

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

LETÍCIA WILHELMS FRANCISCO

**AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DO DIÓXIDO DE TITÂNIO NAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE AUTOLIMPEZA EM CONCRETOS
REFORÇADOS COM FIBRA DE VIDRO**

**SÃO LEOPOLDO
2018**

Letícia Wilhelms Francisco

Avaliação da Incorporação do Dióxido de Titânio nas
Propriedades Mecânicas e de Autolimpeza em Concretos
Reforçados com Fibra de Vidro

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Graduado em
Engenharia Civil, pelo Curso de
Engenharia Civil da Universidade do Vale
do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Me.Roberto Christ

São Leopoldo

2018

Dedico aos meus pais, maiores presentes que Deus me deu,
pelo amor e carinho incondicionais, pelo apoio e pelos conselhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pelo dom da vida e por guiar meus passos até aqui. Agradeço também aos meus pais, Josué Francisco e Silvana Francisco, por patrocinarem minha jornada na graduação, por toda a paciência e apoio para comigo durante o período de realização deste trabalho e por todo o amor e felicidade que me proporcionam.

Agradeço ao meu orientador, Roberto Christ, que, além de orientador, é um grande amigo, sempre aconselhando e sempre pronto a ajudar em qualquer desafio.

Agradeço à Siscobrás, por me doar os materiais necessários para o estudo, ao Itt Performance, ao Itt Nutrifor, ao LMC e ao LCVmat, por cederem espaço para a realização dos ensaios. Também agradeço ao NORIE/UFRGS e à querida Caroline Giordani, por apoiarem o estudo, com empréstimo de equipamentos e disponibilidade de tempo e atenção.

Agradeço às minhas amigas que puderam sentir um pouco da ansiedade junto comigo: Daise Zeilinger, Thais Catuci, Morgana Zarpelon, Luisadora Schreiber, Fernanda Wagner, Patrícia Pereira, Laís Renck e Luciane Dapper. E dirijo um agradecimento especial ao meu namorado, Thomas Arnold, que, além de todo o apoio e amor que me proporcionou, ajudou-me muito na realização deste trabalho.

Muito obrigada a todos!

RESUMO

O concreto reforçado com fibras de vidro (GRC) vem ganhando destaque em fachadas nos últimos anos, bem como a busca por uma solução para fachadas que apresentam muitas sujidades, demandando tempo e dinheiro para manutenção. Muito se tem falado sobre materiais autolimpantes capazes de recuperarem seu estado natural após serem contaminados com sujeiras. O concreto reforçado com fibras de vidro já foi testado quanto à autolimpeza mediante a inserção de dióxido de titânio em sua matriz e obteve resultados satisfatórios. Com o intuito de buscar a utilização de baixos percentuais de dióxido de titânio em materiais autolimpantes, este trabalho tem por objetivo avaliar a propriedade de autolimpeza de concretos reforçados com fibras de vidro com inserção de dióxido de titânio em suas misturas nos teores de 3%, 5% e 7%, avaliando não só a obtenção dessa propriedade, mas também a interferência dessa inserção nas suas propriedades mecânicas, no estado fresco e endurecido. Para essas verificações, foram realizados ensaios de avaliação de recuperação de cor, confeccionando-se placas de GRC com inserção de dióxido de titânio nos teores citados, que receberam manchamentos de Rodamina B e de azul de metileno. Posteriormente, foram expostos às intempéries nas diferentes possibilidades de configuração de fachadas: norte, sul, leste e oeste, nas inclinações de 0°, 45° e 90°. Em seguida, foram realizadas medições de coordenadas cromáticas, com o uso de um espectrofotômetro para avaliar a variação de cor das placas. Além disso, foram realizados ensaios de consistência, resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão para verificar a influência das adições nas propriedades mecânicas das misturas. Foi verificada uma relação linear entre a adição de dióxido de titânio e os resultados dos ensaios realizados, ou seja, os resultados melhoraram com o aumento da porcentagem da adição de dióxido de titânio. Os resultados de obtenção da propriedade autolimpante foram satisfatórios para os três teores de adição, com destaque para o traço com 7% de dióxido de titânio, que obteve melhores resultados, mesmo que nenhuma das placas tenha sido totalmente limpa. Em relação às propriedades mecânicas, a adição teve influência positiva, tendo o teor de 7% de dióxido de titânio apresentado os melhores resultados.

Palavras-chave: GRC. Autolimpeza. Dióxido de titânio. Fibra de vidro.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Painéis de GRC | 20 |
| Figura 2 - Detalhamento do painel tipo sanduíche | 21 |
| Figura 3 - Aplicação de GRC em fachadas | 22 |
| Figura 4 - Processo de pré-mistura e incorporação de plaquetas cerâmicas..... | 23 |
| Figura 5 - Processo de pulverização | 24 |
| Figura 6 - Fibras de vidro AR: a) em rolo; b) em malha | 27 |
| Figura 7 - Mecanismo de ação autolimpante..... | 31 |
| Figura 8 - Processo de descontaminação dos materiais autolimpantes..... | 31 |
| Figura 9 - Placas autolimpantes (A) e placas comuns (B)..... | 35 |
| Figura 10 - Plano de cores do sistema CIELab | 38 |
| Figura 11 - Estrutura molecular da Rodamina B | 44 |
| Figura 12 - Estrutura molecular do azul de metileno | 45 |

LISTA DE FOTOGRAFIAS

| | |
|---|----|
| Fotografia 1 - Cimento branco..... | 39 |
| Fotografia 2 - Areia..... | 40 |
| Fotografia 3 - Dióxido de titânio..... | 41 |
| Fotografia 4 - Fibra de vidro | 43 |
| Fotografia 5 - Rodamina B em cristais e diluída em água..... | 44 |
| Fotografia 6 - Argamassadeira | 45 |
| Fotografia 7 - Formas metálicas prismáticas e cilíndricas..... | 47 |
| Fotografia 8 - Formas de madeira | 47 |
| Fotografia 9 - Equipamento de ensaio | 48 |
| Fotografia 10 - Cavalete..... | 49 |
| Fotografia 11 - Gabarito de medição..... | 52 |
| Fotografia 12 - Espectrofotômetro..... | 52 |
| Fotografia 13 - Espalhamentos das misturas confeccionadas | 53 |
| Fotografia 14 - Diferença de tonalidade das amostras..... | 56 |
| Fotografia 15 - Fachada norte na inclinação de 0°..... | 56 |
| Fotografia 16 - Fachada norte na inclinação de 45°..... | 57 |
| Fotografia 17 - Fachada norte na inclinação de 90°..... | 57 |
| Fotografia 18 - Fachada leste na inclinação de 0°..... | 58 |
| Fotografia 19 - Fachada leste na inclinação de 45°..... | 59 |
| Fotografia 20 - Fachada leste na inclinação de 90°..... | 59 |
| Fotografia 21 - Fachada oeste na inclinação de 0°..... | 60 |
| Fotografia 22 - Fachada oeste na inclinação de 45°..... | 61 |
| Fotografia 23 - Fachada oeste na inclinação de 90°..... | 62 |
| Fotografia 24 - Fachada sul na inclinação de 0°..... | 63 |
| Fotografia 25 - Fachada sul na inclinação de 45°..... | 63 |
| Fotografia 26 - Fachada sul na inclinação de 90°..... | 64 |
| Fotografia 27 - Fachada norte na inclinação de 0°..... | 65 |
| Fotografia 28 - Fachada norte na inclinação de 45°..... | 66 |
| Fotografia 29 - Fachada norte na inclinação de 90°..... | 67 |
| Fotografia 30 - Fachada leste na inclinação de 0°..... | 68 |
| Fotografia 31 - Fachada leste na inclinação de 45°..... | 69 |
| Fotografia 32 - Fachada leste na inclinação de 90°..... | 70 |

| | |
|--|----|
| Fotografia 33 - Fachada oeste na inclinação de 0° | 71 |
| Fotografia 34 - Fachada oeste na inclinação de 45° | 72 |
| Fotografia 35 - Fachada oeste na inclinação de 90° | 73 |
| Fotografia 36 - Fachada sul na inclinação de 0° | 74 |
| Fotografia 37 - Fachada sul na inclinação de 45° | 75 |
| Fotografia 38 - Fachada sul na inclinação de 90° | 76 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Curva granulométrica do cimento | 40 |
| Gráfico 2 - Curva granulométrica da areia | 41 |
| Gráfico 3 - Curva granulométrica do dióxido de titânio..... | 42 |
| Gráfico 4 - Radiação solar incidida no período de exposição | 50 |
| Gráfico 5 - Precipitação ocorrida no período de exposição | 50 |
| Gráfico 6 - Temperatura do período de exposição | 50 |
| Gráfico 7 - Umidade do período de exposição | 51 |
| Gráfico 8 - Leitura L* da fachada norte | 78 |
| Gráfico 9 - Leitura L* da fachada leste | 79 |
| Gráfico 10 - Leitura L* da fachada oeste | 80 |
| Gráfico 11 - Leitura L* da fachada sul | 81 |
| Gráfico 12 - Leitura a* da fachada norte | 82 |
| Gráfico 13 - Leitura a* da fachada leste | 83 |
| Gráfico 14 - Leitura a* da fachada oeste | 84 |
| Gráfico 15 - Leitura a* da fachada sul | 84 |
| Gráfico 16 - Leitura b* da fachada norte | 85 |
| Gráfico 17 - Leitura b* da fachada leste | 86 |
| Gráfico 18 - Leitura b* da fachada oeste..... | 86 |
| Gráfico 19 - Leitura b* da fachada sul | 87 |
| Gráfico 20 - ΔE da fachada norte | 88 |
| Gráfico 21 - ΔE da fachada leste..... | 88 |
| Gráfico 22 - ΔE da fachada oeste..... | 89 |
| Gráfico 23 - ΔE da fachada sul..... | 89 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Características do cimento..... | 40 |
| Tabela 2 - Características da fibra de vidro..... | 43 |
| Tabela 3 - Resultados dos espalhamentos das misturas confeccionadas | 53 |
| Tabela 4 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial | 54 |
| Tabela 5 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão | 55 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|----------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AR | Álcali-Resistentes |
| CIE | Comissão Internacional da Iluminação |
| FISPQ | Ficha de Informação de Segurança do Produto |
| GRC | Glass Reinforced Concrete |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| LCVmat | Laboratório de Caracterização e Valorização de materiais |
| LMC | Laboratório de Materiais de Construção |
| NBR | Normas Brasileiras de Regulação |
| NM | Norma Mercosul |
| NORIE | Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação |
| NPCAA | Nacional Precast Concrete Association Australia |
| NTU | Nanyang Technological University |
| UFRGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul |
| UNISINOS | Universidade do Vale do Rio dos Sinos |
| UV | Ultra-Violeta |
| VCAS | Alumino-Silicato de Cálcio Vitrificado |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|--------------------------------|---|
| % | Porcentagem |
| ΔE | Variação de cor |
| ° | Graus |
| °C | Graus Celsius |
| a* | Coordenada cromática (verde a vermelho) |
| Ag | Prata |
| Al ₂ O ₃ | Óxido de alumínio |
| b* | Coordenada cromática (azul a amarelo) |
| CaO | Óxido de cálcio |
| cm | Centímetros |
| g/cm ³ | Gramas por centímetros cúbicos |
| g/L | Gramas por Litro |
| h | Horas |
| kN | kiloPascal |
| L* | Luminosidade |
| mm | Milímetros |
| MPa | MegaPascal |
| MPa/s | MegaPascal por segundo |
| Na ₂ O | Óxido de sódio |
| nm | Nanômetros |
| NO _x | Número de oxidação |
| S10 | Classe 10 de consistência |
| SiO ₂ | Dióxido de silício |
| TiO ₂ | Dióxido de Titânio |
| ZrO ₂ | Óxido de zircônio |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 Tema | 16 |
| 1.2 Delimitação do Tema | 16 |
| 1.3 Problema | 16 |
| 1.4 Objetivos | 16 |
| 1.4.1 Objetivo Geral | 17 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos | 17 |
| 1.5 Justificativa | 17 |
| 2 CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE VIDRO | 18 |
| 2.1 Aplicação do GRC | 20 |
| 2.1.1 Aplicação em Fachadas | 21 |
| 2.2 Processo de Produção | 22 |
| 2.2.1 Pré-mistura (<i>Premixing</i>) | 22 |
| 2.2.2 Pulverização (<i>Spray-up</i>) | 23 |
| 2.2.3 Cura | 24 |
| 2.3 Dosagem do GRC | 25 |
| 2.4 Fibras de Vidro | 25 |
| 2.4.1 Processo de Fabricação | 27 |
| 3 SUJIDADE EM FACHADAS E MATERIAIS AUTOLIMPANTES | 28 |
| 3.1 Propriedade Autolimpante | 30 |
| 3.2 Dióxido de Titânio | 32 |
| 3.2.1 Processo de Sulfato | 32 |
| 3.2.2 Processo de Cloreto | 33 |
| 3.2.3 Características e Aplicações | 33 |
| 3.3 Avaliação da Autolimpeza | 37 |
| 4 METODOLOGIA | 39 |
| 4.1 Materiais Utilizados | 39 |
| 4.1.1 Cimento | 39 |
| 4.1.2 Areia de Fundição | 40 |
| 4.1.3 Dióxido de Titânio | 41 |
| 4.1.4 Fibra de Vidro | 42 |
| 4.1.5 Aditivo | 43 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.6 Rodamina B..... | 44 |
| 4.1.7 Azul de Metileno..... | 44 |
| 4.2 Dosagem dos Traços | 45 |
| 4.3 Moldagem e Cura dos Corpos de Prova..... | 46 |
| 4.4 Ensaio de Consistência | 47 |
| 4.5 Ensaio de Resistência à Compressão | 48 |
| 4.6 Ensaio de Resistência à Tração na Flexão | 48 |
| 4.7 Avaliação da Recuperação da Cor..... | 49 |
| 4.7.1 Exposição das Placas à Luz Solar Natural..... | 49 |
| 4.7.2 Espectrofotometria | 51 |
| 5 RESULTADOS..... | 53 |
| 5.1 Ensaio de Consistência | 53 |
| 5.2 Ensaio de Resistência à Compressão Axial | 54 |
| 5.3 Ensaio de Resistência a Tração na Flexão | 55 |
| 5.4 Avaliação Visual da Recuperação da Cor | 55 |
| 5.4.1 Rodamina B..... | 56 |
| 5.4.2 Azul de Metileno..... | 65 |
| 5.5 Espectrofotometria..... | 77 |
| 5.5.1 Coordenadas L*a*b* | 77 |
| 5.5.2 Variação de Cor (ΔE)..... | 87 |
| 6 CONCLUSÕES | 91 |
| 6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros | 92 |
| REFERÊNCIAS..... | 93 |

