

**UNILAVRAS**  
Centro Universitário de Lavras



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LAVRAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO, CONFECÇÃO E UTILIZAÇÃO DO CONCRETO USINADO**  
**COM ADIÇÃO DE PRODUTO FOTOCATALÍTICO NA CONSTRUÇÃO**  
**CIVIL**

**BRUNO PIMENTA RESENDE**

**LAVRAS-MG**  
**2019**

**BRUNO PIMENTA RESENDE**

**ESTUDO, CONFECÇÃO E UTILIZAÇÃO DO CONCRETO USINADO  
COM ADIÇÃO DE PRODUTO FOTOCATALÍTICO NA CONSTRUÇÃO  
CIVIL**

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

**ORIENTADORA**

Prof. Ms. Flávia Castro de Faria

**CONVIDADA**

Prof. Ms. Marisa Aparecida Pereira

**PRESIDENTE**

Prof. Esp. Gabriela Bastos Pereira

**LAVRAS - MG  
2019**

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Processamento Técnico da  
Biblioteca Central do Unilavras


Resende, Bruno Pimenta.  
R433e      Estudo, confecção e utilização do concreto usinado com  
adição de produto fotocatalítico na construção civil / Bruno  
Pimenta Resende; orientação de Flávia Castro de Faria. –  
Lavras Unilavras, 2019.  
64 f. : il.

Monografia apresentada ao Unilavras como parte das  
exigências do curso de graduação em Engenharia Civil.

1. Fotocatálise. 2. Dióxido de titânio. I. Faria, Flávia  
Castro de (Orient.). II. Título.

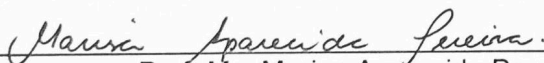
Centro Universitário de Lavras – UNILAVRAS

Monografia intitulada “**Estudo, Confeção e Utilização do Concreto Usinado com Adição de Produto Fotocatalítico na Construção Civil**”, de autoria do graduando **Bruno Pimenta Resende**, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:



---

Prof. Ms. Flávia Castro de Faria  
**ORIENTADORA**



---

Prof. Ms. Marisa Aparecida Pereira  
**CONVIDADA**



---

Prof. Esp. Gabriela Bastos Pereira  
**PRESIDENTE DA BANCA**

Dedico este portfólio aos meus pais que me deram suporte para fazer este curso, que me apoiaram e me incentivaram. Dedico também aos engenheiros Walner Luís Barbosa, Tiago Vilas Bôas Cardoso, Irisângela Oliveira Alvarenga, Rodrigo Bastos Alvarenga Pereira, a todos os professores, em especial ao professor Lucas de Paula Ferreira Souza pelas oportunidades e ajudas, a professora Flávia Castro de Faria pela orientação, aos meus colegas de sala pela amizade e companheirismo, amigos e família que me apoiaram durante essa caminhada. A todos/as que contribuíram de alguma forma pra que essa trajetória fosse possível.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar, a Absoluta Inteligência, pela sabedoria e paciência.

A meus pais, pelos sábios conselhos e apoio sem o qual, eu teria ficado pelo caminho.

A Prof.<sup>a</sup> Ms. Flávia Castro de Faria, pela orientação na elaboração desse trabalho.

Ao professor Lucas de Paula Ferreira Souza, pelos conselhos, oportunidades de monitoria, projetos de extensão e ajudas em geral.

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

Ao aluno Tiago Luiz Schulz pela ajuda e companheirismo.

Aos engenheiros que me deram oportunidade de estágio, ajudando muito na minha formação profissional.

Ao Centro Universitário de Lavras (UNILAVRAS) pelos grandes professores e por ser uma instituição de excelência na busca pelo meu objetivo.

A todos os meus professores que já contribuíram com a minha alfabetização desde as primeiras palavras até aqui, o meu muito obrigado, nada disso seria possível sem vocês.

Aos colegas de sala e de caminhada, obrigado por toda amizade. Aos colaboradores por toda ajuda e boa vontade em tudo que foi necessário, e em esclarecer todas as dúvidas, tornando essa vivência totalmente esclarecedora, o meu muito obrigado.

Por fim agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para que eu conseguisse chegar aqui, sou grato.

**UNILAVRAS**  
Centro Universitário de Lavras



Se enxerguei mais longe, foi porque  
me apoiei em ombros de gigantes.  
(Sir Isaac Newton, 1643-1727)

## RESUMO

Com o decorrer do tempo e as mudanças climáticas, os revestimentos de fachada que ficam sob ação do intemperismo e de muitos outros agentes de degradação, sofrem com a formação de manchas advindas do acúmulo de partículas poluentes na superfície dessas estruturas. Apesar de elevar os custos para realização da limpeza e de manutenção, essas condições de alteração se mostram atrativas ao uso de materiais fotocatalíticos que promovem a catalise dos agentes poluentes mineralizados, transformando-os em produtos inofensivos. O dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), ao ser adicionado aos revestimentos de fachadas, dá origem a superfícies autolimpantes, que dificultam a formação de manchas por resíduos e conservando sua coloração original ao decorrer do tempo. Portanto, o projeto avaliou o rendimento autolimpante do concreto usinado adicionado ao produto que fez fotocatalise (dióxido de titânio na fase anatase) submetido ao clima da cidade de Lavras. Na realização desse projeto, foram elaboradas amostras de concreto convencional, usinado, com o uso do cimento Portland CP III, contendo diferentes teores de  $\text{TiO}_2$ , as quais foram manchadas com Rodamina B e lodo de cinzas da queima de eucalipto e, em seguida, submetido ao intemperismo. Durante o período de cura, foram executados testes de resistência à compressão axial, permeabilidade por imersão e Microscopia Eletrônica de Varredura, além de ser observado a limpeza de acordo com o tempo, considerando os níveis de descoloração das manchas encontradas. Já realizado os testes, os resultados foram apresentados de acordo com as características obtidas através dos experimentos, tendo visto que a ação do produto fotocatalítico no controle das manchas, não foram significativas. Desta forma, é comprovado que independente dos teores de  $\text{TiO}_2$  no concreto, as superfícies foram limpas da mesma forma e no mesmo tempo.

**Palavras-chave:** manchas; fotocatalise; dióxido de titânio, cimento, porosidade.



## ABSTRACT

With the passage of time and climatic changes, the facade movements under the action of weathering and many other agents of degradation, suffer with the formation of a kind of shield for the accumulation of pollutant particles in the structure of the structures. The increasing costs of maintenance and maintenance of such practices are related to the use of photocatalytic materials that promote the catalysis of the polluting mineralized and transforming agents into harmless products. Titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ), when added to the facade coatings, gives rise to self-cleaning surfaces, which make it difficult to stain by residues and retain their original coloration over time. Therefore, the project evaluated the self-cleaning yield of the concrete machined in relation to the photocatalytic product (titanium dioxide in the anatase phase) submitted to the climate of the city of Lavras. Abstract: In aquarium preparation, which were used in aquarium, which were used in aquarium. to weathering. During the curing period, tests of resistance to axial compression, permeability to immersion and scanning electron microscopy, and periodic thawing were performed, considering the discoloration levels of the spots found. The results were compared with the probing criteria through the experiments, resulting in the action of the photocatalytic product in the control of the spots, were not significant. Thus, it is proven the independent use of  $\text{TiO}_2$  contents in the concrete, as were the same forms of expression and without the same time.

**Keywords:** spots; photocatalysis; titanium dioxide, cement, porosity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do Processo Kroll.....	17
Figura 2 - Mecanismo da ação autolimpante.....	20
Figura 4 – Formas para a confecção dos corpos de prova .....	27
Figura 5 – Balança para obter a massa dos componentes .....	28
Figura 6 – Balança utilizada para a pesagem do concreto.....	28
Figura 7 – Corpos de prova e placas com 20% de adição de dióxido de titânio após a desforma.....	29
Figura 8 – Tanque com água para cura dos elementos de concreto .....	29
Figura 9 – Prensa Hidráulica Elétrica Digital .....	30
Figura 10 – Corpo de prova rompido pela prensa hidráulica.....	31
Figura 11 – Rodamina B sendo pesado .....	31
Figura 12 – Cinzas provenientes da queima do eucalipto.....	32
Figura 13 – Placas de Concreto sendo manchadas com Rodamina B .....	32
Figura 14 – Placas de concreto imersas na solução de cinzas.....	33
Figura 15 – Placas de concreto sendo secas, no clima de laboratório.....	33
Figura 16 – Placas de concreto com adição de 15% de TiO <sub>2</sub> , expostas ao clima urbano .....	34
Figura 17 – Placas de concreto manchadas com cinzas em exposição aos raios UV .....	34
Figura 18 – Placas limpas após 3 dias de exposição.....	35
Figura 19 – Amostras de concreto em imersão no tanque de cura do laboratório .....	36
Figura 20 - Amostras de concreto sendo pesadas .....	36
Figura 21 – Estufa em temperatura de 100°C.....	37
Figura 22 – Amostras separadas e coladas nos stub's .....	38
Figura 23 – Microscópio Eletrônico de Varredura .....	39
Figura 24 – Imagens A, B, C, D e E mostra as aproximações da amostra de 0% de TiO <sub>2</sub> .....	40

Figuras 25 – Imagens A, B, C, D e E mostra as aproximações da amostra de 5% de TiO <sub>2</sub> .....	41
Figuras 26 – Imagens A, B, C, D e E mostra as aproximações da amostra de 10% de TiO <sub>2</sub> .....	42
Figuras 27 – Imagens A, B, C, D e E mostra as aproximações da amostra de 15% de TiO <sub>2</sub> .....	43
Figuras 28 – Imagens A, B, C, D e E mostra as aproximações da amostra de 20% de TiO <sub>2</sub> .....	44
Figura 29 – Aproximação de 800x mostrando a distância entre a pasta de cimento e o agregado graúdo.....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Poluentes Atmosféricos.....	19
Tabela 2 - Esquema do mecanismo da fotocatalise.....	21
Tabela 3 - Esquema da moldagem dos corpos de prova .....	24
Tabela 4 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, sem adição de TiO <sub>2</sub> .....	46
Tabela 5 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, sem adição de TiO <sub>2</sub> .....	47
Tabela 6 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com 5% de TiO <sub>2</sub> .....	47
Tabela 7 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com a adição de 5% de TiO <sub>2</sub> .....	48
Tabela 8 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com adição de 10% de TiO <sub>2</sub> .....	48
Tabela 9 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com adição de 10% de TiO <sub>2</sub> .....	49
Tabela 10 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com adição de 15% de TiO <sub>2</sub> .....	49
Tabela 11 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com adição de 15% de TiO <sub>2</sub> .....	50
Tabela 12 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com adição de 20% de TiO <sub>2</sub> .....	50
Tabela 13 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com adição de 20% de TiO <sub>2</sub> .....	51
Tabela 14 – Comparações Múltiplas das Resistências do Concreto com 0% de TiO <sub>2</sub> .....	52
Tabela 15 – Comparações Múltiplas das Resistências do Concreto com 5% de TiO <sub>2</sub> .....	52

Tabela 16 – Comparações Múltiplas das Resistências do Concreto com 10% de TiO <sub>2</sub> .....	52
Tabela 17 – Comparações Múltiplas das Resistências do Concreto com 15% de TiO <sub>2</sub> .....	53
Tabela 18 – Comparações Múltiplas das Resistências do Concreto com 20% de TiO <sub>2</sub> .....	53
Tabela 19 – Tabela dos valores de massas saturadas e secas, com seus respectivos resultados.....	57
Tabela 20 – Classificação do concreto de acordo com seu teor de absorção de água .....	58

## **LISTA DE GRÁFICO**

Gráfico 1 – Relação entre Resistência do Concreto com o Tempo de Cura e a Concentração de $TiO_2$ .....	54
Gráfico 2 – Relação entre Resistência do Concreto com o Tempo de Cura sem adição de $TiO_2$ .....	54
Gráfico 3 – Relação entre Resistência do Concreto com o Tempo de Cura com adição de 5% de $TiO_2$ .....	55
Gráfico 4 – Relação entre Resistência do Concreto com o Tempo de Cura com adição de 10% de $TiO_2$ .....	55
Gráfico 5 – Relação entre Resistência do Concreto com o Tempo de Cura com adição de 15% de $TiO_2$ .....	56
Gráfico 6 – Relação entre Resistência do Concreto com o Tempo de Cura com adição de 20% de $TiO_2$ .....	56

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	16
2.1 Dióxido de Titânio .....	16
2.2 Titânio .....	17
2.3 Efeito fotocatalítico.....	19
2.4 Conceitos do Concreto Autolimpante.....	22
3 MATERIAS E MÉTODOS.....	23
3.1 Moldagem dos Corpos de Prova e Placas de Concreto.....	23
3.1.1 Materiais Utilizados.....	24
3.1.1.1 Agregado Miúdo .....	24
3.1.1.2 Água .....	24
3.1.1.3 Agregado graúdo .....	25
3.1.1.4 Cimento .....	25
3.1.1.5 Dióxido de Titânio.....	25
3.2 Ensaio de Compressão Axial dos Corpos de Prova.....	25
3.3 Manchamentos.....	26
3.3.1 Cinzas.....	26
3.3.2 Rodamina B .....	26
3.4 Procedimentos .....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	46
5 CONCLUSÃO.....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62

## **1 INTRODUÇÃO**

As fachadas que estão sob a ação do intemperismo e da poluição, sofrem com o surgimento de manchas proveniente do acúmulo de partículas originadas das alterações climáticas. Com isso, para remover essas sujidades, os custos tornam-se elevados, e isso chama atenção para o desenvolvimento de estudos que envolvam a adição de materiais que façam que essa superfície se limpe de forma sustentável.

