. B.; DE MARCO, T.; MACPHEE, D. E. **TiO₂ photocatalysis in cementitious systems: insights into self-cleaning and depollution chemistry.** Cement and Concrete Research, v. 42, n. 3, p. 539-548, 2012.

FROES, R. H. **Titanium - products and application.** Journal of Metals, 12-14, March, 1987.

FUJISHIMA, A.; RAO, T.; TRYK, D. **Titanium dioxide photocatalysis.** Journal of Photochemistry and Photobiology, n. 1, p. 1-21, 2000.

FUJISHIMA, A.; ZHANG, X. **Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches.** Comptes Rendus Chimie, v. 9, n. 8, p. 750-760, 2005.

GAYLARDE, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. **Biorremediação – aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos.** Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento. n. 34, p.36-43, 2005.

GONZÁLEZ-BARROS, M. R.; BARCELÓ, M. L. **Innovaciones y Avances en el Sector de las Rocas y Minerales Industriales.** Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España, 78p, 1997.

GRAZIANI, L.; QUAGLIARINI, E.; OSIMANI, A.; AQUILANTI, L.; CLEMENTI, F.; YÉPRÉMIAN, C.; LARICCIA, V.; AMOROSO, S.; D'ORAZIO, M. **Evaluation of inhibitory effect of TiO₂ nanocoatings against microalgal growth on clay brick façades under weak UV exposure conditions.** Building and Environment, n. 64, p. 38-45, 2013.

HAMAD, B.S. **Investigations of chemical and physical properties of white cement.** Advanced Cement Based Materials, v.2, n. 4, p. 161-167, July 1995.

ITALCEMENTI, **Use of Photocatalytic Preparations of Colloidal Titanium Dioxide for Preserving the Original Appearance of Cementitious Products.** United States 99 Patent – N^o US 6,824,826 B1. Patente. Nov.30,2004. Disponível em: <http://www.freepatentsonline.com/6824826.html> Acesso em novembro de 2017.

KRISHNAN; P.; ZHANG, M. H.; YU, L.; FENG, H. **Photocatalytic degradation of particulate pollutants and self-cleaning performance performance of TiO₂-containing silicate coating and mortar.** Construction and Building Materials, v. 44, p. 309-316, 2013.

LACEY, M.; SCHIRMER, W. **O uso da fotocatalise para a desinfecção e desodorização do ar interno.** Ambiência: revista do setor de ciências agrárias e ambientais. v. 4. n. 2. p. 309-325. Maio-ago. 2008.

LAROUSSE & NOVA CULTURAL (ED.). **Grande Enciclopédia Larousse Cultural.** Volume 23. São Paulo: Plural Editora e Gráfica, 1998.

LERSCH, Inês M. **Contribuição Para a Identificação dos Principais Fatores de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre.** Porto Alegre. 2003. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

LIM, T. H et al. **Photocatalytic Decomposition of NO by TiO₂ Particles.** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 134, 209-217. South Korea, 2000.

MARANHÃO, F. **Método para redução de mancha nas vedações externas de edifícios.** 2005. 106f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MAIA, Arnaldo. **Titânio.** Balanço Mineral Brasileiro. Brasília, 2001.

- MELO, J. **Desenvolvimento de peças pré-moldadas de concreto fotocatalíticas para pavimentação e purificação do ar**. 2011. 191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. **A Fotocatálise Heterogênea e sua aplicação ambiental**. Química Nova vol.21 no.1, 1998.
- MEHTA, P.K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 573p.
- MGUIG, B. et al. **CO Oxidation Over Anatásio TiO₂-(001)**. Journal of Molecular Structure (Theochem) 709, 73-78. France, 2004.
- NERO, J. M. G.; NUNES, A. **Fundamentos para a Prescrição e Utilização do Betão Branco**. SECIL, Portugal, 2000.
- NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997, 2ª ed. 828p. (Tradução da 4ª ed. em inglês).
- PEREIRA, M. A. C.; JALALI, S.; PACHECO TORRAL, F. **Argamassas aditivadas com Dióxido de Titânio: uma solução eficaz no combate aos graffitis**. Materiais de Construção, p. 42-45, 2009.
- PETRUCCI, H. M. C. **A alteração da aparência das fachadas dos edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída**. 2000. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- PICADA PROJECT. **Innovative facade coatings with de-soiling and de-polluting properties**. 2006.
- PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). What is white concrete. **Concrete Technology today**. v. 20, n. 1, april 1999 (a).
- RESENDE, B.P. **Estudo, confecção e utilização do concreto usinado com adição de produto fotocatalítico na construção civil**. Projeto de Iniciação Científica (FAPEMIG). Centro Universitário de Lavras. Lavras, 2019.
- RODRÍGUEZ, S. M; RICHTER, C.; GÁLVEZ, J. B.; Vincent, M. **Photocatalytic degradation of industrial residual waters**. Journal Solar Energy, volume 56, 401-410, 1996.
- RUOT, B.; PLASSAIS, A.; OLIVE, F.; GUILLOT, L.; BONAFOUS, L. **TiO₂-containing cement pastes and mortars: measurements of the photocatalytic efficiency using a rhodamine B-based colourimetric test**. Solar Energy, v. 83, n. 10, p. 1794-1801, 2009.
- SANTOS, S. A. L. D. **Fotocatalisadores de dióxido de titânio obtidos pelo método sol-gel**. Naviraí-MS, outubro de 2016.