1 INTRODUÇÃO

Os concretos reforçados com fibras de vidro, mais conhecidos como GRC (*Glassfibre Reinforced Concrete*), são materiais compostos por cimento, agregados de vários tamanhos e fibras de vidro dispostas aleatoriamente. (BENTUR; MINDESS, 1990). Também podem ser considerados como cimento e um fino material de preenchimento reforçado com uma pequena quantidade de fibras de vidro alcalino-resistentes. (MAJUMDAR; NURSE, 1974).

Há algumas décadas, iniciou-se o processo de desenvolvimento das fibras de vidro resistentes aos álcalis (AR), quando se notou que as fibras mais comumente utilizadas deterioravam-se quando inseridas em matrizes de concreto, devido a sua alcalinidade. Sendo assim, as fibras AR foram desenvolvidas, dando início à comercialização do concreto reforçado com fibras de vidro para uso como material de construção. (NACIONAL PRECAST CONCRETE ASSOCIATION AUSTRALIA (NPKAA), 2006; PROCTOR; OAKLEY; LITHERLAND, 1982).

Logo após esse período, pôde-se perceber que as propriedades físicas e mecânicas desse material eram muito interessantes e proporcionavam uma variedade grande de aplicações, como em produtos impermeáveis, antiferruginosos, resistentes à luz, à flexão, às intempéries, ao fogo, e em peças com função estética. Essas propriedades dependiam da qualidade dos materiais constituintes e do método de produção destes. (TABALVANDANI; BIRIA; SIAESTALKHI, 1994).

A aplicação do GRC em elementos de pouca espessura foi fortemente estudada, apresentando bons resultados. Um produto resultante dessas pesquisas foram as placas utilizadas em fachadas, que beneficiam a edificação em muitos aspectos, como diminuição do peso próprio, opção de embutir materiais de isolamento e instalações, flexibilidade de projeto, pouco uso de cobertura, alta resistência inicial ao impacto, à tração e à flexão, entre outros. (SILVA; JOHN, 1998).

Atualmente, um maior desempenho dos materiais componentes das fachadas está sendo buscado, visto que estas cada vez apresentam maiores funções nas edificações. Mesmo assim, sendo sua função principal a estética, precisa-se que sua aparência seja satisfatória, desprendendo tempo e recurso dos usuários das edificações. Consequentemente, os estudos se voltaram para esse aspecto,

buscando uma maneira de deixá-las limpas por mais tempo. (ANDALORO et al., 2016).

O vento e a água da chuva são os dois principais veículos da sujeira que chega às fachadas, não podendo ser evitados, de modo que estas estão sempre propícias a receberem sujidades. (VALLEJO, 1990).

Manchamentos e variação da cor são os principais problemas que afetam as fachadas de concreto aparente, como fachadas de GRC. Esses fenômenos não ocorrem somente pela sujeira acumulada, mas também por processos químicos do material, processo de fabricação, manuseio das peças, entre outros. (RODRIGUES, 1995; RIBEIRO, 2010).

Para a solução desses problemas, seria interessante a aplicação de produtos que não acumulassem tanta sujeira ou que pudessem, de certa forma, eliminar a sujeira de sua superfície sem grandes manutenções. Produtos autolimpantes à base de dióxido de titânio têm sido estudados, há muito tempo, por autores como Fujishima e Zhang (2006), que afirmam que esses materiais conseguem manter-se limpos somente com a incidência de luz solar e da água da chuva devido às propriedades fotocatalíticas do dióxido de titânio. Assim, materiais autolimpantes, quando aplicados às fachadas, que são elementos que sempre estão em contato com a luz solar e a água da chuva, conseguem decompor viscosidades e materiais orgânicos e finos de sua superfície.

Para validação dessa afirmação, estudos como o de Treviso (2016) avaliaram o comportamento de placas para fachadas feitas com argamassa, utilizando 5%, 10% e 15% de dióxido de titânio em sua composição, apresentando bons resultados quanto à propriedade autolimpante. Como conclusão, o autor cita que o teor de 5% de dióxido de titânio é o mais eficiente em termos de autolimpeza.

O estudo aqui apresentado visa avaliar as propriedades mecânicas e de autolimpeza de misturas de GRC com adição de 3%, 5% e 7% de dióxido de titânio, como refinamento dos teores utilizados por Treviso (2016). Além disso, tem o propósito de avaliar sua disposição frente às intempéries, como o autor citado realizou, sendo as placas dispostas nas possíveis configurações de fachadas, ou seja, na direção norte, sul, leste e oeste, e nas inclinações de 0°, 45° e 90°.

1.1 Tema

Avaliação do teor de inserção de dióxido de titânio para que o concreto reforçado com fibra de vidro se torne autolimpante, não prejudicando suas propriedades mecânicas.

1.2 Delimitação do Tema

A avaliação ocorreu no desenvolvimento dos traços de GRC com inserção de dióxido de titânio nos teores de 3%, 5% e 7%, quanto a ensaios de avaliação de recuperação da cor, sendo realizadas exposições ao microclima de São Leopoldo e posteriormente ensaios de espectrofotometria. Quanto às propriedades mecânicas, estas foram avaliadas em ensaios de consistência, resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão.

1.3 Problema

O uso de placas de GRC para revestimentos tem crescido cada vez mais, sendo tais placas utilizadas principalmente em fachadas. Essas placas não necessitam de tratamento superficial como argamassa e/ou tinta, mas a falta desses tratamentos torna o material mais suscetível a problemas acarretados pela sujeira que fica depositada em sua superfície. As sujidades acumuladas nas fachadas provocam problemas estéticos e de desempenho, no que tange a durabilidade, necessitando-se de alternativas que possam minimizá-los. Esse contexto motivou o estudo, no presente trabalho, da inserção de dióxido de titânio nas misturas de GRC para que este se torne autolimpante, verificando-se a influência do referido material nas propriedades do GRC.

1.4 Objetivos

Os objetivos serão divididos em: geral e específicos.

1.4.1 Objetivo Geral

Verificar a influência da variação do teor de inserção de dióxido de titânio em misturas de GRC nas propriedades mecânicas e de autolimpeza.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Verificar a capacidade autolimpante e propriedades mecânicas de misturas de GRC com inserção de 3%, 5% e 7% de dióxido de titânio;
- b) Identificar o melhor teor de inserção dentre os três testados, em termos de autolimpeza e propriedades mecânicas;
- c) Analisar o tempo de que o dióxido de titânio necessita para recuperar a cor das placas;
- d) Analisar a resposta das amostras a diferentes mecanismos de sujidades.

1.5 Justificativa

Dado o aumento da procura por concretos brancos para realização de fachadas, para redução de custos com pintura e manutenção, os concretos aparentes tomaram a frente de muitas fachadas nos últimos anos. Porém, o concreto branco aparente é muito suscetível a manchas e sujeira do ambiente externo, tornando-se necessário o desenvolvimento de uma tecnologia que facilite a limpeza desse material. O concreto autolimpante é uma alternativa simples, que poderá melhorar muito o desempenho dessas fachadas, realçando sua aparência e economizando tempo e recursos dos usuários, bastando apenas que estas estejam em contato com os raios solares.

2 CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE VIDRO

O concreto reforçado com fibra de vidro (GRC) é um compósito, ou seja, possui dois ou mais componentes, que, unidos, apresentam características químicas, físicas e mecânicas superiores a materiais utilizados separadamente. O GRC é constituído de cimento Portland, areia e fibras de vidro resistentes a álcalis (AR). Também pode apresentar materiais de preenchimento e adições em sua mistura, e sua composição varia de acordo com o produto, aplicação e método de produção utilizado. (ALMENARA, 1996; NPCAA, 2006).

Desde muito tempo, tenta-se atingir as melhores propriedades, o melhor desempenho e a maior durabilidade do concreto. Assim, quando iniciou a comercialização de pastas hidráulicas de cimento, a visão era produzir materiais de alto desempenho, sendo desenvolvido depois o tradicional concreto conhecido hoje. Porém, este possui resistência à tração muito baixa, não sendo adequado para aplicações nas quais os esforços à tração serão muito solicitados. Nesse contexto, foi iniciada uma busca por materiais que pudessem melhorar essa propriedade, momento em que entra a fibra, que, mais tarde, levou ao desenvolvimento do GRC. (ALMENARA, 1996).

Há mais de 30 anos, o concreto reforçado com fibra de vidro entrou em uso como material de construção, quando as fibras de vidro resistentes a álcalis começaram a ser comercializadas. (PROCTOR; OAKLEY; LITHERLAND, 1982).

O GRC possui propriedades interessantes, tais como resistência à compressão, flexão e tração significativamente maior que argamassas de cimento sem reforço de fibras. Essas propriedades dependem da qualidade dos materiais constituintes e do método de produção. É composto por materiais inorgânicos que apresentam boa resistência ao fogo, podendo também ser composto por materiais poliméricos que variam suas propriedades frente ao fogo. (NPCAA, 2006; TABALVANDANI; BIRIA; SIAESTALKHI, 1994).

O processo de produção, dosagem do traço, comprimento, teor, tipo e orientação das fibras de vidro, exposição ao meio ambiente e adições em sua mistura também influenciam e determinam as propriedades e o desempenho que o material terá ao longo do tempo. (BENTUR; MINDESS, 1990; MAJUMDAR et al., 1980; NPCAA, 2006).

Bentur e Mindess (1990) afirmam que, quando o GRC é empregado em placas finas, deve-se ter dispersão das fibras em duas direções, e em um teor de 5% em relação ao volume da mistura para o aumento da resistência à tração e estirpe final. Porém, as propriedades podem ser modificadas com a variação do volume e/ou comprimento das fibras. Nota-se que o aumento do volume das fibras gera um aumento nas primeiras tensões de fissuração, resistência à tração, à flexão e ao impacto. Já um aumento no comprimento das fibras melhora as propriedades, mas não na mesma proporção que um aumento no teor de fibra. Além disso, os autores explicam que, quando se excede o teor de fibra em 6%, já não se torna interessante, visto que as resistências e a densidade do material começam a diminuir. Segundo eles, o aumento desse teor também acarreta dificuldades de compactação da mistura.

Estudos de Majumdar et al. (1980) mostram que o tipo de armazenamento das peças de GRC também é um fator que pode influir negativamente no seu desempenho, principalmente na sua resistência ao impacto, à tração e à flexão. Quando armazenadas em locais úmidos, as peças podem sofrer os danos citados.