O projeto tem como objetivo principal avaliar o rendimento do concreto quando adicionado o dióxido de titânio, por ser uma substância fotocatalítica que permita a autolimpeza do concreto e assim preservar a cor e a superfície original das fachadas. Dessa forma, foi avaliado sob o clima da cidade de Lavras – MG, o rendimento do Cimento Portland CP III, manchados com lodo de cinzas e Rodamina B, adicionado de diversos teores de dióxido de titânio, sendo 0%, 5%, 10%, 15% e 20%.

Após serem submetidos às mudanças climáticas e já passado o período em que ficam submersos à água (período de cura), foram realizados os testes de compressão axial, permeabilidade por imersão, testes visuais colorimétricos e a Microscopia Eletrônica de Varredura nas placas de concreto.

O objetivo específico deste trabalho foi analisar o potencial de ação do  $TiO_2$ , e seus benefícios quando somados ao concreto, dando foco a sua propriedade fotocatalítica na remoção das manchas causadas pelas intempéries. O projeto apresentado busca avaliar a eficiência da autolimpeza do concreto com acréscimo de dióxido de titânio, exposto ao ambiente urbano da cidade de Lavras – MG. Também busca avaliar sua variação de resistência, porosidade e a interação entre agregado graúdo e pasta de cimento de acordo com esses acréscimos.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Dióxido de Titânio

Conforme cita Maia (2001), a anatase, também conhecida como octaedrita, está entre os principais materiais para a confecção de dióxido de titânio. O minério citado possui concentração de 98,4 a 99,8 de Dióxido de Titânio ( $\text{TiO}_2$ ).

Para Mguig et al. (2004), o tipo anatase é utilizado com maior frequência, pois possui maior aplicabilidade do produto fotocatalítico a outros tipos de  $\text{TiO}_2$ . Encontra-se no Brasil os depósitos de anatase natural mais vantajosos do mundo.

O semicondutor que se mostra mais apropriado para o processo de fotocatalise até o presente momento é o dióxido de titânio. Para Costa et. Al. (2006), é interessante, principalmente, ao participar de processos como a geração de gás hidrogênio e complexos autolimpantes e anti-embaçantes para espelhos, assim como despoluição de águas contaminadas com micro poluente orgânicos.

Santos (2010) afirma que, além disso, o dióxido de titânio está sendo estudado para descartar o gás etileno de locais para eliminar alguns microrganismos do ar principalmente os utilizados para bioterrorismo, como Anthrax (projeto AiroCide  $\text{TiO}_2$ ) e para estoque de vegetais e frutas (projeto Bio-Kes); algo que está sendo feito através de patrocínio da National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Segundo Baltar et. Al. (2008), o dióxido de titânio possui resistência a mudança de cor, estabilidade térmica com alta capacidade de cobertura não tendo componentes tóxicos, sendo um pigmento estável. Por isso usualmente é usado como sensor de gás, pigmento branco, etc. Sendo que os maiores consumidores são indústrias de tintas, papel e borracha.

Para Rodriguez et. Al. (1996), alguns compostos quando entram em contato com o dióxido de titânio geram formas não tóxicas, como por exemplo cetonas, ácidos carboxílicos, éteres, álcoois, aminas, etc.

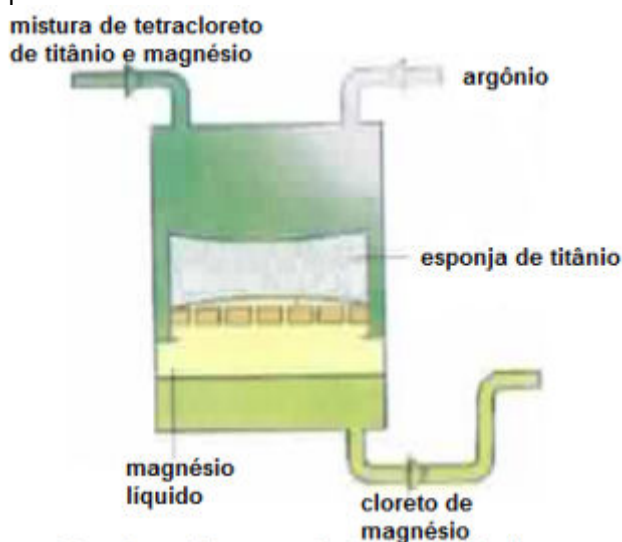
Além disso, Nogueira, Jardim (1998), cita que o dióxido de titânio é apto a reagir com várias moléculas biológicas e desativar algumas espécies de microrganismos como *Lactobacillus acidophilus*, *Sacharomyces cerevisiae* e *Escherichia Coli*, sendo um biocida com grande eficácia.

## 2.2 Titânio

De acordo com Larousse & Nova Cultural (1998), o titânio foi descoberto em 1791 por Willian Justin Gregor, na Inglaterra, no decorrer de uma experiência de tratamento de ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) com ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ) concentrado. Porém, só foi denominado em 1794, quando o químico alemão Heimich Klaproth o determinou em uma amostra de rutilo ( $\text{TiO}_2$ ).

Para Larousse e Nova Cultural (1998), uma das metodologias para se obter o titânio é o processo Kroll, como mostra a Figura 1. Este sistema é efetuado pelo transcurso de uma corrente de cloro no minério aquecido na existência do carbono. O tetracloreto de titânio que for obtido é 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.

Figura 1 - Esquema do Processo Kroll



Fonte: Larousse & Nova Cultural (1998).

Para Baltar et al. (2008), a confecção de titânio é feita baseada em depósitos primários ou secundários. Nos depósitos secundários, também

denominado de placers, que geralmente são achados em locais com praias onde o quartzo é o mineral mais abundante, também podem encontrar ilmenita e rutilo. Já nos depósitos primários, o rutilo não é facilmente encontrado em condições favoráveis para economia. Os minerais de titânio aparecem junto aos minerais de ferro.

Segundo Baltar et al. (2008), o titânio se aquecido, origina componentes estáveis, sendo um metal branco de alto ponto de fusão (1670°C), elevada densidade (4,5 g/cm<sup>3</sup>), muita capacidade de dispersão, estabilidade térmica, boa resistência à corrosão, ótima característica mecânica (semelhantes às do aço) e pouco reativo em temperatura ambiente.

De acordo com Froes (1987), a utilização desse elemento em atuações industriais, como confecção de próteses dentárias e fabricação de turbinas para aviões supersônicos é possível graças a essas características. Também pode ser usado em indústrias metalúrgicas, químicas, elétricas, etc.

Apesar disso, Gonzalez-Barros e Barcelo (1997), afirma que para produção de dióxido de titânio a maior parte dos concentrados de minerais produzidos é utilizada, cerca de 90 %.

Segundo Amorim Neto e Almeida (2009), o titânio pode ser achado em rochas ígneas e sedimentos derivados desta, além de ser um dos compostos mais excessivos na Terra, usualmente associado ao oxigênio e ferro. Os principais minerais constituídos por titânio são: perovskita (CaTiO<sub>3</sub>), dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>), titanita (CaTiSiO<sub>5</sub>), ilmenita (FeTiO<sub>3</sub>).

## 2.3 Efeito fotocatalítico

Para Coimbra (2016), representam um enorme avanço no desenvolvimento do concreto a favor de mecanismos de avanço sustentável as pesquisas e estudos que são desenvolvidos se referenciando ao concreto com efeito fotocatalítico que geram a autolimpeza de sua superfície e diminui os índices de poluição.

A utilização do concreto aparente tem suas desvantagens pois, ao entrar em contato com o meio externo, com o passar do tempo, acontece a deposição de partículas advindas dos poluentes da atmosfera, da distribuição de microrganismos, ou por mau uso (pichação) (Gaylarde, 2005), se acumulando progressivamente em sua superfície, denegrindo a qualidade estética do concreto (PIO et al. 1998). A Tabela 1 mostra os tipos de poluentes atmosféricos e sua respectiva classificação.

Tabela 1 - Poluentes Atmosféricos

	<b>Poluentes Primários</b>	<b>Poluentes Secundários</b>
Industria	- Monóxido de carbono (CO), óxidos de azoto	- Mais nocivos,
Tráfego	▶ (NOx)/Hidrocarbonetos,▶ dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> ),	derivados dos primários.
Natureza (Vento, Vulcão, etc.)	partículas em suspensão.	Chuva ácida, ozônio, etc.

Fonte: O autor (2017).

Alguns fatores interferem no desenvolvimento e no nível de decomposição da estrutura de concreto aparente ao longo de sua vida útil como 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 (COIMBRA, 2016).

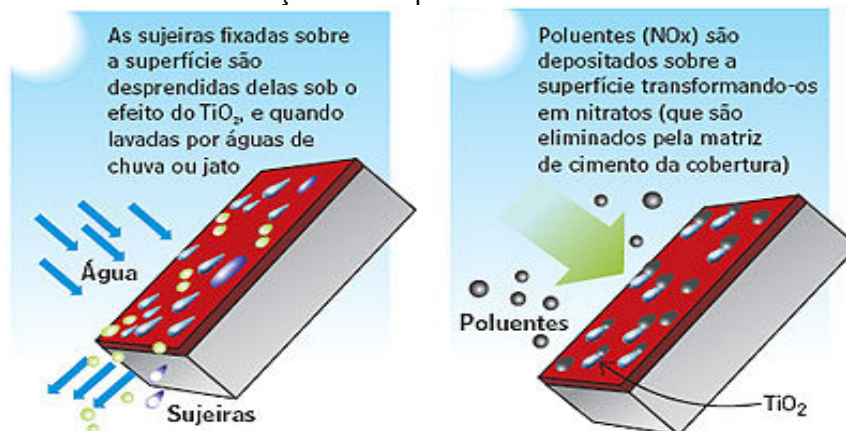
Em relação ao concreto, os complexos de proteção superficial têm vida útil reduzida, algo que origina metodologias e custos para manutenção da

estrutura. Muitas soluções têm sido propostas para esclarecer este problema, dentre elas, a modernização de concretos com objetivo fotocatalítico, que, segundo descrito em Calcia (2016), usufrui de forma útil, a extensa e renovável energia solar, algo que evidencia um caminho eficiente para o desenvolvimento tecnológico, a baixo custo.

A fotocatalise consiste na abreviação da velocidade de reações químicas a partir da ocorrência de raios ultravioleta (UV) em substância catalisadora, e não se modifica durante o processo e gera a degradação e neutralização de produtos nocivos encontrados na atmosfera responsáveis em parte pelo o efeito estufa. A fotocatalise é um acontecimento natural que usa a energia luminosa (BÉTOCIB, 2009).