VASKE, N. R. **Contribuição ao estudo do aproveitamento da cinza de lenha de eucalipto como adição ao concreto.** 2012. 236f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de PósGraduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

VERHOEF, F. G. W. **Soiling and cleaning of building façades. Report of the Technical Committee 62 SCF – RILEM,** London: L. G. W. Verhoef, 2004.

VIEIRA, A. **Influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas de edificações do patrimônio cultural do centro histórico de Porto Alegre: estudo de caso.** 2005. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ANEXOS

RESULTADOS DO ENSAIO A COMPRESSÃO SEM ADIÇÃO DE TiO₂					
TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		7 DIAS	TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		14 DIAS
CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)		CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)	
01	27,59		01	33,49	
02	27,16		02	34,47	
03	31,49		03	31,87	
04	26,86		04	31,13	
05	26,13		05	29,28	
06	29,14		06	30,28	
07	29,16		07	34,71	
08	28,29		08	32,92	
MÉDIA	28,23		MÉDIA	32,27	
TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		21 DIAS	TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		28 DIAS
CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)		CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)	
01	34,07		01	36,40	
02	36,99		02	36,87	
03	34,87		03	33,99	
04	36,96		04	37,15	
05	31,71		05	38,68	
06	35,82		06	37,30	
07	34,00		07	38,00	
08	36,63		08	36,92	
MÉDIA	35,13		MÉDIA	36,91	

RESULTADOS DO ENSAIO A COMPRESSÃO COM 5% DE TiO₂					
TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		7 DIAS	TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		14 DIAS
CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)		CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)	
01	29,78		01	37,19	
02	32,35		02	36,26	
03	32,32		03	37,35	
04	32,06		04	36,21	
05	31,61		05	37,88	
06	34,15		06	32,40	
07	32,31		07	36,53	
08	31,58		08	36,36	
MÉDIA	32,02		MÉDIA	36,27	
TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		21 DIAS	TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		28 DIAS
CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)		CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)	
01	36,97		01	38,73	
02	35,58		02	38,43	
03	37,66		03	40,17	
04	38,48		04	40,34	
05	38,12		05	41,16	
06	41,11		06	37,88	
07	39,45		07	40,31	
08	38,28		08	39,88	
MÉDIA	38,21		MÉDIA	39,61	

RESULTADOS DO ENSAIO A COMPRESSÃO COM 10% DE TiO₂					
TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		7 DIAS	TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		14 DIAS
CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)		CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)	
01	32,67		01	39,10	
02	32,64		02	37,48	
03	31,68		03	36,70	
04	32,36		04	34,43	
05	32,87		05	36,24	
06	31,70		06	35,32	
07	33,48		07	39,31	
08	32,86		08	34,75	
MÉDIA	32,53		MÉDIA	36,67	
TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		21 DIAS	TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		28 DIAS
CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)		CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)	
01	40,08		01	41,50	
02	39,09		02	37,43	
03	29,18		03	42,41	
04	32,11		04	40,51	
05	39,58		05	40,72	
06	35,52		06	41,68	
07	41,62		07	41,41	
08	40,64		08	38,20	
MÉDIA	37,23		MÉDIA	40,48	

RESULTADOS DO ENSAIO A COMPRESSÃO COM 15% DE TiO₂					
TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		7 DIAS	TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		14 DIAS
CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)		CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)	
01	31,42		01	39,80	
02	35,83		02	39,95	
03	35,86		03	39,85	
04	36,25		04	41,97	
05	33,17		05	38,33	
06	34,25		06	37,68	
07	36,91		07	39,14	
08	34,73		08	39,71	
MÉDIA	34,80		MÉDIA	39,55	
TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		21 DIAS	TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		28 DIAS
CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)		CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)	
01	44,63		01	40,50	
02	44,50		02	42,95	
03	42,32		03	42,00	
04	41,41		04	40,52	
05	42,57		05	45,99	
06	41,53		06	45,36	
07	44,39		07	43,07	
08	40,08		08	44,28	
MÉDIA	42,68		MÉDIA	43,08	

RESULTADOS DO ENSAIO A COMPRESSÃO COM 20% DE TiO₂					
TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		7 DIAS	TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		14 DIAS
CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)		CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)	
01	35,52		01	41,54	
02	35,92		02	41,93	
03	35,70		03	39,83	
04	35,77		04	40,77	
05	35,41		05	38,07	
06	37,22		06	41,06	
07	36,96		07	38,97	
08	35,11		08	39,44	
MÉDIA	35,95		MÉDIA	40,20	
TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		21 DIAS	TEMPO DE CURA DO CONCRETO:		28 DIAS
CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)		CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)	
01	41,52		01	44,21	
02	42,69		02	43,81	
03	40,48		03	43,65	
04	41,10		04	44,54	
05	40,53		05	43,31	
06	41,99		06	41,93	
07	37,97		07	41,28	
08	42,36		08	43,36	
MÉDIA	41,08		MÉDIA	43,26	