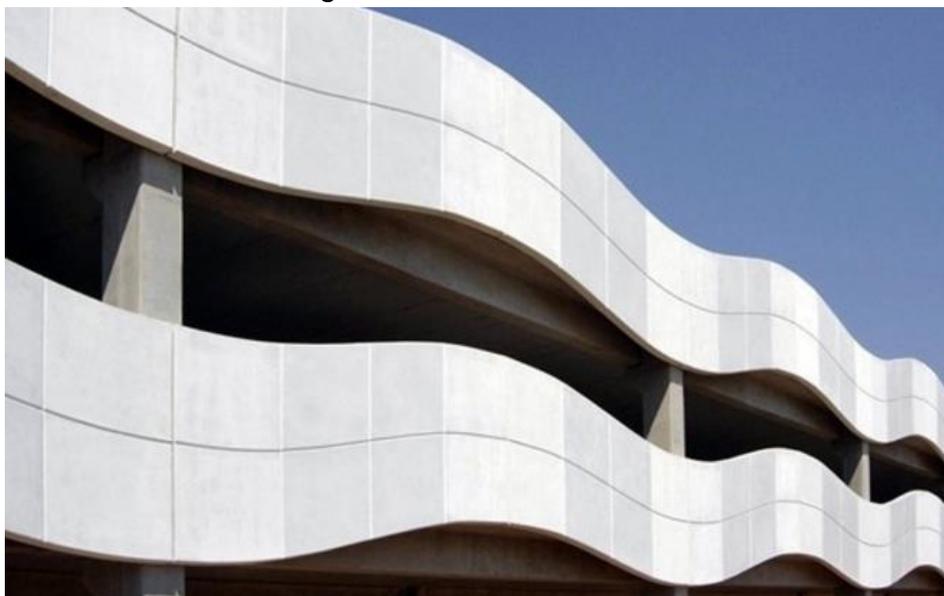
O envelhecimento desse material também é um ponto importante a ser discutido sobre o GRC, visto que as mudanças em suas propriedades são significativas, principalmente sua perda de dureza. Por esse motivo, há uma preocupação cada vez maior em desenvolver compósitos com maior durabilidade usando formulações modificadas de vidro e matriz, e designs de componentes de GRC, considerando as mudanças nas suas propriedades durante o envelhecimento. Alguns dos mecanismos considerados para a diminuição de sua durabilidade são: ataque químico das fibras de vidro, crescimento de produtos de hidratação entre os filamentos de vidro e sujeira acumulada na superfície das peças. (BENTUR; MINDESS, 1990; FUJISHIMA; ZHANG, 2006).

Em relação às vantagens do uso do GRC, podem ser citadas: a facilidade de transporte das peças, a influência no dimensionamento da estrutura e fundações do edifício pelo seu peso leve, a possibilidade de instalação por máquinas e entrega no local, a possibilidade de equipes de montagem, o fato de servirem de estacas de ancoragem e juntas para estruturas metálicas e montagem rápida. A maior vantagem do GRC, entretanto, é a sua leveza, que gira em torno de 1/3 a 1/10 do peso de peças de concreto convencional equivalentes, contendo as mesmas características ou até características superiores. (ALMENARA, 1996).

2.1 Aplicação do GRC

O GRC pode ser aplicado em produtos de pequena seção transversal, ou seja, produtos de fina espessura, como placas, que podem ser utilizadas em fachadas, como mostra a Figura 1, fornecendo um elemento de baixo peso específico e proporcionando facilidade no manuseio, armazenamento, transporte e instalação. (NPCAA, 2006).

Figura 1 - Painéis de GRC



Fonte: Barth e Vefago (2008).

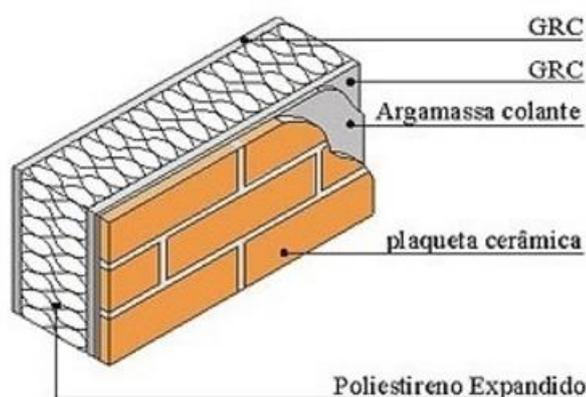
Tabalvandani, Biria e Siaestalkhi, (1994) afirmam que o GRC pode ser empregado em peças que necessitam ser impermeáveis, resistentes à luz, à flexão, às intempéries, ao fogo, e em peças com função estética. Também possui características de antiferrugem, podendo substituir tubos e tanques de água e esgoto. Além disso, pode ser utilizado como uma fina camada protetora para concretos em vigas e pilares, aumentando sua durabilidade quando expostos a incêndios e a baixas temperaturas.

Ele também pode ser aplicado em várias áreas de comercialização, como móveis, revestimentos, cofragem permanente, etc. Esse material sempre foi considerado "quase estrutural", podendo ser estrutural desde que dentro de uma limitação de uso, como placas de fechamento estruturadas, visto que é frágil e pode entrar em colapso. Pode ser usado estruturalmente de forma isolada em uma

aplicação temporária, ou pode ser usado estruturalmente em conjunto com outros materiais em uma aplicação de longo prazo, contanto que seja dada atenção às solicitações da peça para que esta não entre em colapso. (NPCAA, 2006).

Almenara (1996) esclarece que o uso de peças de GRC de 10 mm de espessura como painel homogêneo necessita de um transformador na obra para que melhore o isolamento térmico. Pode ser aplicado em painéis do tipo sanduíche (Figura 2), compostos de duas camadas externas de GRC com um núcleo de material isolante (lã de vidro, lã de rocha, poliestireno expandido, concreto, etc.), que proporcionam um bom isolamento ao painel. As placas de GRC com espessuras finas possuem pouca rigidez e necessitam de alternativas para auxiliar nesse problema, como elementos de 20 mm de espessura, que podem ser aplicados interna e externamente, e estruturas metálicas de apoio, que transmitem as cargas do painel para a estrutura.

Figura 2 - Detalhamento do painel tipo sanduíche

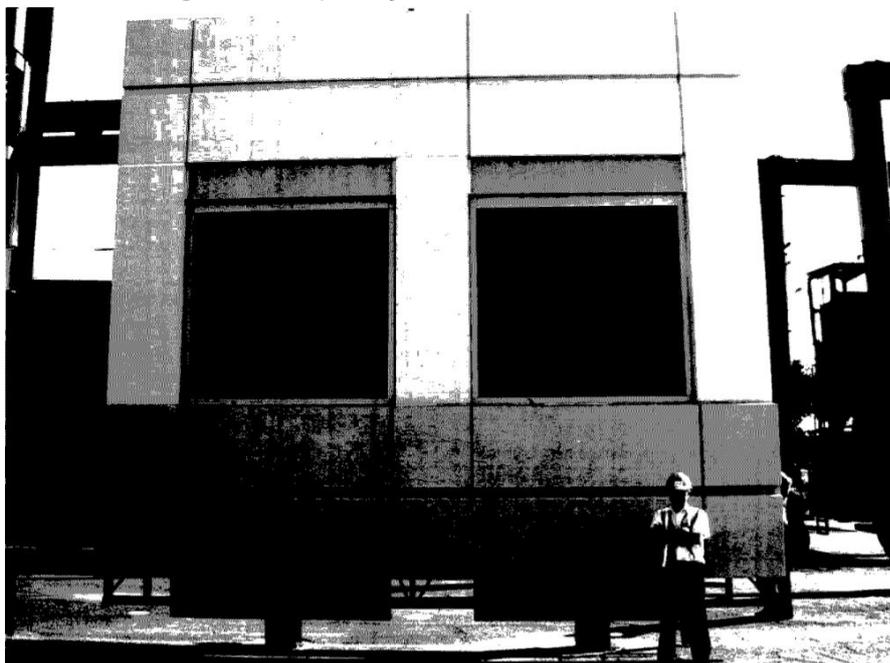


Fonte: Barth e Vefago (2008).

2.1.1 Aplicação em Fachadas

Silva e John (1998) citam muitas vantagens do uso de placas de GRC em fachadas, conforme mostrado na Figura 3, como diminuição do peso próprio, opção de embutir isolamento e instalações, flexibilidade de projeto, cobrimento reduzido, alta resistência inicial ao impacto, à tração e à flexão. Inclusive mencionam que é possível reduzir as seções da fundação, uma vez que há uma grande diminuição do peso da edificação com o uso desses elementos.

Figura 3 - Aplicação de GRC em fachadas



Fonte: Almenara (1996).

2.2 Processo de Produção

Para que o GRC tenha um reforço adequado a partir das fibras, seu processo de produção deve permitir que estas sejam incorporadas e orientadas uniformemente na mistura, mesmo sendo em grande quantidade. O método de produção deve ser muito bem selecionado para que esses quesitos sejam cumpridos. Atualmente, existem cinco tipos de métodos de produção do GRC, mas aqui serão apresentados os dois principais: pré-mistura (*Premixing*) e pulverização (*Spray-up*). (BENTUR; MINDESS, 1990).

2.2.1 Pré-mistura (*Premixing*)

O processo de pré-mistura (Figura 4) consiste em realizar a mistura dos materiais do traço e as fibras de vidro, para posteriormente realizar a moldagem da peça. Esse processo, no entanto, acarreta em problemas na dispersão das fibras, já que elas são misturadas junto à matriz, não podendo ser garantida sua dispersão uniforme. Somado a esse problema, também se faz necessário um aumento da relação água/cimento e utilização de aditivos para melhoria da trabalhabilidade e facilidade de realizar a mistura, já que esta é muito coesa. Para isso, muitas vezes, é

preciso aumentar a velocidade de mistura para que esta consiga atingir a consistência de pasta, o que danifica as fibras e quebra seus filamentos, tornando-a pouco viável no estado fresco. (BENTUR; MINDESS, 1990).

Os principais produtos fabricados por esse método são protetores solares, caixas de transformadores elétricos, caixas de junção e componentes de drenagem. (NPCAA, 2006).

Figura 4 - Processo de pré-mistura e incorporação de plaquetas cerâmicas



Fonte: Barth e Vefago (2008).

2.2.2 Pulverização (*Spray-up*)

Esse método (Figura 5) tem qualidade superior à pré-mistura, por não acarretar tantos problemas, porém estudos como o de Majumdar et al. (1980) apontam que essa técnica não produz um material perfeitamente uniforme. O processo é mais tecnológico, simples e versátil: a mistura de GRC é pulverizada diretamente na forma, moldando-a, de maneira que esta fique com as fibras distribuídas de maneira relativamente uniforme. A matriz e as fibras são depositadas na fôrma separadamente, podendo ser controladas as quantidades e velocidades de aplicação pelo equipamento. O GRC produzido por esse método é de alta qualidade, não demandando mais água ou aditivos, como na pré-mistura. Nos dois métodos, a moldagem é realizada em camadas compactadas por um rolo. (BENTUR; MINDESS, 1990).

Os principais produtos fabricados por esse método são painéis de revestimento arquitetônico, componentes agrícolas, tanques, elementos de fachada, condutos e cofragem. (NPCAA, 2006).

Figura 5 - Processo de pulverização



Fonte: Barth e Vefago (2008).

2.2.3 Cura

Em relação à cura do GRC, é possível afirmar que esta é praticamente a mesma de um concreto convencional, sendo mais apropriada a cura úmida. Devido a sua grande área superficial e produção de peças com espessuras finas, o GRC possui uma secagem rápida, que tende a acarretar em retrações, deformações e menores resistências. Quando submetido à cura seca ou ao ar, este estará mais propício a fissurações e diminuição da resistência à flexão. A influência nas propriedades do GRC em função dos tipos de cura é relacionada ao fato de a matriz desse material ter forte resistência às tensões de fissuração, além de a resistência à flexão do GRC depender da ligação fibra-matriz, que pode aumentar quando a matriz retrai na cura úmida, resultando em maior resistência à fricção.

Alguns métodos diferenciados de cura foram estudados a fim de minimizar os danos da cura não úmida, como a adição de polímeros. A adição de 5% de

polímeros por volume, em cura não úmida, pode ser bastante eficaz. (BENTUR; MINDESS, 1990).

2.3 Dosagem do GRC

Na dosagem desse material, é importante ter atenção com dois requisitos: volume relativamente grande de fibras, aproximadamente 5% do volume total, pois as fibras são o principal componente do GRC que lhe fornece reforço; a proporção da matriz, que é composta por cimento e areia fina, devendo esta ser de 1: 0,5-1 (cimento/areia), permitindo, assim, a produção de componentes de pequena espessura os quais contêm altos teores de fibra. (BENTUR; MINDESS, 1990).