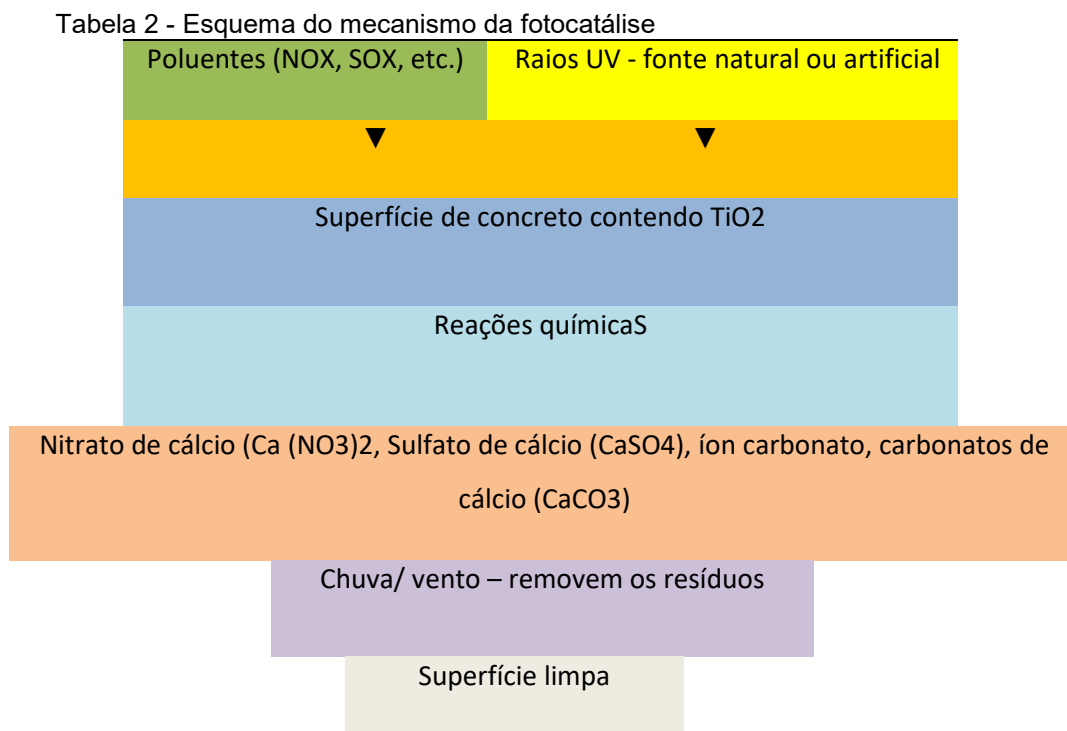
Estudos apontam que a anatase é considerada melhor fotocatalisador que o rutilo. Porém, dependendo do tipo da utilização, o rutilo pode se mostrar com um melhor desenvolvimento. Quando a superfície é alvo de radiação ultravioleta pelo dia, ocorrem os processos de oxidação e destruição de substancias orgânicas que foram depositados na superfície durante o período noturno. Juntamente, ocorre a diminuição do ângulo de contato e o arraste das partículas aderidas quando há chuva (POON, CHEUNG, 2007), conforme apresentado na Figura 2 que mostra como funciona a ação do dióxido na superfície.

Figura 2 - Mecanismo da ação autolimpante



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

Na Tabela 2 é representado o esquema do mecanismo da fotocatalíse no concreto, no qual os poluente e raios UV's 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.



Fonte: Coimbra (2016).

O arraste dos subprodutos depositados é tão importante quanto o processo de decomposição. Para transformar a superfície em super-hidrofílica, os processos fotocatalíticos atuam juntamente com a ação do TiO<sub>2</sub>, onde a lâmina de água é formada, como consequência dos ângulos de contato próximos de zero, facilitando o arraste (COIMBRA, 2016).

Porém, segundo Coimbra (2016), este fenômeno é reversível. Materiais com propriedades fotocatalíticas devem ser usados em locais com elevada inclinação, como fachadas e telhados de edifícios pois quando retirada a radiação UV, percebe-se um crescente aumento do ângulo de contato.

## **2.4 Conceitos do Concreto Autolimpante**

Para Coimbra (2016), o concreto autolimpante é o concreto que, gera a limpeza de sua superfície aparente e a preservação de sua qualidade estética, pois e feito com cimento composto por substância catalisadora, sob atuação de raios ultravioletas, atuando de acordo com o fenômeno da fotocatalise, gera a decomposição de compostos biológicos.

De acordo com Italcimenti (2004), a propriedade autolimpante está diretamente relacionada com o meio Ambiente (quantia e tipo de resíduos a que a face do concreto estará sujeita, como a sujeira de princípio orgânico-algas, bactérias; e inorgânico-resíduos de combustão); condições de exposição(a umidade relativa interfere na predisposição à multiplicação de microrganismos, originando sujidades orgânicas; altas temperaturas auxiliam no processo fotocatalítico); superfície do concreto (o tipo de superfície afeta o nível de capacidade de fixação de impurezas e umidade).

### **3 MATERIAS E MÉTODOS**

Foram recolhidos informações e dados em revistas, livros, artigos e monografias para complementar a revisão bibliográfica. Os testes de compressão axial, absorção de água por imersão e o teste visual colorimétrico, foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário de Lavras. Já a Microscopia Eletrônica de Varredura foi realizada no Laboratório de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

#### **3.1 Moldagem dos Corpos de Prova e Placas de Concreto**

A moldagem foi feita com formas cilíndricas de metal, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura e as placas com 15 cm de comprimento, 15 cm de largura e 5 cm de altura. O concreto utilizado foi o usinado com fck de 25 MPa da empresa Santa Efigênia da cidade de Lavras-MG. O  $f_{ck}$  é a resistência característica do concreto a compressão (no inglês, Feature Compression Know). Com o intuito de evitar a formação de vazios na concretagem e consequentemente 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.

Este procedimento foi utilizado para moldar os 160 corpos de prova cilíndricos com diferentes teores de Dióxido de Titânio, sendo eles 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de acordo com a quantidade de cimento 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 9 placas retangulares como mostra a Tabela 3.



Tabela 3 - Esquema da moldagem dos corpos de prova

Concentração	Quantidade de Corpos de Prova	Tempo de Cura
0%	8 corpos de prova para	7 dias
	8 corpos de prova para	14 dias
	8 corpos de prova para	21 dias
	8 corpos de prova para	28 dias
	9 placas de concreto para	28 dias
5%	8 corpos de prova para	7 dias
	8 corpos de prova para	14 dias
	8 corpos de prova para	21 dias
	8 corpos de prova para	28 dias
	9 placas de concreto para	28 dias
10%	8 corpos de prova para	7 dias
	8 corpos de prova para	14 dias
	8 corpos de prova para	21 dias
	8 corpos de prova para	28 dias
	9 placas de concreto para	28 dias
15%	8 corpos de prova para	7 dias
	8 corpos de prova para	14 dias
	8 corpos de prova para	21 dias
	8 corpos de prova para	28 dias
	9 placas de concreto para	28 dias
20%	8 corpos de prova para	7 dias
	8 corpos de prova para	14 dias
	8 corpos de prova para	21 dias
	8 corpos de prova para	28 dias
	9 placas de concreto para	28 dias

Total de 32 corpos de prova para cada concentração de  $TiO_2$

Total de 160 corpos de prova

Total de 45 placas de concreto

Fonte: O autor (2018).

### 3.1.1 Materiais Utilizados

#### 3.1.1.1 Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia, que cuja matéria prima pode ser de origem natural, sendo composta de rochas e minerais. Na produção do concreto, utilizou-se, areia média de origem de um mesmo lote, disponível comercialmente na região.

#### 3.1.1.2 Água

A água utilizada na produção do concreto foi a que estava acessível para fornecimento local, disponibilizada pela Copasa Lavras – MG.

### **3.1.1.3 Agregado graúdo**

No projeto foi usado a brita granítica número 1, esse tipo de brita é o mais utilizado na construção civil para executar lajes, vigas e pilares, sendo sua granulometria de 9,5 mm a 19 mm.

### **3.1.1.4 Cimento**

Na confecção do concreto, foi empregado o cimento *Portland* CP III estrutural, proveniente de fonte nacional, pois apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, e também baixo calor de hidratação, com alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado, sendo resistente a sulfatos, além de reaproveitar os rejeitos da siderúrgica, a escória. A norma brasileira que trata deste tipo de cimento é a NBR 5735 (ABNT, 1991).

### **3.1.1.5 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 usinado os teores de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de dióxido de titânio para a quantidade de cimento utilizado na mistura 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 de cada teor 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<sup>2</sup>, fechou o alívio de pressão e iniciou o teste. Abriu-se o controle de vazão para manter a velocidade de carregamento entre 3,5 e 4 kN/s que é a carga em relação ao tempo. Imediatamente quando o corpo de prova rompeu, a prensa desligou-se e foi anotado a resistência. Fez-se os testes com 8 corpos de prova com o teor de 0% de dióxido de titânio, a um tempo de cura de 7 dias, após isso foi feito os demais testes para os outros teores e seus respectivos tempos de cura.

### **3.3 Manchamentos**

O manchamento foi feito com a Rodamina B e lodo de cinza para manchar as placas de concreto. Esse manchamento é feito para assemelhar-se com os efeitos que a poluição causa no concreto. Em seguida, serão exibidos os materiais utilizados para o manchamento, que foram o Lodo de Cinzas e a Rodamina B, e seus resultados em maiores detalhes.

#### **3.3.1 Cinzas**

As cinzas foram obtidas através da queima de lenha de eucalipto. É o mesmo material usado por Vaske (2012) em seu estudo com o concreto de cimento Portland.

#### **3.3.2 Rodamina B**

Foram confeccionados corpos de prova com os teores de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de dióxido de titânio, em forma de placas de 15 cm x 15 cm x 3 cm. Eles foram mergulhados em uma solução de Rodamina B, com concentração de 0,5g/L, em uma bacia, por um período de 24 horas. Depois, as placas de concreto foram retiradas das bacias e secas em clima de laboratório, naturalmente, por 72 horas. Feito isso, seguiram para a etapa de exposição ao ambiente urbano.

### **3.4 Procedimentos**

#### **3.4.1 Confecção dos Corpos de Prova**

Foram confeccionados 32 corpos de prova cilíndricos com as formas de metal de 10 cm x 20 cm como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Formas para a confecção dos corpos de prova



Fonte: O autor (2018).

No concreto foram adicionados diferentes teores de  $\text{TiO}_2$  em relação a quantidade de cimento presente no traço do mesmo, sendo esses teores de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de  $\text{TiO}_2$ . Para obter a proporção correta de cada um dos materiais, o concreto e o dióxido de titânio foram pesados em balanças digitais, como mostra as Figuras 5 e 6.

Figura 5 – Balança para obter a massa dos componentes



Fonte: O autor (2018).

Figura 6 – Balança utilizada para a pesagem do concreto



Fonte: O autor (2018)

Após a moldagem dos corpos de prova, aguardou-se 24 horas para a realização da desforma dos mesmos (Figura 7).

Figura 7 – Corpos de prova e placas com 20% de adição de dióxido de titânio após a desforma



Fonte: O autor (2018).

Posteriormente à desforma, os corpos de prova foram imersos no tanque, contendo água, na sala de cura do Laboratório do Centro Universitário de Lavras (Figura 8).

Figura 8 – Tanque com água para cura dos elementos de concreto



Fonte: O autor (2018).

Os corpos de prova ficaram imersos no tanque para o processo de cura durante 7, 14, 21 e 28 dias.

### **3.4.2 Ensaio de Compressão Axial**

Foram feitos os testes de compressão axial na prensa hidráulica elétrica digital (Figura 9). Esse ensaio é realizado para identificar a resistência a compressão de cada corpo de prova.

Figura 9 – Prensa Hidráulica Elétrica Digital



Fonte: O autor (2018).

Iniciou-se os testes com 8 corpos de prova com o teor de 0% de dióxido de titânio, a um tempo de cura de 7 dias, pois eram os primeiros a atingirem esse tempo de cura (Figura 10). Após isso, foram feitos os demais testes para os outros teores e seus respectivos tempos de cura.

Figura 10 – Corpo de prova rompido pela prensa hidráulica



Fonte: O autor (2018).

### 3.4.3 Manchamentos

A segunda fase da pesquisa foi destinada para a realização dos manchamentos das placas de concreto. Conforme exposto na NBR 7215 (ABNT, 1996), foi aguardado o tempo de cura das placas de concreto de 28 dias logo após execução dos corpos de prova.

Sucessivamente, foram utilizados o Rodamina B e as cinzas para manchar a superfície das placas de concreto sendo manchadas 5 placas com Rodamina B e 4 placas com cinzas, nas Figuras 11 e 12 pode-se observar o Rodamina B e as cinzas, respectivamente.

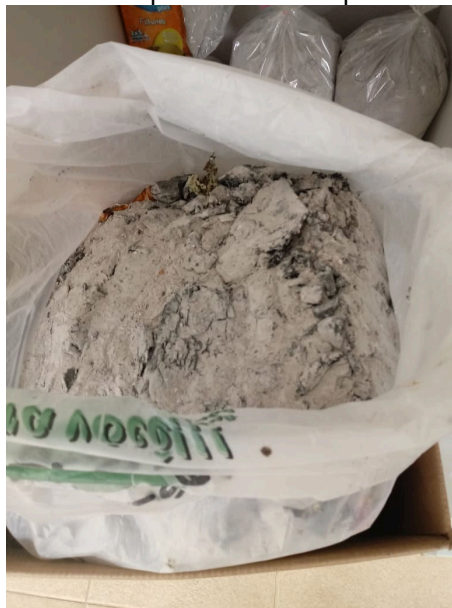
Figura 11 – Rodamina B sendo pesado



Fonte O autor (2018).