É possível verificar as proporções de partes iguais de areia e cimento em muitos estudos. Já o teor de fibra varia, porém geralmente permanece entre 5% e 7% do peso do cimento. Já foram realizados estudos inclusive com 10% em relação ao peso do cimento, dado que o aumento do teor de fibra aumenta sua resistência, mas, em contrapartida, diminui a trabalhabilidade da mistura, assim como o a utilização de aditivos superplastificantes. Em relação à água/cimento, são comuns relações entre 0,3 e 0,35, podendo essas relações serem influenciadas pelos possíveis polímeros que venham a ser inseridos na matriz. O acrílico é o polímero mais utilizado em misturas de GRC, as quais, em sua maioria, possuem conteúdo sólido de 46% a mais de 50%.

A areia utilizada para a mistura deve ter tamanho médio entre 0,3 mm e 0,6 mm, e podem ser utilizadas pozolanas nas misturas para melhorar suas propriedades, como sílica ativa, metacaulim e VCAS (Alumínio-Silicato de Cálcio Vitrificado). Além disso, aditivos superplastificantes são muito utilizados para a diminuição do consumo de água e o aumento da fluidez, porém devem ser adicionados com moderação, pois, se a mistura for aplicada em substratos verticais, esta pode perder aderência, escorrendo do substrato. (GIRARD, 2013).

2.4 Fibras de Vidro

Gilbert (2004) afirma que materiais à base de cimento são frágeis e fibras são interessantes de serem inseridas em suas misturas, visto que auxiliam no aumento da resistência desses materiais através da interação sinérgica com as microfissuras

que ocorrem com o carregamento dos mesmos. As fibras de vidro do tipo AR foram desenvolvidas modificando-se a composição química das fibras comuns, o que as tornou resistentes à natureza alcalina da matriz de cimento, restringindo a fissuração do concreto.

Desde a década de 1940, tem sido visto o uso de fibras de vidro, mas principalmente para reforço de plásticos. Após esse período, iniciou-se sua inserção em compostos de cimento Portland, porém com fibras de vidro comuns, que estavam sujeitas a ataques alcalinos. Então, percebeu-se a necessidade de desenvolver fibras que pudessem resistir a esses ataques e, no final da década de 1960, conseguiu-se desenvolver tal produto, após muitos estudos e testes. (NPCAA, 2006).

As fibras de vidro resistentes a álcalis (AR) foram então desenvolvidas, mostrando bom desempenho quanto ao reforço de argamassas, concretos e em materiais que podem sofrer ataque alcalino, dependendo do ambiente em que se encontram. Estas foram inseridas principalmente em misturas de concreto para auxiliar na resistência à tração, que geralmente é muito baixa. (ALMENARA, 1996).

O desenvolvimento de fibras resistentes a álcalis ocorreu por testes químicos e ensaios de resistência à tração quando inseridas em pastas de cimento. Nesse período, também começaram a ser desenvolvidos métodos de aceleração do envelhecimento dos GRCs, avaliando seu comportamento em diferentes climas. (PROCTOR; OAKLEY; LITHERLAND, 1982).

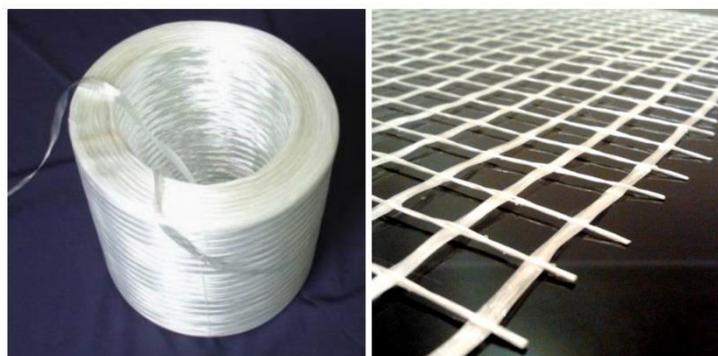
Wafa (1990) também cita que a inserção de fibras ao concreto auxilia para que este se torne homogêneo e isotrópico. Dentro do concreto, portanto, as fibras orientadas aleatoriamente impedem a formação e a propagação de fissuras, aumentando a resistência e a ductilidade do concreto. Os locais onde geralmente ocorre o rompimento do GRC são as áreas de ligação, áreas de disposição de fibras e falhas na matriz.

Estudos mostram que o melhor teor e comprimento das fibras para obtenção das melhores propriedades no estado endurecido são de 6 a 8% de volume de fibra de 30 a 40 mm de comprimento. (MAJUMDAR et al., 1980).

A fibras de vidro AR, como as apresentadas na Figura 6, são compostas por mais de 15% de óxido de zircônio (ZrO_2), dióxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio Al_2O_3 , óxido de sódio Na_2O , dióxido de titânio e óxido de cálcio CaO . O zircônio é o

material principal dessa fibra, pois é ele que lhe fornece a resistência aos álcalis. (ALMENARA, 1996).

Figura 6 - Fibras de vidro AR: a) em rolo; b) em malha



a)

b)

Fonte: Central Fibra (2018); Hidraltermic (2012).

2.4.1 Processo de Fabricação

O processo de produção das fibras de vidro AR é dividido em duas etapas: a primeira consiste na moagem das matérias-primas e a segunda refere-se à mistura. Após a mistura, esta é colocada em um forno de fusão aquecido a uma temperatura da ordem de 1.550°C . Esse processo de produção promove características específicas para materiais refratários à base de óxidos de zircônio e cromo, de alto custo.

Na segunda etapa da produção das fibras, elas são retiradas do forno e inseridas no estado fundido em alimentadores para dar sequência ao processo de definição das dimensões. Então passam por um rápido aprimoramento por radiação e água fria.

Posteriormente a essas duas etapas, é necessário revestir os filamentos com um filme fino que consiste, em geral, em uma dispersão de solução aquosa de vários compostos químicos, para ganho de resistência à abrasão, flexibilidade e trabalhabilidade. E então, para finalizar, passam pelos processos de bobinagem, secagem e transformação final até que se transformem no produto para uso. (ALMENARA, 1996).

3 SUJIDADE EM FACHADAS E MATERIAIS AUTOLIMPANTES

As fachadas são elementos importantes estudados pela engenharia civil e pela arquitetura. A arquitetura possui um tripé que sustenta sua funcionalidade. Nesse tripé, estão a integridade, a habitabilidade e a estética. A estética exterior de uma edificação determina sua expressão. A arquitetura é o que define um ambiente urbano, e sua estética exterior é o que forma o conjunto do ambiente; portanto, esta deve estar sempre em sua melhor forma. (CARRIÓ, 1985).

As fachadas são elementos das edificações que merecem cuidados redobrados quando comparados aos demais elementos, visto que estão em contato com agentes externos, tornando-as sujas e poluídas, o que não é interessante porque elas são o cartão de visita das edificações. (CHAVES, 2009).

É perceptível que, ao longo dos anos, as fachadas vêm demandando materiais com tecnologia de alto desempenho, que consigam fornecer a elas propriedades importantes. Muitas fachadas são vistas de maneira desagradável devido à sujeira, pois os proprietários postergam as operações de limpeza devido ao necessário e frequente dispêndio de tempo e de recursos como água, produtos de limpeza e mão de obra para tal tarefa. A sujidade das fachadas afeta o desempenho e o valor monetário das edificações. (ANDALORO et al., 2016).

Um dos fatores que auxiliam na sujidade das fachadas é o vento. Este é um veículo das partículas poluidoras, o qual, além de transportá-las até a fachada, pode sedimentá-las nela, dependendo de sua velocidade. Outro problema é o fato de que, em dias de chuva, quando a água entra em contato com algum obstáculo sujo, o vento a leva até a fachada, sujando-a ainda mais. A chuva também pode transportar sujeiras que estão depositadas no telhado da edificação para as fachadas, e estas, se muito porosas, fazem penetrar a sujeira, causando um manchamento. (VALLEJO, 1990).

A propriedade estética dos edifícios é comumente perdida ao longo do tempo, o que é ocasionado pelo envelhecimento e pela influência do clima. As fachadas das edificações podem ser sujas por materiais viscosos, por exemplo, o que facilita a aderência de poeiras e partículas finas, fazendo com que a sujeira seja acumulada na superfície. Faz-se necessário, portanto, constantes manutenções e operações de limpeza envolvendo o uso de produtos químicos e métodos de consumo de energia

para tal, o que não é o ideal, tendo-se hoje alternativas mais sustentáveis para solucionar esse problema. (FOLLI, 2010).

A sujeira dos edifícios é um problema que afeta não só esteticamente as edificações, mas também gera danos às propriedades físicas e químicas dos materiais do revestimento. Tal dano pode desvalorizar a edificação economicamente, além de aparentar que ela é mais antiga do que realmente é e demandar mais manutenções. (VALLEJO, 1990).

Fachadas compostas por concreto aparente, como, por exemplo, as fachadas compostas por placas de concreto reforçado com fibras de vidro, são ainda mais suscetíveis a esse tipo de sujeira, visto que não possuem a proteção de argamassa, tinta, etc. A partir de 1960, pode-se notar o aparecimento de fachadas de concreto aparente no Brasil, impulsionadas pela indústria do cimento. (MATTOS, 2009).

O concreto aparente é um concreto que possui em sua mistura materiais convencionais, mas que necessita de atenção para sua relação água/cimento, que deve ser baixa, e também para a reatividade dos agregados. Esse material não possui revestimento, devendo ser tratado com vernizes e hidrorrepelentes. A principal preocupação com tal tipo de concreto é seu acabamento final, que deve ser livre de manifestações patológicas e aspectos que afetem seu embelezamento. (TÉCHNE, 2003).

Um dos problemas mais comuns relacionados ao concreto aparente é o manchamento, seja ele por reações químicas, estrias que envolvem variação de cor, manchas de umidade, entre outros. Esse tipo de concreto, quando branco, além de aparentar ainda mais as manchas, mostra muito a sujeira acumulada na superfície. Existem tratamentos que podem ser realizados para a recuperação desse concreto quanto às manchas, como utilização de lixadeiras elétricas, camadas de cimento, etc. (RODRIGUES, 1995).

Ribeiro (2010) também afirma que um dos principais problemas apresentados por fachadas de concreto aparente é sua variação de cor e manchas. Esse problema pode ocorrer devido a vários fatores, como variação na relação água/cimento, mistura com materiais de diferentes cores, variação na tonalidade dos pigmentos, lixiviação da cal, tipo de material das formas, desforma em tempos diferentes, exsudação, contato com o meio ambiente, como sujeiras e microorganismos, entre outros.

Devido a tais problemas, fizeram-se necessários estudos de como manter as superfícies limpas de maneira natural. Descobriram-se, assim, os materiais denominados autolimpantes, que são materiais fotocatalíticos. Os materiais fotocatalíticos aceleram as reações químicas de redução devido à união de materiais específicos com a luz do sol, contribuindo muito para o meio ambiente, pois diminuem a poluição do ar e da água. (FUJISHIMA; ZHANG, 2006).

A aplicação de fachadas com materiais autolimpantes é uma excelente solução para o problema de acúmulo de sujeira. Para atingir essa propriedade, é comumente utilizado o dióxido de titânio (TiO_2), que é um material fotocatalítico, ou seja, reage quando em contato com a luz solar. (FOLLI, 2010).

Os produtos que auxiliam os materiais a atingirem a propriedade de autolimpeza necessitam somente da luz solar e da água da chuva para atingirem essa propriedade. O TiO_2 em contato com a luz solar e com a água da chuva decompõe qualquer viscosidade e elimina todo o material orgânico e fino, mantendo a superfície limpa. (FUJISHIMA; ZHANG, 2006).

3.1 Propriedade Autolimpante

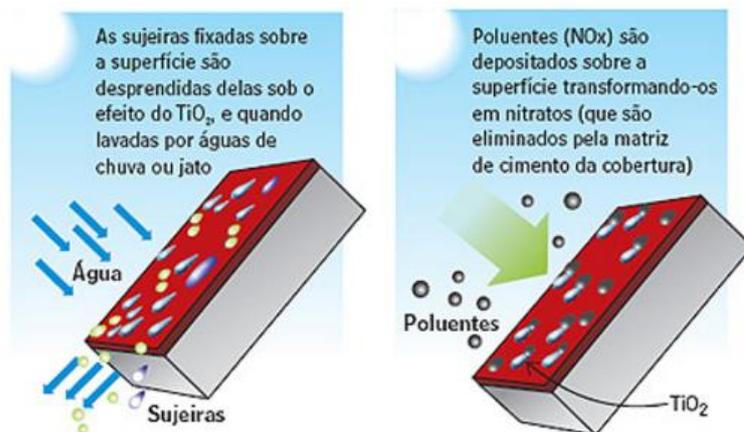
A propriedade autolimpante é obtida mediante inserção de um material fotocatalítico no produto em questão, sendo este inserido em sua composição ou disposto em sua superfície, como uma camada. As superfícies autolimpantes trazem benefícios à edificação no sentido de reduzir tempo e custo de manutenção e limpeza, já que estas retardam a contaminação das fachadas, o que é interessante principalmente para edificações muito altas, em que o acesso para limpeza se torna difícil e também para edificações com toldos ou outros materiais plásticos flexíveis. (FUJISHIMA; ZHANG, 2006).

A fotocatalise é um processo de oxidação avançada que transforma uma grande variedade de poluentes orgânicos tóxicos em substâncias inofensivas. Ela ocorre quando os semicondutores são atingidos por raios ultravioletas, reduzindo a água a hidroxila e oxigênio. Os semicondutores possuem uma "*bandgap*", que, na língua portuguesa, significa "intervalo de banda", o qual consiste na distância entre a camada de valência e a camada de condução dos elétrons do material. Esses materiais, quando atingidos por raios UV de energia equivalente ou superior à energia da "*bandgap*", transferem elétrons da camada de valência para a condutora, consumindo toda a

sujidade de sua superfície. O TiO_2 é um dos materiais mais empregados nessa aplicação, sendo estudado fortemente nos últimos anos. (FELTRIN et al., 2013; FUJISHIMA; ZHANG, 2006; MARANHÃO; LOH; JOHN, 2008).

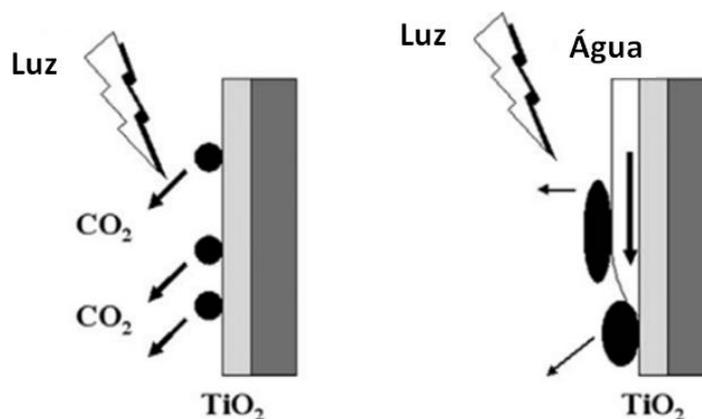
Os materiais autolimpantes necessitam de raios UV e da água da chuva para se manterem limpos, graças às propriedades fotocatalíticas do TiO_2 . Este, junto com a luz solar, tem a capacidade de decompor materiais mais viscosos, enquanto, junto com a água da chuva, consegue retirar todo o material orgânico e fino, fazendo uma limpeza na superfície. A velocidade de ocorrência das reações de oxidação das sujidades depende da intensidade dos raios UV, da temperatura, da umidade, do teor de TiO_2 da superfície e da aderência dos poluentes à superfície. (BEELDENS, 2006; FUJISHIMA; ZHANG, 2006). As Figuras 7 e 8 apresentam esse mecanismo.

Figura 7 - Mecanismo de ação autolimpante



Fonte: Maranhão, Loh e John (2008).

Figura 8 - Processo de descontaminação dos materiais autolimpantes



Fonte: Adaptado de Fujishima e Zhang (2006).

3.2 Dióxido de Titânio

O dióxido de titânio (TiO_2) é um pigmento utilizado para proporcionar brancura e opacidade a produtos como revestimentos, plásticos, tintas, vidros, enchimento em papel, indústrias de borracha, cosméticos e alimentos. São produzidas mais de 4,5 milhões de toneladas de TiO_2 por ano em todo o mundo. (GÁZQUES et al., 2014).

O TiO_2 é um material abundante em quantidade e de fácil produção. Considerado revolucionário, esse material possui inúmeras utilidades e aplicações, como produzir água limpa, criar energia, duplicar a vida útil de baterias, transformar-se em células solares flexíveis, gerar nitrogênio, consumir bactérias, entre outros. Estudos já comprovaram que o TiO_2 é um material que acelera as reações químicas, ou seja, é fotocatalítico, e reage muito bem à água, sendo uma hidroxila. (NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY (NTU), 2013).

Sua produção é dada a partir de uma variedade de minérios por dois processos diferentes: o processo de sulfato (cerca de 40% da produção total de TiO_2), utilizando ácido sulfúrico concentrado, e o processo de cloreto (cerca de 60%), usando gás de cloro. A diferença entre esses dois processos são suas matérias-primas e suas reações químicas. O processo de sulfato foi o primeiro processo de produção de TiO_2 a ser desenvolvido, porém o processo de cloreto tem algumas vantagens se comparado ao processo tradicional de sulfato, no que se refere a custos e resíduos. Por esses motivos, é o mais utilizado na indústria de pigmentos nos últimos tempos. (GÁZQUES et al., 2014).

3.2.1 Processo de Sulfato

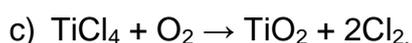
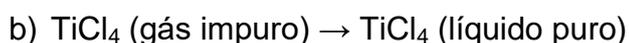
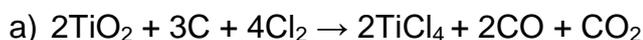
Nesse processo, a ilmenita ou escória de titânio ou outra mistura controlada é dissolvida com ácido sulfúrico concentrado (98%). A partir da junção desses materiais com vapor e água, uma reação altamente exotérmica é iniciada. As equações gerais para essa reação está apresentada a seguir:

- a) $\text{FeTiO}_3 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{TiOSO}_4 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ – dissolução da matéria-prima
- b) $\text{TiOSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4$ – precipitação do TiO_2
- c) $\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{TiO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$ – calcinação e condicionamento do TiO_2 .

O material resultante desses processos é concentrado e hidrolisado até atingir o dióxido de titânio hidratado; posteriormente, passa por um processo de filtração e então passa por um calcinador, onde os cristais de dióxido de titânio crescem até o seu tamanho cristalino final e o resto dos materiais é removido. Finalmente, o dióxido de titânio seco passa pela fase de acabamento, que envolve moagem ou tratamento químico. Esse processo resulta em produtos de menor qualidade para a maioria das aplicações do mesmo, tornando mais interessante o processo de cloreto. (GÁZQUES et al., 2014).

3.2.2 Processo de Cloreto

O segundo tipo de processo de produção do TiO_2 inicia com a mistura das matérias-primas, que podem ser de vários tipos, com cloro gasoso a uma temperatura de 900°C a 1000°C em um reator. O material resultante desse processo é um gás que contém tetracloreto de titânio (TiCl_4), óxidos de carbono e impurezas da matéria-prima. As principais reações químicas desse processo são as apresentadas a seguir:



O TiCl_4 purificado se condensa por meio de um arrefecimento, depois passa por um reator de oxidação com temperatura acima de 1500°C , onde reage com oxigênio. Desta etapa, resta o cloro residual associado ao TiO_2 sólido, que é removido por hidrólise aquosa, não poluindo o ambiente. Por fim, o dióxido de titânio puro passa por tratamentos químicos de superfície, moagem e secagem. (GÁZQUES et al., 2014).

3.2.3 Características e Aplicações

O TiO_2 pode ser encontrado em três tipos de estrutura cristalina: anatase, rutilo e brookita. A anatase e o rutilo são estruturas cristalinas tetragonais, e a brookita é uma estrutura cristalina ortorrômbica. A anatase destaca-se entre essas

três estruturas, pois contém maior área superficial por volume, maior densidade, faixa de absorção mais próxima da luz visível e alta capacidade de aprisionamento de elétrons. Esta é a estrutura na qual as principais aplicações do TiO_2 são encontradas, inclusive é neste estado que o TiO_2 é inserido no concreto. (CORONADO et al., 2008; FELTRIN et al., 2013; PENA, 2015).

Em relação a sua aplicação, o TiO_2 destaca-se por estar presente em muitos produtos no mercado hoje. Este pode ser aplicado em azulejos, vidros, plásticos, filmes plásticos, papel comum, papel de parede, paredes à prova de som, condicionadores de ar, sistemas de limpeza de piscinas, fibras, roupas, tintas, indústria de alimentos, cosméticos, medicamentos, cerâmicas, borracha, etc. É também muito utilizado em protetores solares por ser um bom fotocatalisador, sendo aplicado em tintas, cimento, janelas, telhas, entre outros, com função esterilizante e desodorante. Mas, atualmente, suas principais aplicações encontram-se na produção de células solares e materiais autolimpantes. (FUJISHIMA; ZHANG, 2006; MONTOYA, 2014).

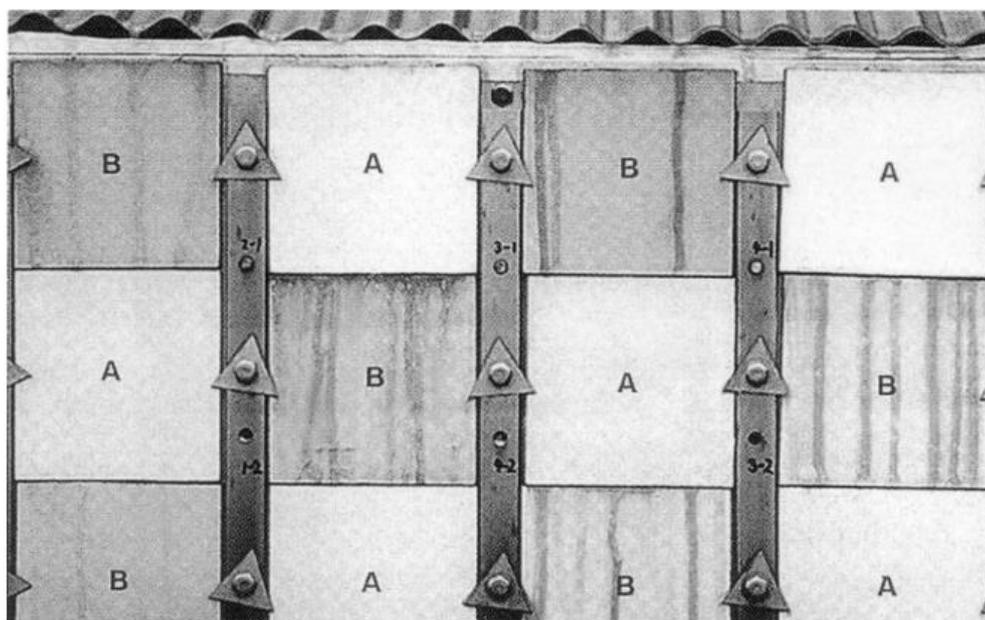
Estudos como o de Pena (2015) mostram quão interessante é o uso do TiO_2 em células solares, pois tem boa função como coletor e condutor de carga, fazendo com que o uso do fluxo de elétrons que resulta da absorção da luz do sol pelos sensibilizadores seja efetivo. Além disso, possui estrutura molecular adequada, propiciando um melhor desempenho à absorção dos sensibilizantes.

O TiO_2 também pode ser usado como um pigmento para espalhar luz, porque absorve pouquíssima luz incidente. Esse pigmento dispersa a luz por três mecanismos: reflexão da superfície de um cristal, refração dentro de um cristal e difração. (GÁZQUES et al., 2014).

Acrescenta-se a isso o fato de o TiO_2 poder ser utilizado como uma das soluções para a poluição atmosférica, sendo aplicado em materiais de construção e pavimentações, devido a sua função de fotocatalise. A fotocatalise do TiO_2 gera uma mineralização total dos compostos orgânicos (alcanos, alcenos, álcool, pesticidas, etc.), reduzindo também NO_x , bactérias, vírus, entre outros. É importante que todo o TiO_2 acrescentado nessas superfícies esteja em contato com os raios UV e receba a água da chuva; assim, é importante que esse material esteja aplicado na superfície dos materiais. Deve-se buscar ter o máximo de TiO_2 possível na superfície do material, sendo esta a maneira mais eficiente de aplicação do fotocatalisador nos materiais. (BEELDENS, 2006).

No concreto, como o TiO_2 é um material muito inerte, este não faz parte de nenhuma das reações de hidratação do cimento e não reage com nenhuma fase cimentícia. Ele pode ser aplicado como uma camada somente na superfície e também introduzido na mistura como pó, estando presente em toda a matriz do concreto, atuando como material de preenchimento e auxiliando na redução da porosidade e resistência inicial. Além disso, a utilização do TiO_2 no concreto proporciona fachadas autolimpantes e retarda o envelhecimento destas apenas com o auxílio da luz do sol, do oxigênio e da umidade do ar ou da chuva. (FOLLI, 2010; BEELDENS, 2006). A Figura 9 apresenta a diferença de fachadas com placas de concreto autolimpantes e placas de concreto comuns.