Figura 12 – Cinzas provenientes da queima do eucalipto



Fonte: O autor

Após o procedimento de pesagem do Rodamina B, foi feito o manchamento utilizando o mesmo, a uma razão de  $0,5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ . Foi utilizado 18 L de água e 9 g de Rodamina B. Com a mistura pronta, colocou-se 5 placas de concreto dentro do recipiente e aguardou 24 horas (Figura 13).

Figura 13 – Placas de Concreto sendo manchadas com Rodamina B



Fonte: O autor (2018).

Com as cinzas foram feitos os mesmos procedimentos, porém com um traço de 1:2 e colocado as outras 4 placas no recipiente com solução de cinzas, conforme mostra a Figura 14.

Figura 14 – Placas de concreto imersas na solução de cinzas



Fonte: O autor (2018).

Logo após as 24 horas, foram retiradas as placas das soluções e foram colocadas para secar durante 72 horas, em clima de laboratório (Figura 15).

Figura 15 – Placas de concreto sendo secas, no clima de laboratório



Fonte: O autor (2018).

Após execução deste procedimento, foi iniciada a mensuração do efeito fotocatalítico do material com os dejetos, sob exposição aos raios ultravioletas (UV). Colocaram-se as placas de concreto manchadas com Rodamina B (Figura 16), e com lodo de cinzas, conforme mostra a Figura 17, em contato com o clima urbano. As medições visuais foram feitas, com 0, 3, 7, 14, 21, 28, 42, 56, 70 e 84 dias de exposição, contados a partir da data em que foram retiradas do laboratório.

Figura 16 – Placas de concreto com adição de 15% de  $TiO_2$ , expostas ao clima urbano



Fonte: O autor (2018).

Figura 17 – Placas de concreto manchadas com cinzas em exposição aos raios UV



Fonte: O autor (2018).

Com as placas manchadas e expostas ao clima urbano, foram feitas as medições visuais e observou-se que no dia 3, as placas estavam limpas, como é mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Placas limpas após 3 dias de exposição



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. 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 (Figura 19).

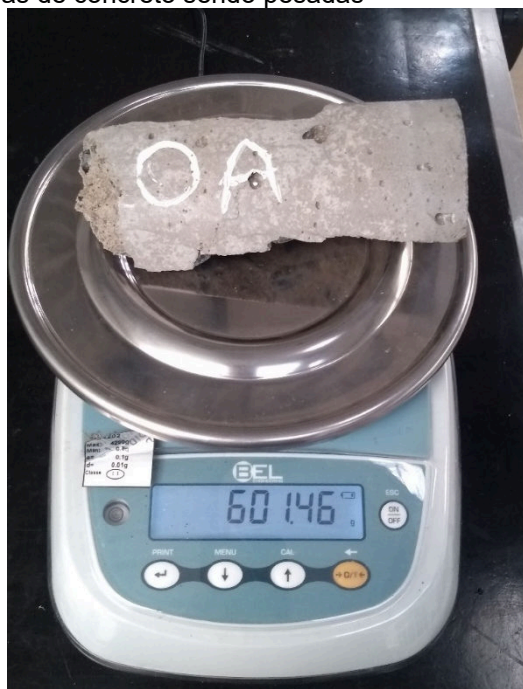
Figura 19 – Amostras de concreto em imersão no tanque de cura do laboratório



Fonte: O autor (2018).

Após as 24 horas, as amostras foram retiradas do tanque e pesadas (Figura 20).

Figura 20 - Amostras de concreto sendo pesadas



Fonte: O autor (2018).

Feito isso as amostras foram colocadas em uma estufa, a uma temperatura que teve variação de 100°C a 105°C, por 24 horas, como mostra a

Figura 21. As amostras foram retiradas da estufa depois do tempo estabelecido, e foram pesadas novamente. Com os resultados da massa seca e da massa saturada, foram realizados os cálculos, que os resultados dos mesmos serão mostrados posteriormente.

Figura 21 – Estufa em temperatura de 100°C



Fonte: O autor (2018).

### 3.4.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

A Microscopia Eletrônica de Varredura foi feita na Universidade Federal de Lavras (UFLA), no departamento de fitopatologia. Foram submetidos ao microscópio as amostras com todos os teores de Dióxido de Titânio, para analisar a interação do agregado graúdo (brita) com a pasta de cimento (argamassa). Foram separadas as 5 amostras de cada teor de  $TiO_2$  e coladas com fita dupla face nos stub's (porta amostras de alumínio) revestidos com papel alumínio (Figura 22).

Figura 22 – Amostras separadas e coladas nos stub's



Fonte: O autor (2018).

Logo após foram colocadas em um recipiente de plástico com sílica gel para retirar a umidade das amostras. As mesmas foram revestidas com uma camada de ouro para a melhor visualização. Foram feitas as imagens com o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) LEO EVO 40 XVP com sistemas de microanálise de raios X da Bruker (Quantax EDS e Software Spirit) e de criotransferência e criobservação da Gatan (Alto 1000) (Figura 23).

Figura 23 – Microscópio Eletrônico de Varredura

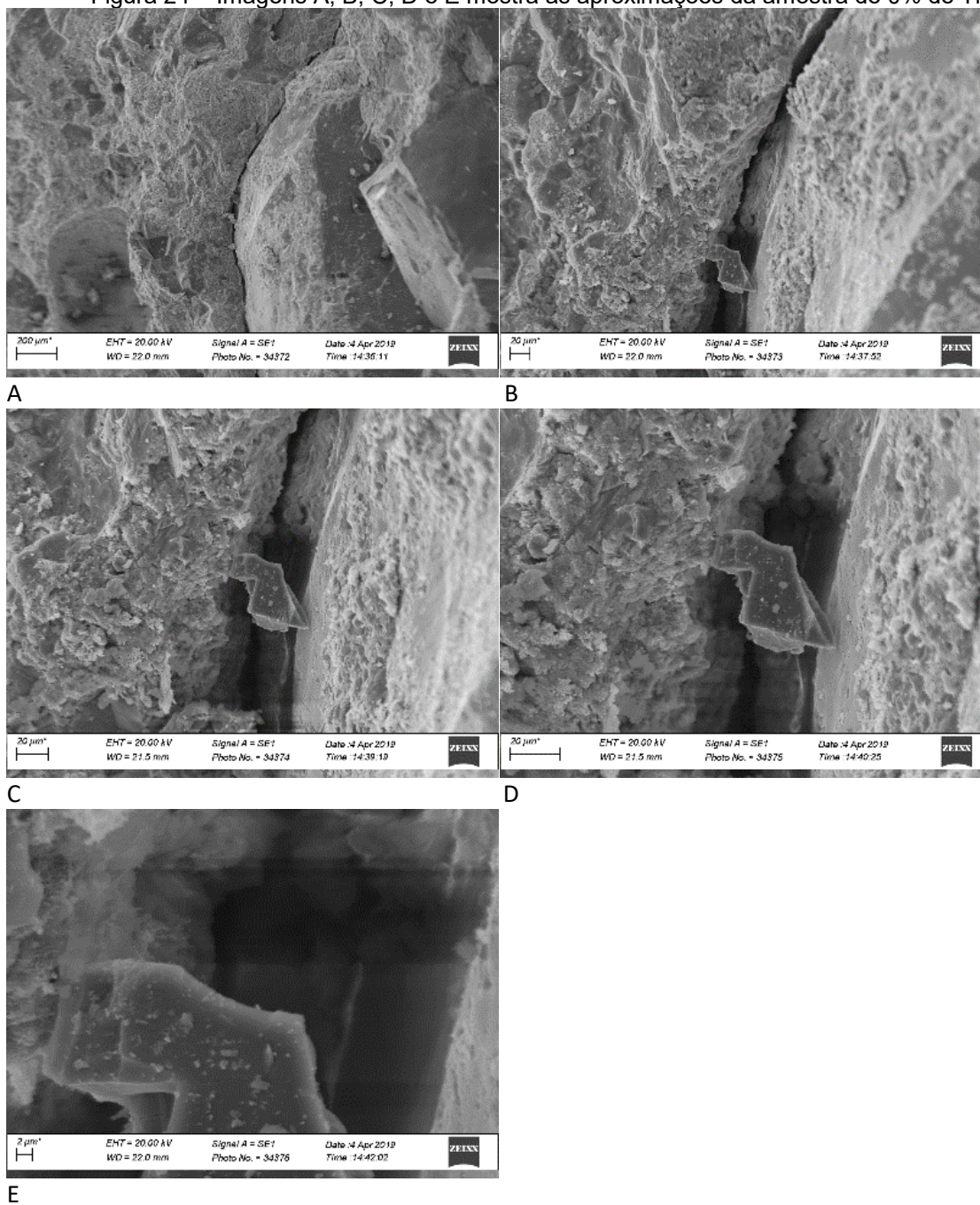


Fonte: O autor (2018).

Foram feitas 5 imagens para cada amostra, sendo cada amostra com um teor diferente de dióxido de titânio. As aproximações feitas pelo MEV foram de 100x, 500x, 800x, 1260x e 4000x. Estas imagens estão representadas na Figura 24, com teor de 0%. Na Figura 25 mostra as imagens com teor de 5%. Na Figura 26 é mostrado as imagens com teor de 10%. A Figura 27 mostra as imagens com teor de 15% e a Figuras 28 com teor de 20%. As imagens foram salvas e analisadas.

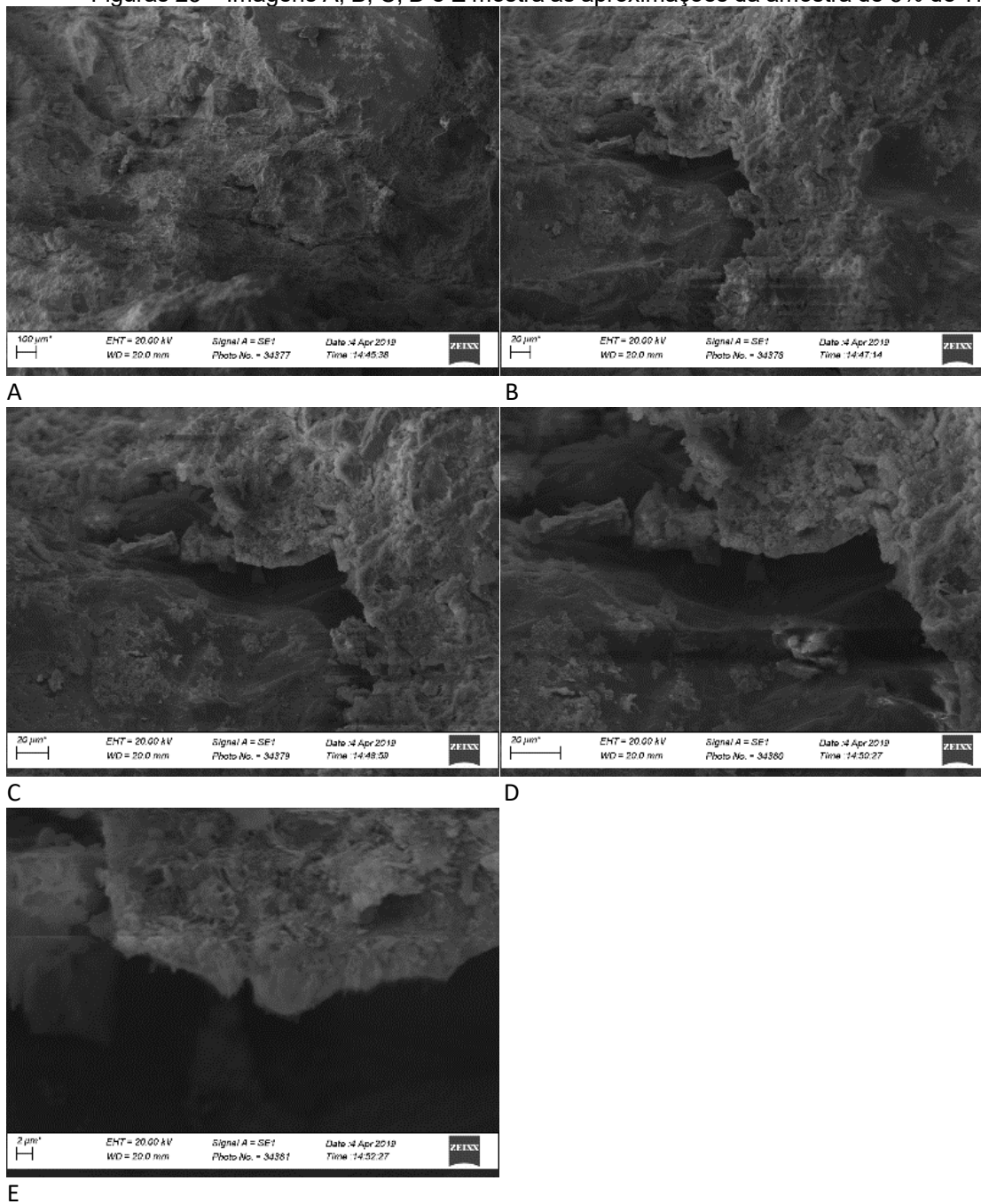


Figura 24 – Imagens A, B, C, D e E mostra as aproximações da amostra de 0% de TiO<sub>2</sub>