Figura 9 - Placas autolimpantes (A) e placas comuns (B)



Fonte: Fujishima e Zhang (2006).

O TiO_2 tem desempenhado um grande papel em pesquisas de energia e meio ambiente. Tem sido muito importante para o desenvolvimento de fotossíntese artificial, visto que ele só absorve a luz ultravioleta. Estudos verificaram que, se fosse possível reduzir a banda de anatase do TiO_2 , a fotocatalise deste poderia tornar-se uma fonte de energia limpa competitiva. Também foi constatado que sua superfície é altamente reativa, e a identificação de uma fase de superfície de TiO_2 com alta reatividade química tem fortes implicações para conversão de energia solar, fotocatalise e fotossíntese artificial. (DETTE et al., 2014).

Para a aplicação do TiO_2 em superfícies de placas autolimpantes, que é o tema deste trabalho, faz-se necessária a ocorrência da reação de fotocatalise. Essa reação ocorre na fase anatase do TiO_2 a um comprimento de onda de 388 nm. Porém, a taxa de reação fotocatalítica desse material depende da absorção da radiação do fotocatalisador, e essa reação deve ocorrer para a obtenção da propriedade autolimpante, visto que é ela que transforma as substâncias orgânicas poluentes em substâncias não poluentes. Entretanto, apenas 5% da radiação solar total tem energia suficiente para causar a efetiva fotossensibilização, e a fase anatase, que é a mais utilizada, não é estável a altas temperaturas, transformando-se em rutilo, que é uma fase pouco fotoativa. Mas é inevitável o contato com altas temperaturas, visto que as placas estarão em contato com a luz solar, fazendo com que a inibição dessa transformação de fase dependa da natureza do material e do tratamento térmico recebido. A utilização de dopantes influencia na cinética da transformação, podendo auxiliar na inibição desta. Assim, inúmeros dopantes catiônicos vêm sendo utilizados para otimizar a atividade fotocatalítica de produtos submetidos a temperaturas altas durante sua produção e aplicação. (FELTRIN et al., 2013).

Estudos vêm propondo inclusive novas maneiras de medir a atividade fotocatalítica do TiO_2 com base na medição da redução fotoinduzida de íons Ag (prata). Essa medição foi realizada em revestimentos de TiO_2 aplicados em substratos de vidro e de quartzo, obtendo-se bons resultados com o TiO_2 em estrutura amorfa, de modo que esse método é adequado para averiguar a atividade fotocatalítica dos revestimentos em substratos transparentes. (KAMEI, 2012). Este trabalho não entrará no mérito de medir a atividade fotocatalítica do TiO_2 , porém irá avaliar seu desempenho frente à variação do seu teor em placas de GRC.

Fujishima e Zhang (2006) comprovaram que a utilização de dióxido de titânio em pastas de cimento aumenta a taxa de hidratação do cimento, porém diminui sua resistência à compressão e não afeta sua resistência à tração na flexão. Além disso, a utilização de mais de 1% do material afeta sua trabalhabilidade negativamente. Também verificaram que, após o manchamento dos corpos de prova que foram submetidos a ensaios de raios UV, estes apresentaram uma boa recuperação da cor, mas seu desempenho cai com o passar do tempo e com o aumento do teor de TiO_2 .

Quagliarini et al. (2012) verificaram, em seu estudo, comparando um tratamento superficial de substrato rochoso com uma camada de TiO_2 e múltiplas camadas de TiO_2 , que esse material realmente é eficiente quanto à autolimpeza em ambas as técnicas de aplicação. A propriedade de absorção de água do substrato não foi afetada, mesmo após a aplicação das camadas, e o revestimento de múltiplas camadas apresentou-se mais uniforme.

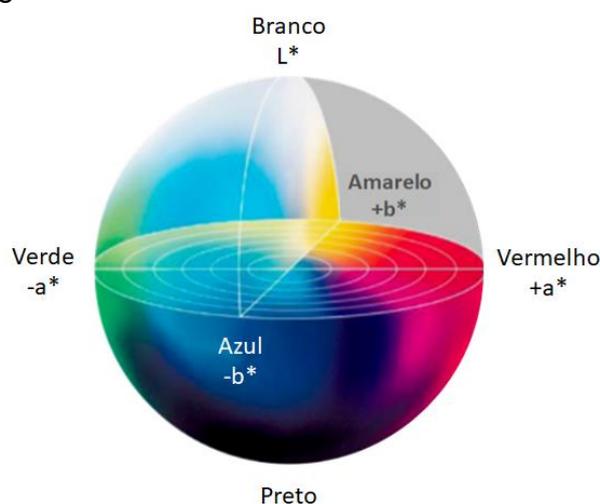
A avaliação da autolimpeza de materiais com adição de TiO_2 pode ser realizada de algumas formas como exposição ao sol, exposição a câmaras de incidência de raios UV, ensaios de espectrofotometria, etc.

3.3 Avaliação da Autolimpeza

Avaliações colorimétricas devem ser realizadas em materiais autolimpantes para a verificação de sua cor mediante a um manchamento, para registrar sua capacidade de regenerar esta mancha. Muitos estudos realizaram este tipo de avaliação utilizando diversos tipos de manchamento como Rodamina B, azul de metileno, anilina vermelha, negro de fumo, tinta *spray*, vinho tinto, etc. (AUSTRIA, 2015; FOLLI, 2010; KRISHNAN et al., 2013; MARANHÃO, 2009; PEREIRA; JALALI; TORRAL, 2009; SMITS et al., 2014; RUOT et al., 2009; TREVISI, 2016; YURANOVA et al., 2007).

Um dos tipos de testes que podem ser realizados é o ensaio de espectrofotometria, cujo equipamento realiza uma leitura de cores da superfície em contato. Existem alguns sistemas de leitura utilizados por estes equipamentos, o espectrofotômetro utilizado neste estudo utiliza o sistema de leitura CIELab ou $L^*a^*b^*$ da organização CIE, que são a luminosidade (L^*) e as coordenadas cromáticas (a^* e b^*), que são parâmetros que representam uma cor. (PASSUELO, 2004). A luminosidade (L^*) é um parâmetro que varia de 0 (preto) a 100 (branco), a coordenada " a^* " varia de um valor negativo (verde) e um valor positivo (vermelho) e a coordenada " b^* " varia de um valor negativo (azul) a um valor positivo (amarelo), como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Plano de cores do sistema CIELab



Fonte: Adaptado de Krishnan et al. (2013).

Estudos como o de Diamanti et al. (2013) avaliaram GRCs com inserção de TiO_2 para obter capacidade autolimpante entre outras verificações, e utilizaram a espectrofotometria como meio de avaliação além da exposição natural ao microclima de região. Outros estudos recentes, como o de Treviso (2016), avaliaram as propriedades autolimpantes do TiO_2 em placas de argamassa e seu desempenho quanto à inclinação e à orientação de disposição destas, manchando as placas com Rodamina B e realizando o ensaio de espectrofotometria, e verificaram que, quanto menor a incidência solar recebida pela placa, maior a quantidade de TiO_2 necessária. As placas que estavam orientadas para a direção norte foram as que obtiveram maior variação de cor, e a inclinação que apresentou melhores resultados quanto à variação de cor foi a de 45° . Além disso, as misturas com 15% de adição de TiO_2 apresentaram os melhores resultados de resistência à compressão e à tração na flexão, porém com alto coeficiente de variação. Como conclusão final, verificou-se que a adição de 5% de TiO_2 pode ser considerado o valor mais adequado em termos de custos e eficiência de autolimpeza.

Para confirmação desses resultados, este trabalho avaliou da mesma forma esses parâmetros, porém com adição de 3%, 5% e 7% de TiO_2 nas misturas, que não serão de argamassa e sim de GRC, com manchamentos de Rodamina B e o azul de metileno. A metodologia adotada está apresentada no próximo capítulo.

4 METODOLOGIA

O estudo aqui apresentado visa avaliar a capacidade e a eficiência da recuperação de cor de placas de GRC com adição de TiO_2 em sua mistura e também a influência dessa adição nas propriedades mecânicas. Portanto, o método de avaliação deste estudo será dividido em duas partes: avaliação das propriedades mecânicas e avaliação da recuperação da cor.

Quatro traços de GRC foram produzidos para este estudo: um traço referência (REF) e mais três traços com adição de 3%, 5% e 7% de TiO_2 . A escolha dessas porcentagens foi dada de maneira a refinar a pesquisa de Treviso (2016), sendo porcentagens mais específicas em torno do teor de 5%, no intuito de verificar uma porcentagem ótima. Os ensaios e a produção dos traços realizados serão descritos a seguir.

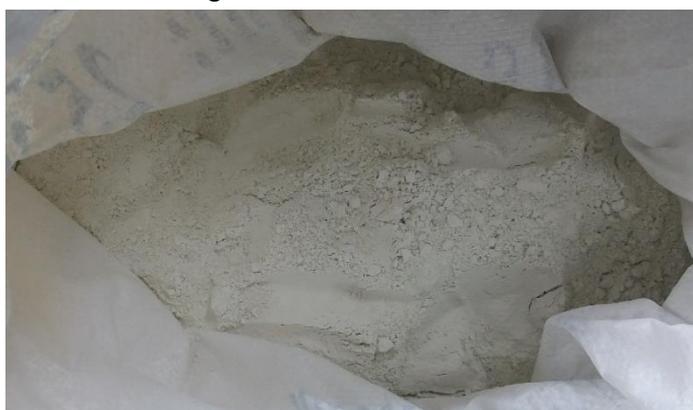
4.1 Materiais Utilizados

A seguir, será apresentada uma breve descrição dos materiais utilizados no estudo.

4.1.1 Cimento

O cimento utilizado é do tipo Portland branco utilizado pela Siscobras, empresa que trabalha com GRC (Fotografia 1). Suas características estão apresentadas na Tabela 1 e sua curva granulométrica está apresentada no Gráfico 1.

Fotografia 1 - Cimento branco



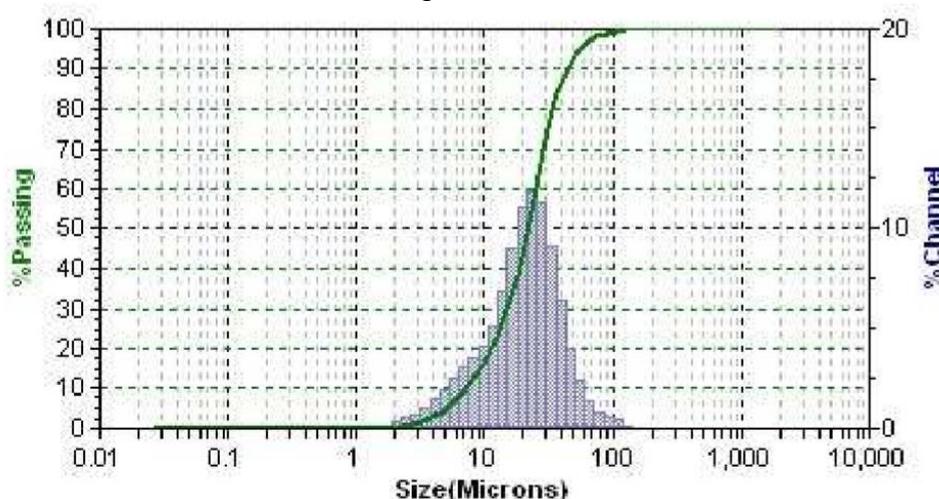
Fonte: Registrada pela autora.

Tabela 1 - Características do cimento

| | |
|--|-------|
| Resistência à compressão 2 dias (MPa) | 36 |
| Resistência à compressão 28 dias (MPa) | 70,4 |
| Índice de refletância (%) | 86,78 |
| Expansibilidade (mm) | 1,08 |
| Perda na combustão (%) | 3,52 |
| Resíduos insolúveis (%) | 0,16 |
| SO ₃ (%) | 3,28 |

Fonte: Ficha de Informação de Segurança do Produto (FISPQ), (2016).