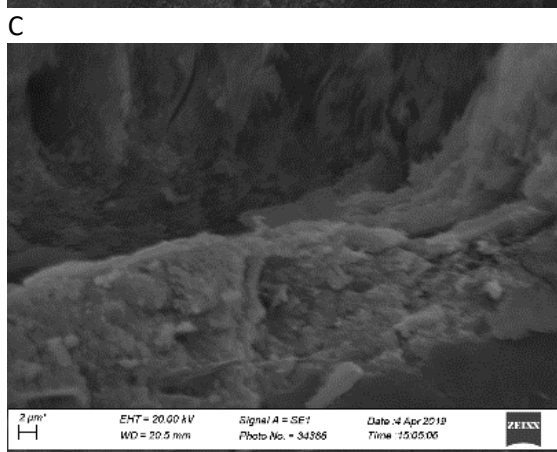
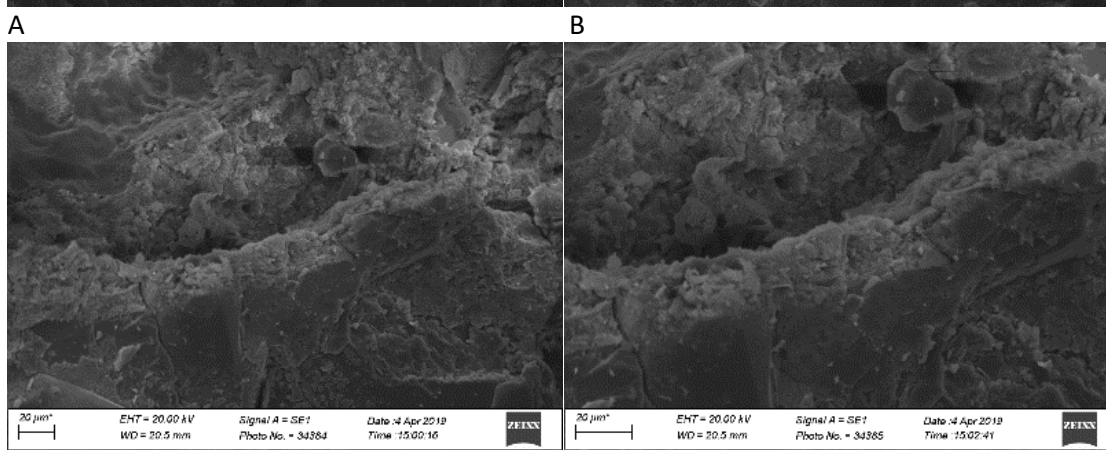
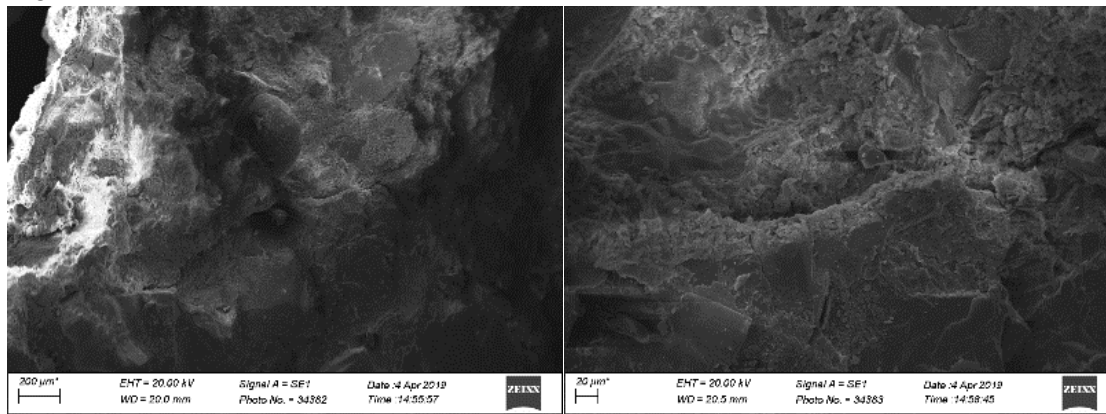
Fonte: O autor (2019).

Figuras 25 – Imagens A, B, C, D e E mostra as aproximações da amostra de 5% de TiO<sub>2</sub>



Fonte: O autor (2019).

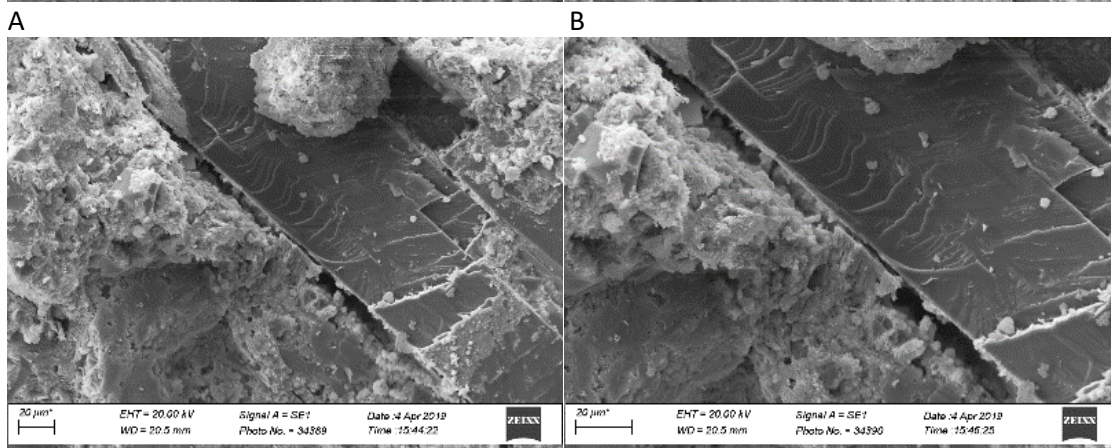
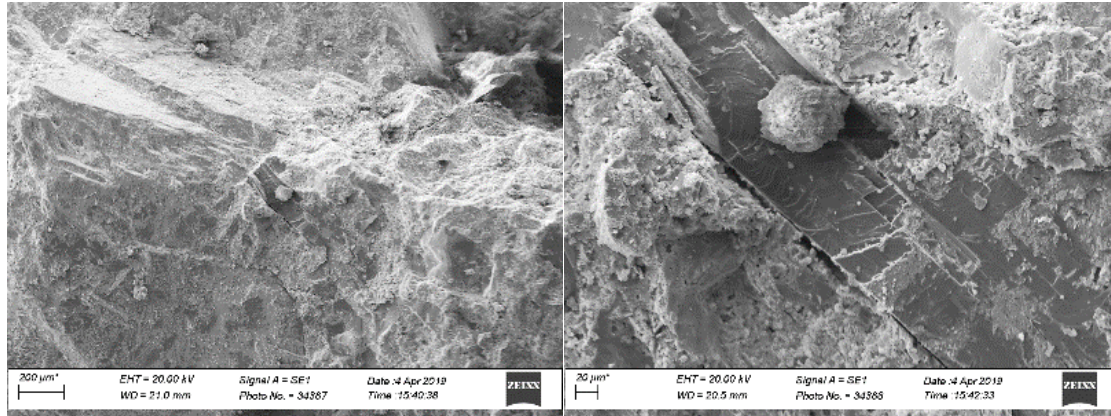
Figuras 26 – Imagens A, B, C, D e E mostra as aproximações da amostra de 10% de TiO<sub>2</sub>



E

Fonte: O autor (2019).

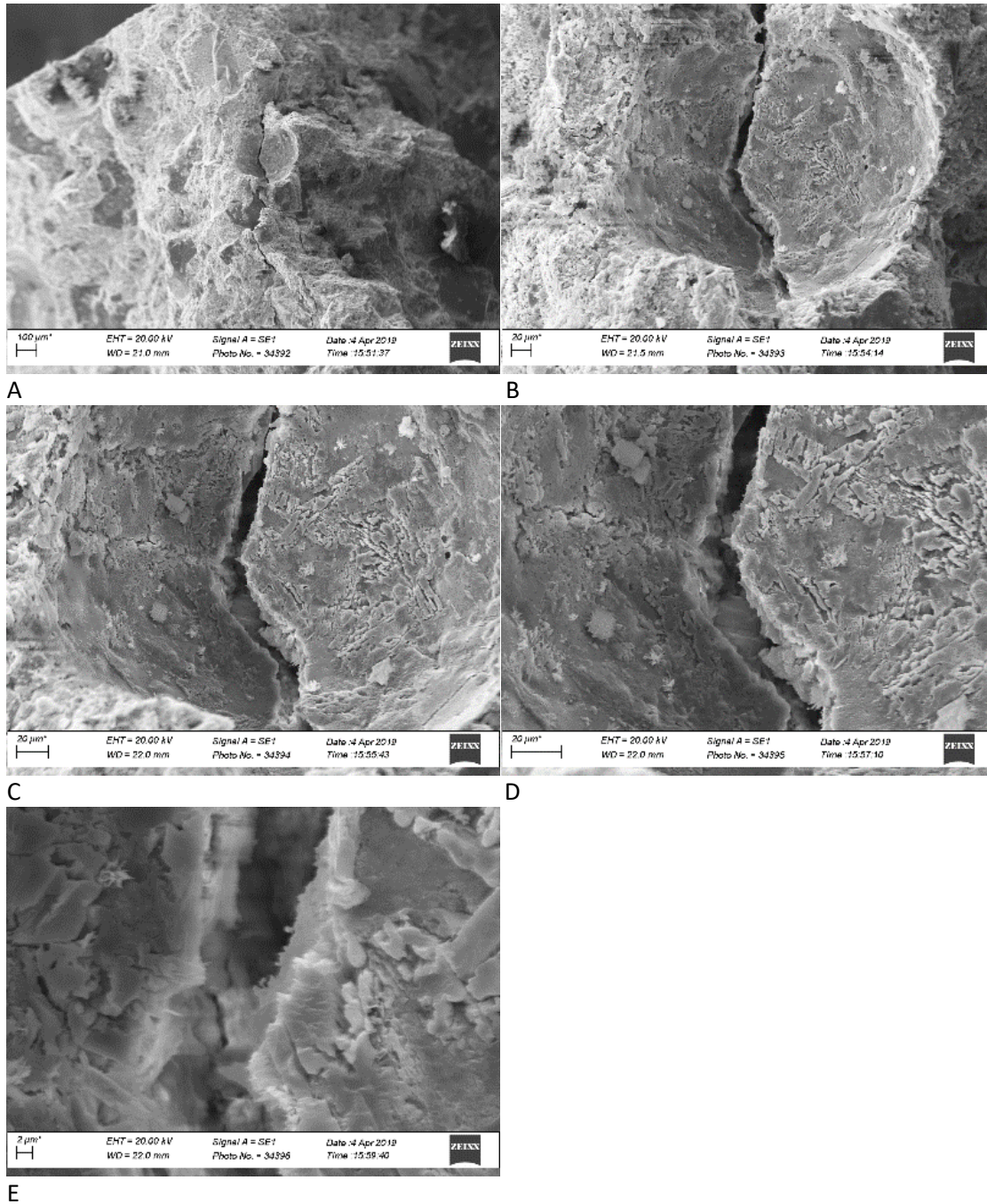
Figuras 27 – Imagens A, B, C, D e E mostra as aproximações da amostra de 15% de TiO<sub>2</sub>



E

Fonte: O autor (2019).

Figuras 28 – Imagens A, B, C, D e E mostra as aproximações da amostra de 20% de TiO<sub>2</sub>



Fonte: O autor (2019).