Gráfico 1 - Curva granulométrica do cimento



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.2 Areia de Fundição

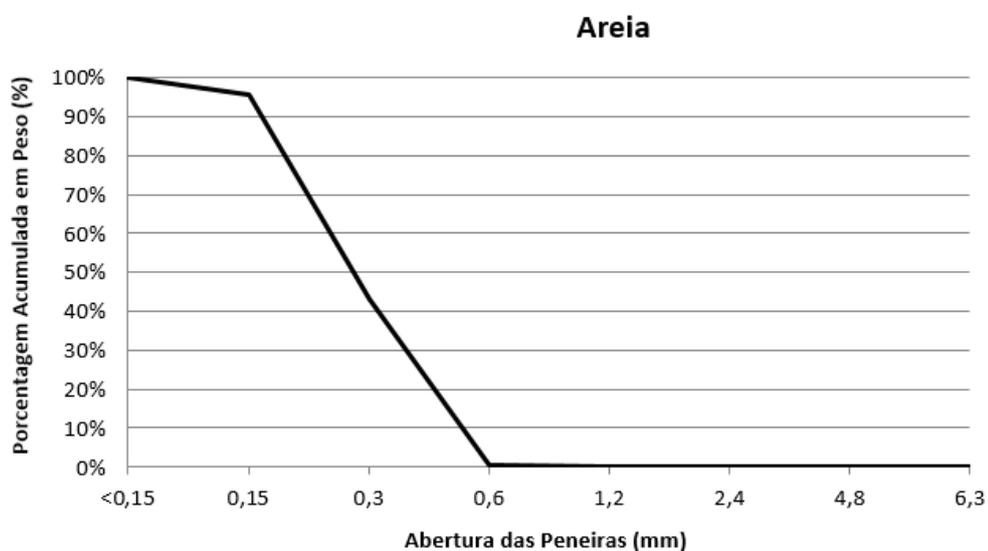
A areia utilizada é uma areia utilizada no processo de fundição de aço, também utilizada pela Siscobrás em suas composições (Fotografia 2). Sua curva granulométrica está apresentada no Gráfico 2.

Fotografia 2 - Areia



Fonte: Registrada pela autora.

Gráfico 2 - Curva granulométrica da areia

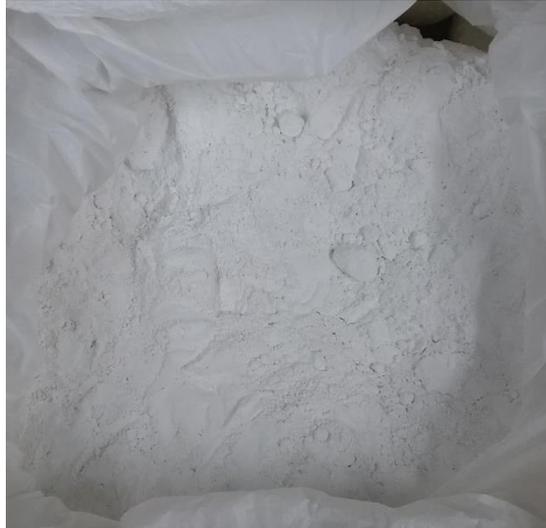


Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.3 Dióxido de Titânio

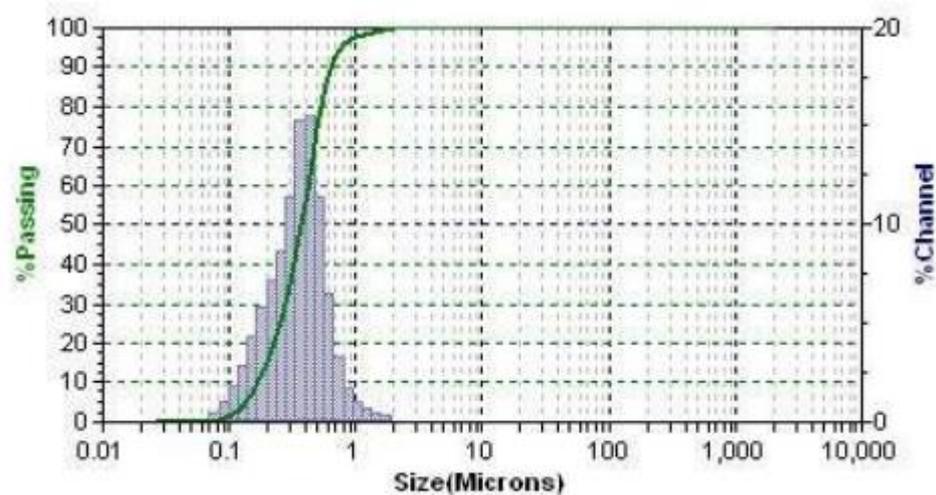
O dióxido de titânio, é corante branco e fino (Fotografia 3) composto basicamente de titânio e oxigênio, é o principal componente do estudo. Sua massa específica é de $3,7694 \text{ g/cm}^3$ e sua curva granulométrica está apresentada na Gráfico 3.

Fotografia 3 - Dióxido de titânio



Fonte: Registrada pela autora.

Gráfico 3 - Curva granulométrica do dióxido de titânio



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.4 Fibra de Vidro

As fibras são um dos componentes básicos do GRC. São elas que proporcionam ao material boa resistência à tração, à flexão e ao impacto. A fibra de vidro (Fotografia 4) utilizada neste estudo é uma fina fibra do tipo AR, que permanece íntegra, ou seja, não desfia. Isso proporciona fácil incorporação nas matrizes e eficiente trabalhabilidade, além de ter baixa absorção de água, o que permite menor quantidade de água na mistura. Seus feixes possuem dimensões

de $(18,4 \pm 2)$ mm de comprimento e $(0,8 \pm 4)$ mm de largura. Suas características estão apresentadas na Tabela 2.

Fotografia 4 - Fibra de vidro



Fonte: Registrada pela autora.

Tabela 2 - Características da fibra de vidro

| | |
|---------------------------------------|---------------|
| Massa específica (g/cm ³) | 2,68 |
| Resistência à tração (MPa) | 1700 |
| Módulo de elasticidade (GPa) | 72 |
| Perda na combustão (%) | 1,75 |
| Umidade (%) | 0,35 (máximo) |
| Peso da fibra (tex) | 2500 |
| Peso do filamento da fibra (tex) | 82 |
| Ponto de amolecimento (°C) | 860 |
| Resistência química | Muito alta |
| Condutividade elétrica | Muito baixa |

Fonte: FISPQ (2010).

4.1.5 Aditivo

O aditivo utilizado neste estudo é o superplastificante. Esse aditivo é baseado em tecnologia de polímeros policarboxilatos e tem a propriedade de reduzir a quantidade de água da mistura, confere longa manutenção do abatimento, tem rápida dispersão no concreto, proporciona dosagens econômicas e confere boa estabilização em altas consistências.

4.1.6 Rodamina B

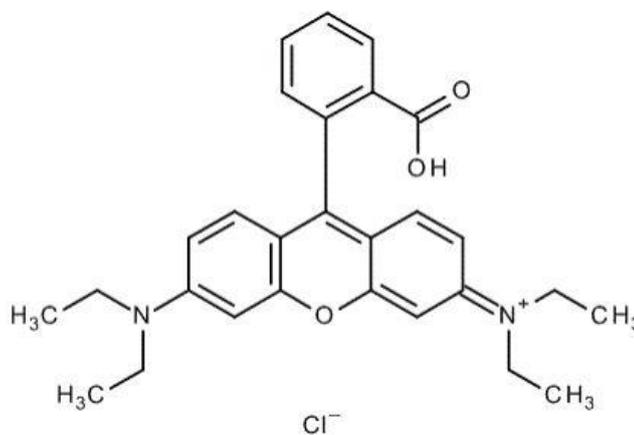
Corante orgânico em pó com cristais verdes que, quando em contato com a água, se torna violeta (Fotografia 5) e cuja família química são os sais orgânicos. Sua fórmula química é $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$ e seu peso molecular é 479,02 mol (FISPQ, 2017). Sua estrutura molecular está apresentada na Figura 11.

Fotografia 5 - Rodamina B em cristais e diluída em água



Fonte: Registrada pela autora.

Figura 11 - Estrutura molecular da Rodamina B

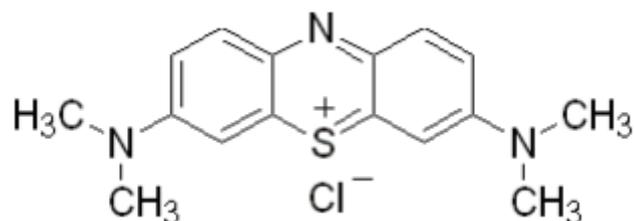


Fonte: Merck (2014).

4.1.7 Azul de Metileno

Corante orgânico líquido na cor azul cuja fórmula química é $C_{16}H_{18}N_3SCl \cdot 3H_2O$ (FISPQ, 2009). É muito utilizado na indústria têxtil para tingimento, na produção de papel e de materiais como nylon e poliéster. Sua estrutura molecular está apresentada na Figura 12.

Figura 12 - Estrutura molecular do azul de metileno



Fonte: Dutra (2013).

4.2 Dosagem dos Traços

O traço utilizado neste estudo seguiu as referências de Bentur e Mindess (1990), sendo em proporção de 1:1 (cimento:areia), e a relação água/cimento foi de 0,2. O teor de superplastificante utilizado foi de 1,5%. Já o TiO_2 foi adicionado nas porcentagens já mencionadas – 3%, 5% e 7% em relação à massa do cimento –, e as fibras de vidro foram adicionadas no teor de 1% em relação à massa total da mistura. Não foi utilizado o mesmo traço que Treviso (2016), pois suas misturas eram de argamassa. O método de produção do GRC foi o de pré-mistura, produzido em uma argamassadeira (Fotografia 6) pertencente ao Laboratório de Segurança Estrutural (LaSE) do Itt Performance – Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil. A colocação dos materiais na argamassadeira para mistura seguiu a seguinte ordem: areia, água, aditivos, cimento e TiO_2 , sendo misturados por 8 minutos.

Fotografia 6 - Argamassadeira



Fonte: Registrada pela autora.

4.3 Moldagem e Cura dos Corpos de Prova

Os corpos de prova para exposição às intempéries foram moldados nas dimensões de 8x8x2 cm, sendo a mistura colocada na forma em uma camada sem adensamento.

Os corpos de prova para os ensaios de compressão axial e tração na flexão são cilíndricos, nas dimensões de 5x10 cm, e prismáticos, nas dimensões de 4x4x16 cm, respectivamente. Os corpos de prova cilíndricos receberam duas camadas adensadas manualmente com 8 golpes, e os corpos de prova prismáticos receberam uma camada sem adensamento. A moldagem não seguiu os parâmetros da ABNT NBR 5738:2015, visto que essa norma não se aplica ao GRC.

No total, foram moldados quarenta e oito corpos de prova de 8x8x2 cm, vinte e quatro corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 5x10 cm e vinte e quatro corpos de prova prismáticos nas dimensões de 4x4x16 cm, que foram desmoldados 24 h após a moldagem e mantidos em uma câmara de cura úmida.

As formas de 5x10 cm e 4x4x16 cm são metálicas (Fotografia 7) e receberam uma camada de desmoldante à base de água. A escolha desse desmoldante foi devido a sua cor branca, que, assim, não mancharia os corpos de prova, que também são brancos, problema que aconteceria com o uso de óleo mineral. Já as formas de 8x8x2 cm são de madeira (Fotografia 8) e não receberam desmoldante

porque as placas não foram retiradas das formas, uma vez que estas ficaram ao ar livre e poderiam ser levadas pelo vento. Portanto, foram mantidas aderidas às formas para evitar esse fenômeno, e estas foram encaixadas aos cavaletes, não tendo perigo de voarem. Acredita-se que as madeiras nas extremidades das placas não tiveram influência nos resultados, visto que, se as placas fossem utilizadas como fachada, estas estariam coladas umas nas outras em suas extremidades, ou seja, também não estariam com suas extremidades livres.

Fotografia 7 - Formas metálicas prismáticas e cilíndricas



Fonte: Registrada pela autora.

Fotografia 8 - Formas de madeira



Fonte: Registrada pela autora.

4.4 Ensaio de Consistência

Este ensaio seguiu as diretrizes da ABNT NBR 15306-1:2015. Após a mistura de cada traço, o ensaio foi realizado com a utilização da chapa, do cone de aço e da régua metálica, apresentados na Fotografia 9.

O ensaio consistiu em colocar uma camada de GRC dentro de um cilindro metálico até enchê-lo e nivelou-se com sua borda, que deve ser arrasada após 30 segundos da colocação. Após 30 segundos do arrasamento, em uma velocidade constante, deve ser puxado verticalmente o cilindro, permitindo que a mistura se espalhe na chapa, medindo-se o diâmetro de espalhamento com a régua. O espalhamento foi o parâmetro avaliado neste ensaio.

Fotografia 9 - Equipamento de ensaio



Fonte: Registrada pela autora.