Com essas imagens pode-se observar as zonas de transição entre o agregado graúdo e a pasta de cimento. O teste foi feito para observar a interação do agregado graúdo com a argamassa para saber se o adensamento foi feito nos conformes e se o traço estava bom. Como a distância dessa zona de transição foi pequena, pode observar que o traço e o adensamento foram bons.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de compressão axial obtidos com a Prensa Hidráulica Elétrica Digital, foram colocados em tabelas com *software* Excel. Nas Tabelas 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13, os resultados estão dispostos de acordo com o tempo de cura e o teor de dióxido de titânio

Tabela 4 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, sem adição de TiO<sub>2</sub>

<b>ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA</b>		
<b>0%</b>	<b>7 dias</b>	<b>Área do CP (cm<sup>2</sup>)</b>
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm		78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)
1	137,72	26,03
2	148,80	18,95
3	138,46	17,63
4	124,95	15,91
5	133,63	17,01
6	159,81	20,35
7	149,42	19,02
8	139,02	17,70
<b>MÉDIA</b>	<b>141,48</b>	<b>19,08</b>

<b>0%</b>	<b>14 dias</b>	<b>Área do CP (cm<sup>2</sup>)</b>
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm		78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)
1	180,87	23,03
2	190,59	24,27
3	192,49	24,51
4	188,48	24,00
5	192,12	24,46
6	172,58	21,97
7	176,99	22,54
8	160,01	20,37
<b>MÉDIA</b>	<b>181,77</b>	<b>23,14</b>

Fonte: O autor (2018).

Tabela 5 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, sem adição de TiO<sub>2</sub>

<b>0%</b>		<b>21 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	204,47	26,03	
2	100,57	12,80	
3	161,58	20,57	
4	190,83	24,30	
5	203,83	25,95	
6	164,16	20,90	
7	177,93	22,65	
8	186,68	23,77	
<b>MÉDIA</b>	<b>173,76</b>	<b>22,12</b>	

<b>0%</b>		<b>28 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	213,79	27,22	
2	188,13	23,95	
3	182,49	23,24	
4	198,38	25,26	
5	190,06	24,20	
6	185,71	23,65	
7	201,97	25,72	
8	218,06	27,76	
<b>MÉDIA</b>	<b>197,32</b>	<b>25,12</b>	

Fonte: O autor (2018).

Tabela 6 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com 5% de TiO<sub>2</sub>  
**ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA**

<b>5%</b>		<b>7 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	183,96	23,42	
2	189,74	24,16	
3	186,55	23,75	
4	194,97	24,82	
5	208,86	26,59	
6	198,97	25,33	
7	211,98	26,99	
8	199,13	25,35	
<b>MÉDIA</b>	<b>196,77</b>	<b>25,05</b>	

<b>5%</b>		<b>14 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	224,25	28,55	
2	207,20	26,38	
3	210,61	26,82	
4	197,77	25,18	
5	210,69	26,83	
6	214,92	27,36	
7	215,95	27,50	
8	238,53	30,37	
<b>MÉDIA</b>	<b>214,99</b>	<b>27,37</b>	

Fonte: O autor (2018).



Tabela 7 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com a adição de 5% de TiO<sub>2</sub>

<b>5%</b>		<b>21 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	223,78	28,49	
2	217,00	27,63	
3	233,91	29,78	
4	208,07	26,49	
5	229,63	29,24	
6	224,59	28,60	
7	230,66	29,37	
8	214,04	27,25	
<b>MÉDIA</b>	<b>222,71</b>	<b>28,36</b>	

<b>5%</b>		<b>28 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	232,26	29,57	
2	243,17	30,96	
3	234,79	29,89	
4	220,71	28,10	
5	213,71	27,21	
6	247,52	31,52	
7	222,68	28,35	
8	248,83	31,68	
<b>MÉDIA</b>	<b>232,96</b>	<b>29,66</b>	

Fonte: O autor (2018).

Tabela 8 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com adição de 10% de TiO<sub>2</sub>

**ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA**

<b>10%</b>		<b>7 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	153,41	19,53	
2	152,46	19,41	
3	149,54	19,04	
4	150,71	19,19	
5	143,70	18,30	
6	148,28	18,88	
7	150,29	19,14	
8	158,67	20,20	
<b>MÉDIA</b>	<b>150,88</b>	<b>19,21</b>	

<b>10%</b>		<b>14 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	184,78	23,53	
2	170,67	21,73	
3	154,78	19,71	
4	178,96	22,79	
5	182,37	23,22	
6	186,65	23,77	
7	174,99	22,28	
8	177,51	22,60	
<b>MÉDIA</b>	<b>176,34</b>	<b>22,45</b>	

Fonte: O autor (2018).

Tabela 9 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com adição de 10% de TiO<sub>2</sub>

<b>10%</b>		<b>21 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	195,80	24,93	
2	198,77	25,31	
3	192,50	24,51	
4	193,80	24,68	
5	202,91	25,84	
6	198,44	25,27	
7	201,50	25,66	
8	180,32	22,96	
<b>MÉDIA</b>	<b>195,51</b>	<b>24,89</b>	

<b>10%</b>		<b>28 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	204,27	26,01	
2	207,84	26,46	
3	201,69	25,68	
4	220,75	28,11	
5	194,31	24,74	
6	206,14	26,25	
7	215,22	27,40	
8	199,66	25,42	
<b>MÉDIA</b>	<b>206,24</b>	<b>26,26</b>	

Fonte: O autor (2018).

Tabela 10 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com adição de 15% de TiO<sub>2</sub>

**ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA**

<b>15%</b>		<b>7 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	166,71	21,23	
2	172,85	22,01	
3	164,12	20,90	
4	163,31	20,79	
5	168,77	21,49	
6	173,69	22,11	
7	174,89	22,27	
8	175,32	22,32	
<b>MÉDIA</b>	<b>169,96</b>	<b>21,64</b>	

<b>15%</b>		<b>14 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	202,92	25,84	
2	209,72	26,70	
3	212,22	27,02	
4	220,18	28,03	
5	205,26	26,13	
6	197,72	25,17	
7	218,82	27,86	
8	222,35	28,31	
<b>MÉDIA</b>	<b>211,15</b>	<b>26,88</b>	

Fonte: O autor (2018).

Tabela 11 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com adição de 15% de TiO<sub>2</sub>

<b>15%</b>		<b>21 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	228,28	29,07	
2	216,00	27,50	
3	225,73	28,74	
4	209,81	26,71	
5	216,04	27,51	
6	226,84	28,88	
7	227,65	28,99	
8	235,52	29,99	
<b>MÉDIA</b>	<b>223,23</b>	<b>28,42</b>	

<b>15%</b>		<b>28 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	223,10	28,41	
2	225,60	28,72	
3	233,40	29,72	
4	236,53	30,12	
5	228,40	29,08	
6	238,42	30,36	
7	230,88	29,40	
8	227,22	28,93	
<b>MÉDIA</b>	<b>230,44</b>	<b>29,34</b>	

Fonte: O autor (2018).

Tabela 12 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com adição de 20% de TiO<sub>2</sub>

**ROMPIMENTO DOS CORPOS DE PROVA**

<b>20%</b>		<b>7 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	161,18	20,52	
2	167,28	21,30	
3	160,79	20,47	
4	177,08	22,55	
5	172,79	22,00	
6	172,79	22,00	
7	169,10	21,53	
8	170,49	21,71	
<b>MÉDIA</b>	<b>168,94</b>	<b>21,51</b>	

<b>20%</b>		<b>14 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	190,87	24,30	
2	196,91	25,07	
3	198,58	25,28	
4	184,07	23,44	
5	203,14	25,86	
6	185,21	23,58	
7	205,35	26,15	
8	197,40	25,13	
<b>MÉDIA</b>	<b>195,19</b>	<b>24,85</b>	

Fonte: O autor (2018).

Tabela 13 – Tabela dos valores da resistência dos corpos de prova, com adição de 20% de TiO<sub>2</sub>

<b>20%</b>		<b>21 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	213,90	27,23	
2	204,58	26,05	
3	225,49	28,71	
4	206,92	26,35	
5	214,47	27,31	
6	217,01	27,63	
7	212,36	27,04	
8	220,44	28,07	
<b>MÉDIA</b>	<b>214,40</b>	<b>27,30</b>	

<b>20%</b>		<b>28 dias</b>	Área do CP (cm <sup>2</sup> )
Corpos de Prova de 10 cm X 20 cm			78,53981634
Quantidade	Força(KN)	Tensão de Ruptura(MPa)	
1	210,68	26,82	
2	228,44	29,09	
3	224,62	28,60	
4	220,91	28,13	
5	227,75	29,00	
6	224,41	28,57	
7	224,59	28,60	
8	225,47	28,71	
<b>MÉDIA</b>	<b>223,36</b>	<b>28,44</b>	

Fonte: O autor (2018).

Com os resultados de compressão axial, fez-se a comparação dos resultados de cada teor, usando o BioEstat 5.0, que é um *software* gratuito de análises estatísticas. Foram usados os testes de Análise de Variância e o teste Tukey para a obtenção dos resultados. O coeficiente de variação, também conhecido como desvio padrão relativo, é uma medida padronizada de dispersão de uma distribuição de probabilidade ou de uma distribuição de frequências. As resistências que tem números seguidos de letras, são para distinguir se são diferentes ou não estatisticamente. Após a obtenção dos resultados de compressão mostrado nas tabelas acima, os mesmos foram analisados e distribuídos nas Tabelas 14, 15, 16, 17 e 18 que mostram as médias e os coeficientes de variação para cada teor.

Tabela 14 – Comparações Múltiplas das Resistências do Concreto com 0% de TiO<sub>2</sub>

<b>Tempo de Cura</b>	<b>Resistência Média (MPa)</b>	<b>C.V. (%)</b>
7 dias	19.0750 a	16,37
14 dias	23.1438 b	6,34
21 dias	22.1213 ab	19,37
28 dias	25.1250 b	6,67

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

C.V. – Coeficiente de Variação

Fonte: O autor (2019).

Tabela 15 – Comparações Múltiplas das Resistências do Concreto com 5% de TiO<sub>2</sub>

<b>Tempo de Cura</b>	<b>Resistência Média (MPa)</b>	<b>C.V. (%)</b>
7 dias	25.0513 a	5,12
14 dias	27.3738 b	5,66
21 dias	28.3563 bc	4,03
28 dias	29.6600 c	5,62

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

C.V. – Coeficiente de Variação

Fonte: O autor (2019).

Tabela 16 – Comparações Múltiplas das Resistências do Concreto com 10% de TiO<sub>2</sub>

<b>Tempo de Cura</b>	<b>Resistência Média (MPa)</b>	<b>C.V. (%)</b>
7 dias	19.2113 a	2,85
14 dias	22.4538 b	5,76
21 dias	24.8950 c	3,63
28 dias	26.2588 d	4,12

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

C.V. – Coeficiente de Variação

Fonte: O autor (2019).

Tabela 17 – Comparações Múltiplas das Resistências do Concreto com 15% de TiO<sub>2</sub>

<b>Tempo de Cura</b>	<b>Resistência Média (MPa)</b>	<b>C.V. (%)</b>
7 dias	21.6400 a	2,86
14 dias	26.8825 b	4,21
21 dias	28.4238 cd	3,79
28 dias	29.3425 d	2,33

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

C.V. – Coeficiente de Variação

Fonte: O autor (2019).

Tabela 18 – Comparações Múltiplas das Resistências do Concreto com 20% de TiO<sub>2</sub>

<b>Tempo de Cura</b>	<b>Resistência Média (MPa)</b>	<b>C.V. (%)</b>
7 dias	21.5100 a	3,38
14 dias	24.8513 b	4,00
21 dias	27.2988 c	3,17
28 dias	28.4400 d	2,52

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

C.V. – Coeficiente de Variação

Fonte: O autor (2019).

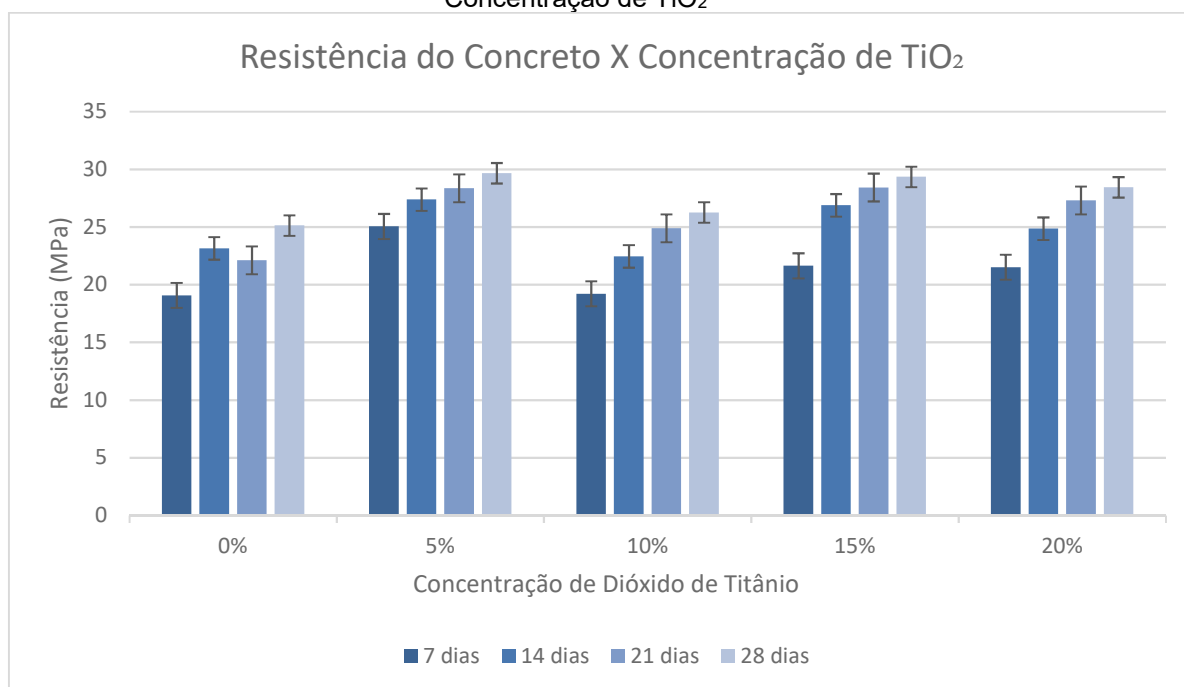
Cada tabela acima mostra as médias das resistências a compressão de todos os corpos de prova. Com esses resultados de médias e com a ajuda do *software*, fez-se a análise para saber se os resultados diferem ou não estatisticamente entre si, e se os coeficientes de variação se diferenciavam.

Na Tabela 17, por exemplo a resistência média do concreto com o tempo de cura de 21 dias, é igual estatisticamente a resistência média do concreto a um tempo de cura de 28 dias, porém é diferente estatisticamente ao de 7 e 14 dias.

Concluiu-se com os Gráficos de Barras, Gráficos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, que a tendência da resistência do concreto é aumentar de acordo com o tempo de cura.

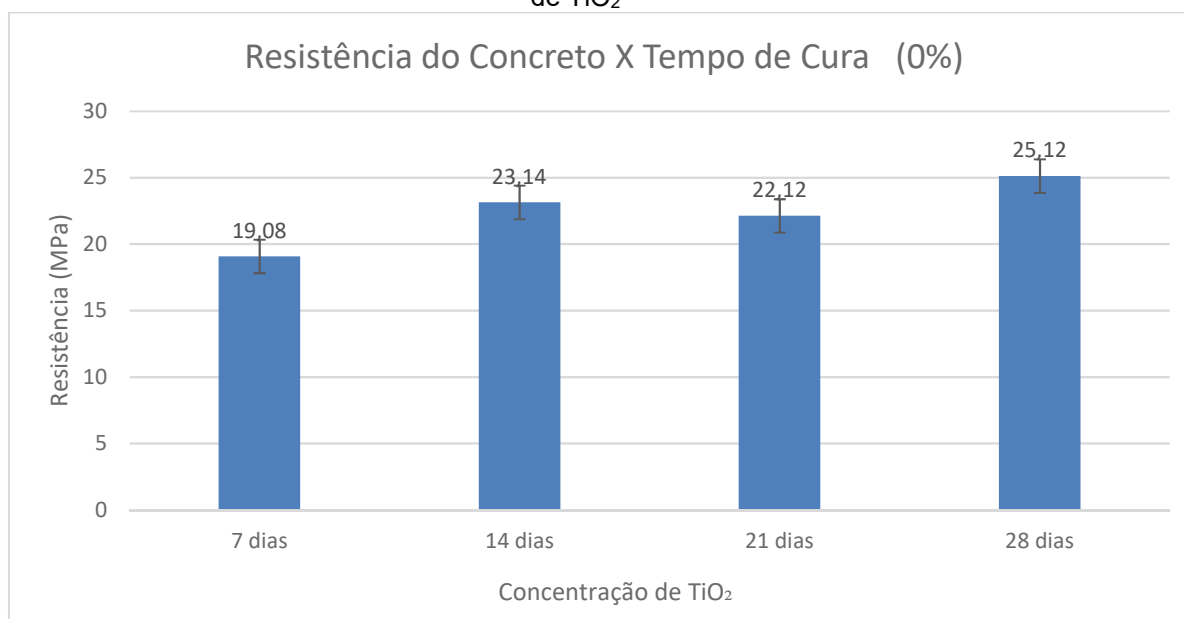
Analisando de acordo com a concentração de Dióxido de Titânio, tende a aumentar, porém é bastante variável.

Gráfico 1 – Relação entre Resistência do Concreto com o Tempo de Cura e a Concentração de  $TiO_2$



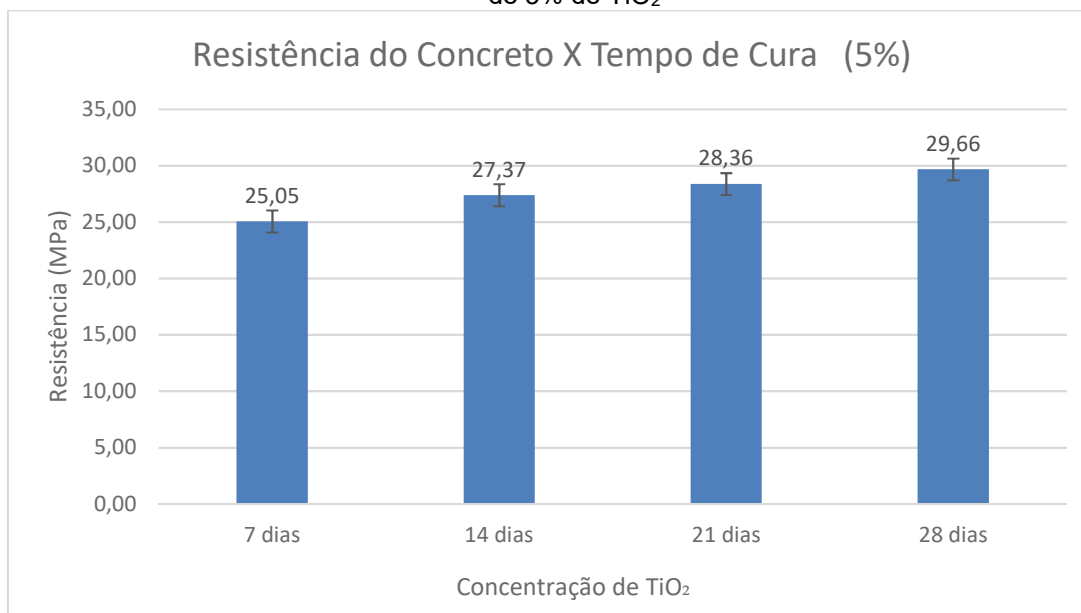
Fonte: O autor (2019).

Gráfico 2 – Relação entre Resistência do Concreto com o Tempo de Cura sem adição de  $TiO_2$



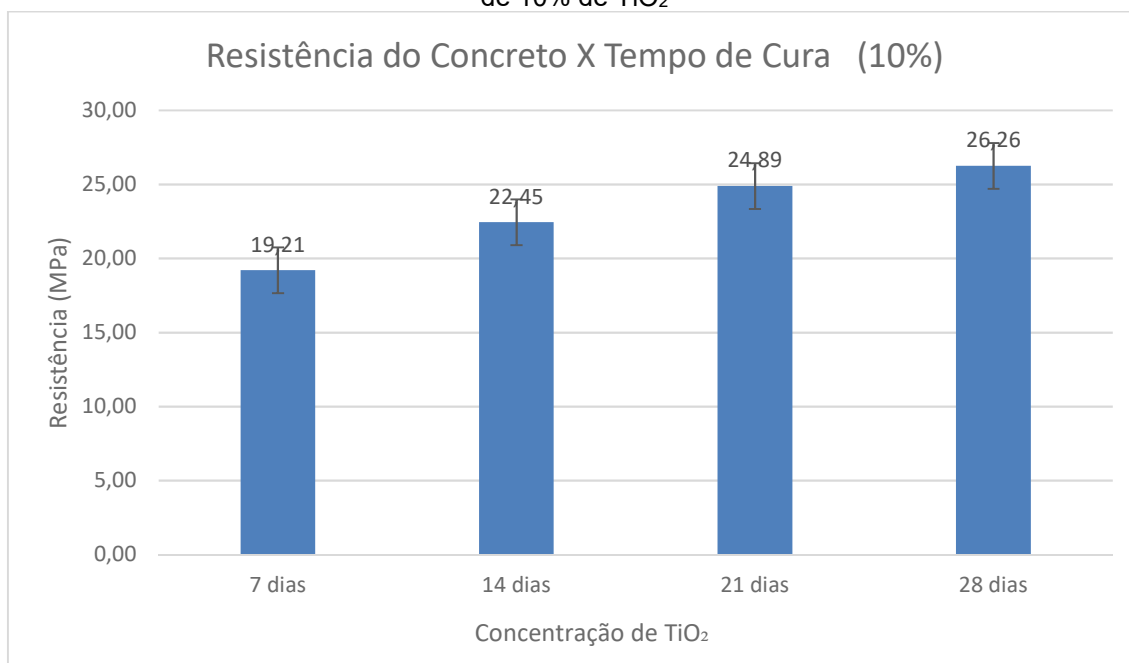
Fonte: O autor (2019).

Gráfico 3 – Relação entre Resistência do Concreto com o Tempo de Cura com adição de 5% de  $\text{TiO}_2$



Fonte: O autor (2019).

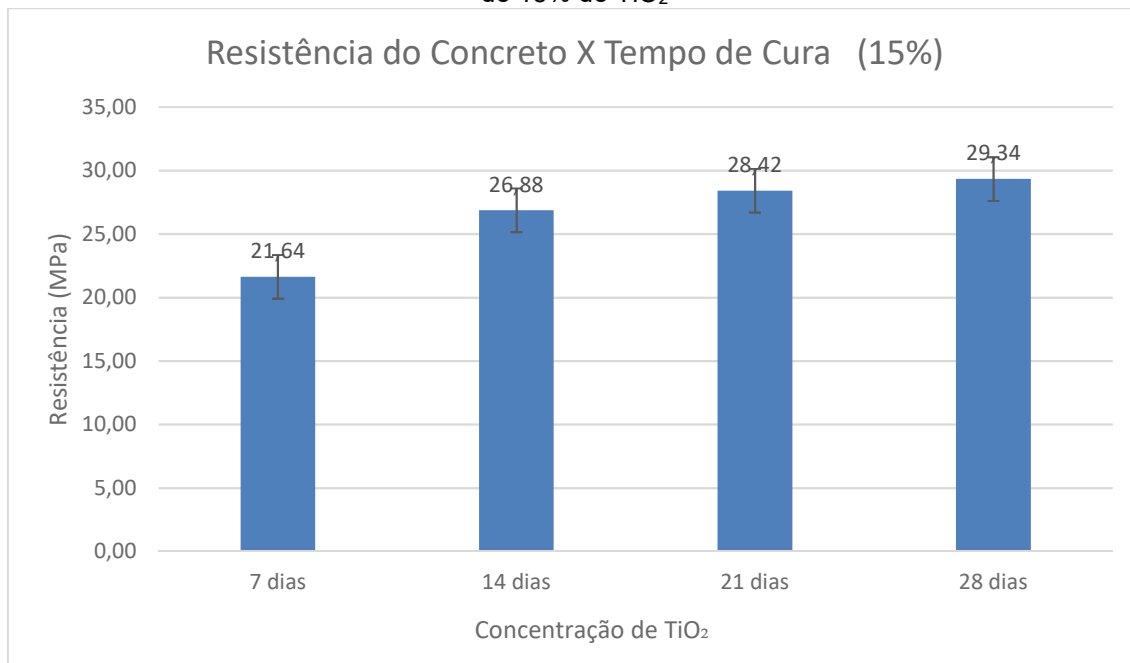
Gráfico 4 – Relação entre Resistência do Concreto com o Tempo de Cura com adição de 10% de  $\text{TiO}_2$



Fonte: O autor (2019).

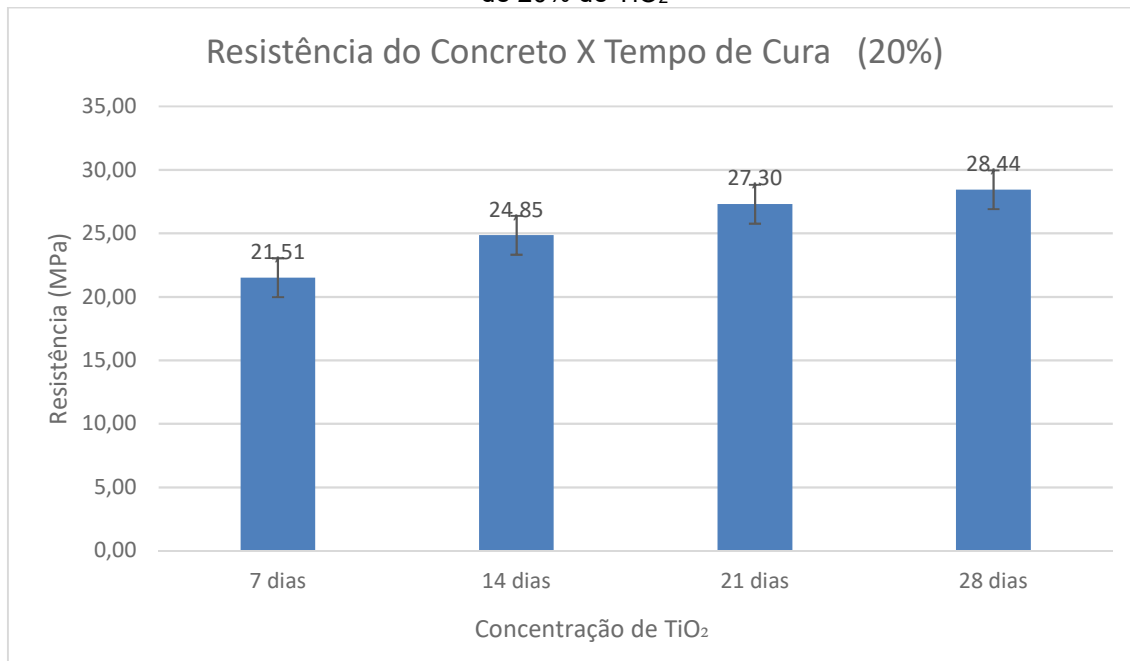


Gráfico 5 – Relação entre Resistência do Concreto com o Tempo de Cura com adição de 15% de  $\text{TiO}_2$



Fonte: O autor (2019).

Gráfico 6 – Relação entre Resistência do Concreto com o Tempo de Cura com adição de 20% de  $\text{TiO}_2$



Fonte: O autor (2019).

Os resultados dos ensaios de permeabilidade por imersão, são representados pela Tabela 19 onde mostra, as amostras identificadas por números e letras, sendo a concentração de  $TiO_2$  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:  $\frac{(Msat-Ms)}{Ms} \times 100$ ,

sendo Msat e o Ms, a massa da amostra saturada e a massa da amostra seca, respectivamente.

Tabela 19 – Tabela dos valores de massas saturadas e secas, com seus respectivos resultados

	<b>Msat</b>	<b>Ms</b>	<b>Resultado</b>
0a	601,46	567,56	5,9729
0b	456,70	426,89	6,9831
0c	450,86	425,38	5,9899
5a	259,66	243,59	6,5972
5b	369,64	346,89	6,5583
5c	228,67	214,51	6,6011
10a	285,64	265,61	7,5411
10b	785,65	723,21	8,6337
10c	400,45	380,57	5,2237
15a	495,74	473,45	4,7080
15b	895,74	852,70	5,0475
15c	343,09	319,31	7,4473
20a	410,74	386,17	6,3625
20b	885,99	828,40	6,9520
20c	355,53	332,95	6,7818
<b>Média</b>	<b>6,4933</b>		

Fonte: O autor (2019).

Analisando essa tabela, pode-se observar que o aumento na absorção de água foi relativo, sendo que a média dos resultados de cada teor foram: 6,31 para 0 %, 6,58 para 5 %, 7,13 para 10 %, 5,73 para 15 % e 6,70 para 20 %.

Observando estas médias, conclui-se que os corpos de prova com a concentração de 10 %, foram os que tiveram o maior teor de absorção de água, enquanto os corpos de prova com teor de 15 % tiveram um teor de absorção bem menor. Em seguida foi verificada o valor da média com a Tabela 20, para verificar a classificação do concreto de acordo com o teor de absorção de água.

Como foi obtido o resultado de 6,4933, pode se observar na tabela a seguir que o valor da média ficou no intervalo de  $\geq 6,2\%$ , portanto conclui-se que o concreto é deficiente no quesito teor de absorção de água.

Tabela 20 – Classificação do concreto de acordo com seu teor de absorção de água

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

Fonte: NBR 9778 (ABNT, 2015).

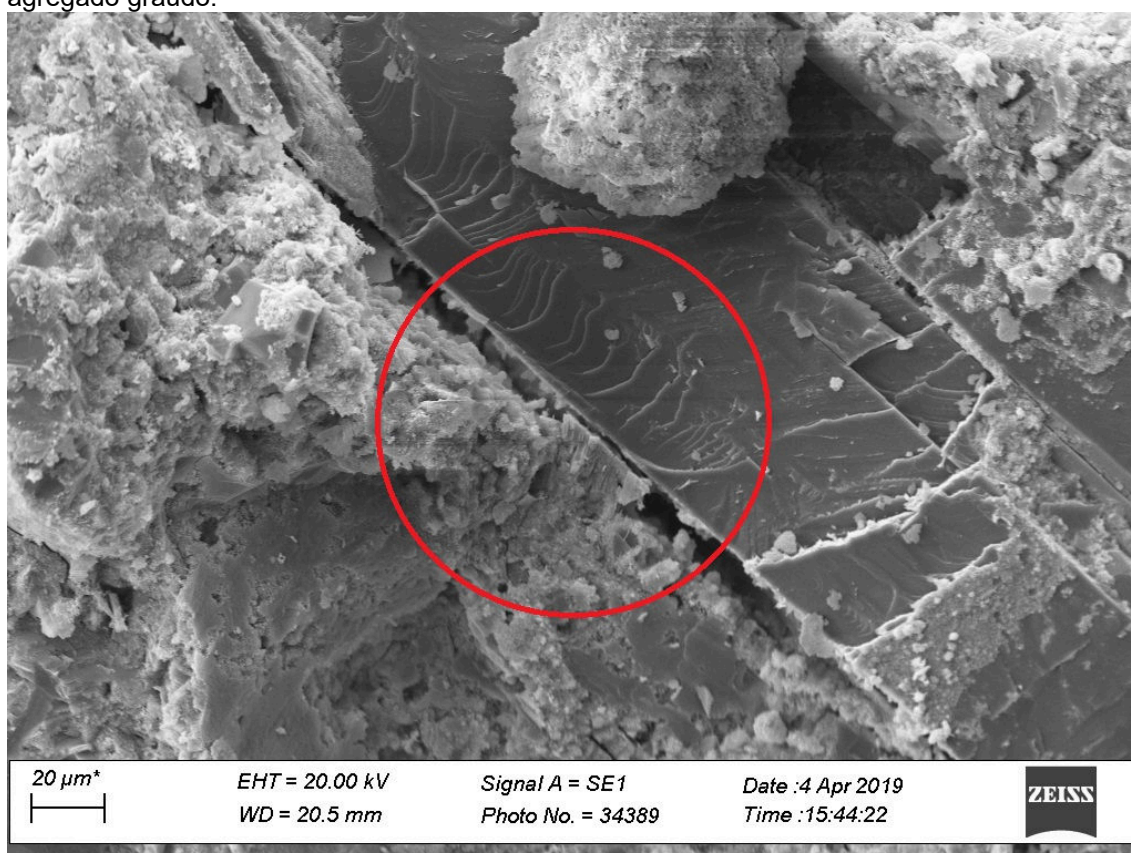
Esse aumento de absorção geralmente não é desejável, uma vez que quanto maior a absorção de água em uma construção, maior é a possibilidade de ocorrerem patologias, alguns exemplos dessas patologias, segundo Lersch (2003):

- 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;

Na Microscopia Eletrônica de Varredura foram feitas as imagens com todos os teores de Dióxido de Titânio, para analisar a interação do agregado graúdo (brita) com a pasta de cimento (argamassa). Essa interação foi boa sendo

que temos pouco descolamento entre a argamassa e o agregado, a distância entre a pasta e o agregado é pequena concluído que a aderência entre eles foi boa devido a fatores como traço e adensamento bons (Figura 29). Na pasta pode-se observar que quase não tem fissuras, que indica que o concreto foi bem adensado e com o traço bem confiável.

Figura 29 – Aproximação de 800x mostrando a distância entre a pasta de cimento e o agregado graúdo.



Fonte: O autor (2018).

Na pasta pode-se observar que quase não tem fissuras, que indica que o concreto foi bem adensado e com o traço bem confiável. Se tivesse observado bolhas de ar, vazios capilares e/ou vazios de ar incorporado, iria interferir bastante na resistência do concreto, mas devido ao adensamento, não foi observado esses tipos de condições.

## **5 CONCLUSÃO**

Este projeto teve o intuito de testar a autolimpância do concreto usinado de 25 MPa, com adição de vários teores de Dióxido de Titânio ( $\text{TiO}_2$ ), sendo 0%, 5%, 10%, 15% e 20%, de acordo com a quantidade de cimento no concreto. Feito os testes de compressão axial na prensa hidráulica elétrica digital pôde se concluir que os valores de resistência não aumentaram de acordo com o aumento da quantidade de  $\text{TiO}_2$ , mas aumentaram a resistência com a adição do mesmo. Com os testes colorimétricos, conclui-se que independente dos teores de dióxido de titânio adicionados e testados, todas as placas de concreto manchadas com Rodamina B e Lodo de Cinzas, foram limpas após 3 (três) dias de exposição ao clima urbano. Devido a esse resultado de limpeza, foram feitos os testes de permeabilidade por imersão para saber se teria relação da porosidade com a resistência, e de acordo com os resultados, os corpos de prova com maior teor de absorção, tiveram menor resistência, porém a média do teor de absorção das amostras, tiveram um desvio padrão baixo, deveriam manter uma resistência bem próxima, mas não foi esse o resultado. Com tais resultados, foram feitas leituras com o Microscópio Eletrônico de Varredura, para analisar a interação do agregado com o concreto, na tentativa de concluir o porquê dos resultados anteriores, porém foi concluído que o traço e o adensamento foram bons, pois tem poucas fissuras na pasta e poucos sulcos entre o agregado e a argamassa, não chegando em um resultado específico para relação das resistências. As sugestões para os trabalhos futuros podem ser escolhidas em torno ao que tange no porquê das concentrações de 5% e 15% de  $\text{TiO}_2$  terem chegado a resistências mais altas comparadas às outras concentrações. Também pode ser discutido o motivo do porquê foram obtidos resultados de resistências distintas, sendo que os teores de absorção de água foram bem próximos.

**UNILAVRAS**  
Centro Universitário de Lavras



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

\_\_\_\_\_. **NBR 5735: cimento Portland de alto-forno**. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos** - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

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

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.

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

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 TiO<sub>2</sub>**. 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.

FOLLI, A.; PADE, C.; HANSEN, T. B.; DE MARCO, T.; MACPHEE, D. E. **TiO<sub>2</sub> 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.

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.

ITALCEMENTI, **Use of Photocatalytic Preparations of Colloidal Titanium Dioxide for Preserving the Original Appearance of Cementitious Products**. United States 99 Patent – Nº US 6,824,826 B1. Patente. Nov.30,2004. Disponível em: <http://www.freepatentsonline.com/6824826.html> Acesso em outubro de 2016.

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

LEERSH, I. M **Contribuição para a identificação dos principais fatores de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

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

MGUIG, B. et al. **CO Oxidation Over Anatásio TiO<sub>2</sub>-(001)**. Journal of Molecular Structure (Theochem) 709, 73-78. France, 2004.





NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. **A Fotocatálise Heterogênea e sua aplicação ambiental.** Química Nova vol.21 no.1, 1998.

RODRÍGUEZ, S. M; RICHTER, C.; GÁLVEZ, J. B.; Vincent, M. **Photocatalytic degradation of industrial residual waters.** Journal Solar Energy, volume 56, 401-410, 1996.

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.