4.5 Ensaio de Resistência à Compressão

Este ensaio seguiu as diretrizes da ABNT NBR 5739:2007. Para sua realização, foi utilizada uma prensa hidráulica localizada no Itt Performance – Instituto Tecnológico de Desempenho e Construção Civil –, com capacidade de 2000 kN. A velocidade de aplicação de carga foi de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s, como prescreve a norma, até seu rompimento. A superfície dos corpos de prova foram retificadas para a realização deste ensaio em uma retífica. As idades que foram ensaiadas são de 7 e 28 dias, sendo que, para cada traço, foram ensaiados 3 corpos de prova por idade, totalizando 24 amostras.

4.6 Ensaio de Resistência à Tração na Flexão

Este ensaio seguiu as diretrizes da ABNT NBR 12142: 2010. Utilizou-se a mesma prensa hidráulica com capacidade de 2000 kN. Esta aplicou carga no corpo de prova de maneira que o submeteu a um esforço de flexão até seu rompimento.

Foram moldados 6 corpos de prova para cada traço, nas idades de 7 e 28 dias, totalizando 24 corpos de prova para o ensaio.

4.7 Avaliação da Recuperação da Cor

Foram confeccionadas 12 placas para cada traço para a realização desta avaliação. Primeiramente, as placas foram sujadas pelo corante Rodamina B. O corante foi diluído em água na concentração de 0,5g/L, assim como feito no estudo de Treviso (2016). Após diluído em água, o corante foi despejado em bandejas, nas quais foram mergulhadas as placas, que permaneceram assim por 24h. Após a realização desse processo, seguido pela exposição das placas ao sol e realização da espectrofotometria, o processo foi realizado novamente, utilizando o corante azul de metileno na concentração de 5g/L, como realizado no estudo de Balbino (2015). Os dois manchamentos ocorreram nas mesmas placas, visto que uma placa de fachada é suja repetidamente, em sua exposição ao meio ambiente.

4.7.1 Exposição das Placas à Luz Solar Natural

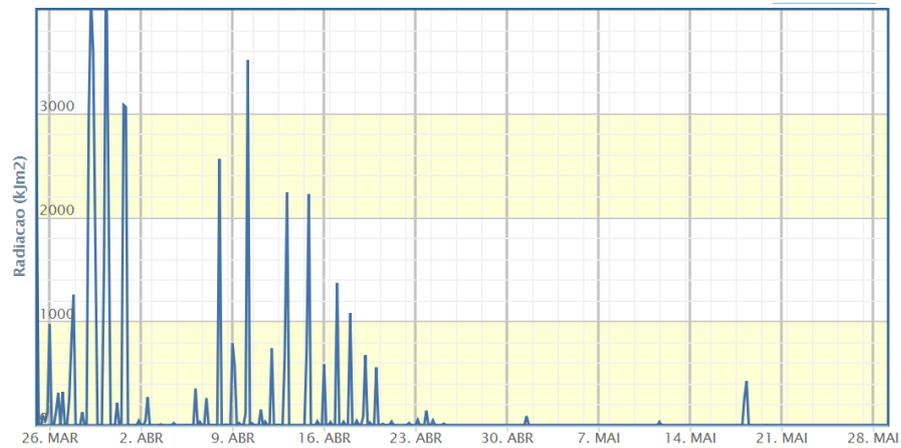
As 12 placas de cada traço foram expostas à luz solar natural, a fim de avaliar o desempenho da exposição do TiO_2 . Essas placas foram dispostas em 3 posições diferentes – 0° , 45° e 90° de inclinação – e em 4 orientações – norte, sul, leste e oeste. Foram confeccionados 4 cavaletes de madeira (compensado naval), como mostra a Figura 25, que possuem as 3 inclinações para a disposição das placas, cada um dos quais comporta 12 placas e foram colocados um em cada orientação. Os cavaletes foram colocados no terraço do Itt Nutrifor, localizado na UNISINOS, limitando, assim, a incidência de raios UV ao microclima de São Leopoldo. Esse processo se repetiu para ambos os corantes, porém a exposição com a Rodamina B durou 28 dias e com o azul de metileno durou 21 dias, devido ao curto tempo para realização do estudo. As condições climáticas do período de exposição das placas estão apresentadas na Fotografia 10 e nos Gráficos 4, 5, 6 e 7, sendo elas radiação solar, precipitação, temperatura e umidade, respectivamente.

Fotografia 10 - Cavalete



Fonte: Registrada pela autora.

Gráfico 4 - Radiação solar incidida no período de exposição



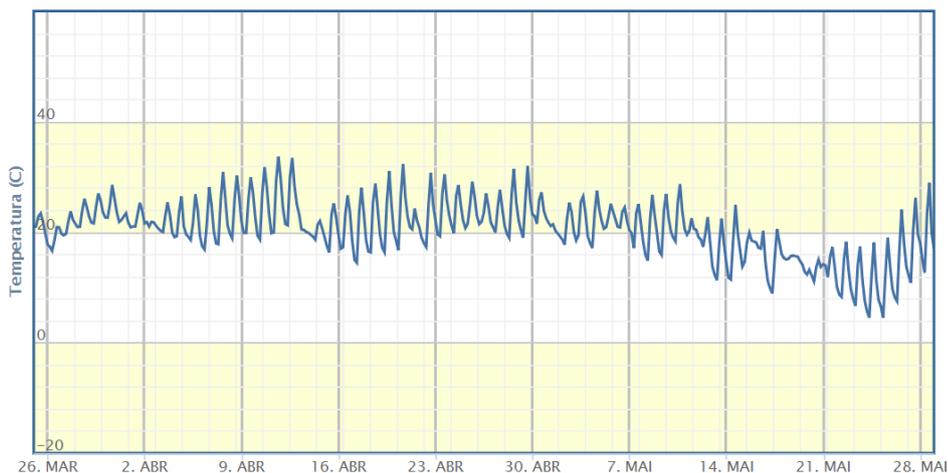
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), (2018).

Gráfico 5 - Precipitação ocorrida no período de exposição



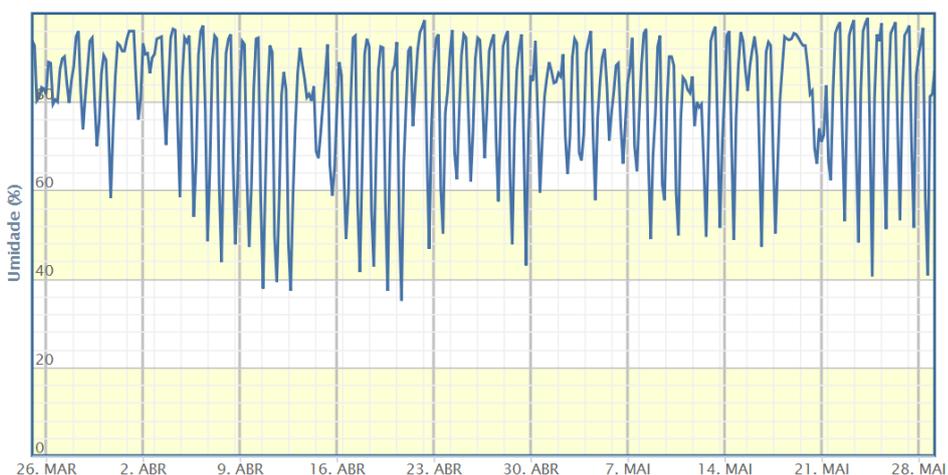
Fonte: INMET (2018).

Gráfico 6 - Temperatura do período de exposição



Fonte: INMET (2018).

Gráfico 7 - Umidade do período de exposição



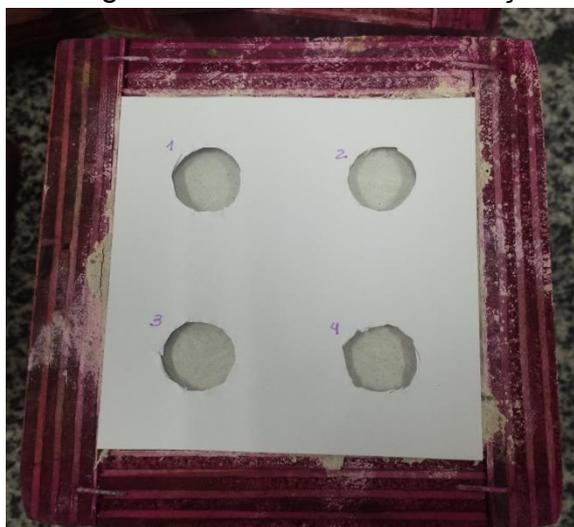
Fonte: INMET (2018).

4.7.2 Espectrofotometria

O ensaio de espectrofotometria ocorreu com o uso de um espectrofotômetro capaz de medir a absorção ou transmissão de luz de um material ou composto de uma solução. As leituras das amostras devem ser realizadas em, no mínimo, três pontos. Para tanto, um gabarito deve ser feito a fim de ter-se certeza da posição das medições. Para o presente estudo, foram realizadas quatro medições por amostra, como mostra a Fotografia 11. O equipamento deve ser encostado em cada furo do gabarito, que deve ter diâmetro em torno de 1 cm, e o botão de leitura deve ser acionado, realizando-se a medição. O modelo do espectrofotômetro portátil utilizado está apresentado na Fotografia 12, o qual consiste no CM-2500d da marca Konica

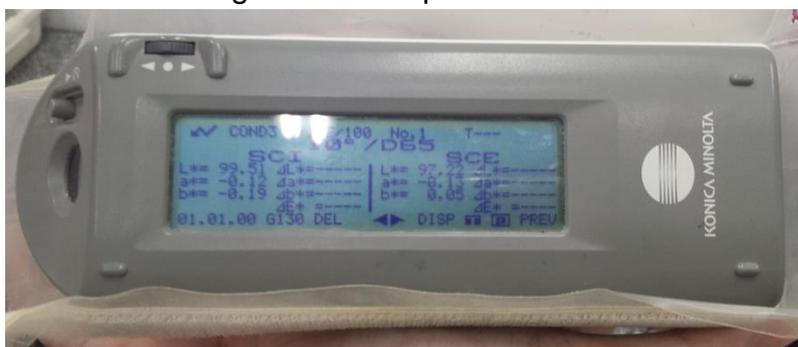
Minolta, pertencente ao NORIE/UFRGS. Foram realizados três ensaios, antes da aplicação do azul de metileno, logo após a aplicação e ao final da exposição.

Fotografia 11 - Gabarito de medição



Fonte: Registrada pela autora.

Fotografia 12 - Espectrofotômetro



Fonte: Registrada pela autora.

Após a realização dos ensaios, foram calculadas as variações de cor (ΔE) de cada fachada e inclinação a partir das leituras $L^*a^*b^*$ das amostras. Para calculá-las foi utilizada a equação 1. (DIAMANTI; ORMELLESE; PEDEFERRI, 2008).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

ΔE = variação de cor;

ΔL^* = $L^*_{\text{final}} - L^*_{\text{inicial}}$;

Δa^* = $a^*_{\text{final}} - a^*_{\text{inicial}}$;

Δb^* = $b^*_{\text{final}} - b^*_{\text{inicial}}$.

5 RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados de todos os ensaios realizados no presente trabalho.

5.1 Ensaio de Consistência

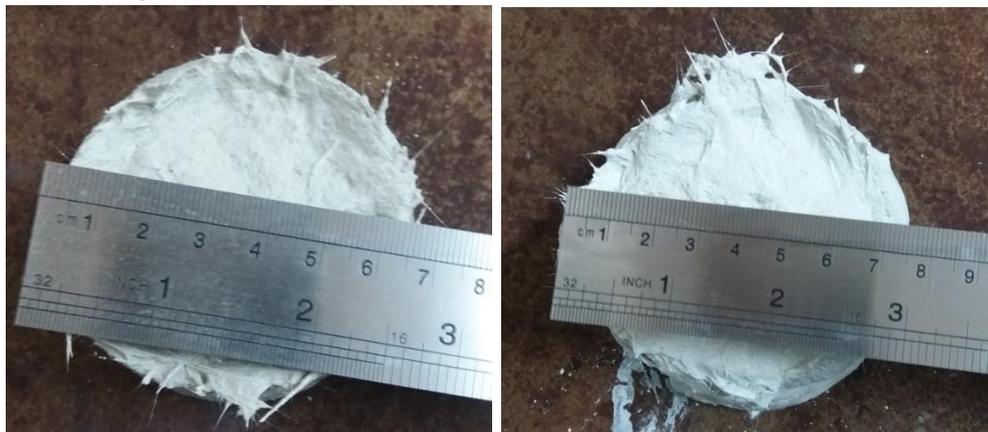
Os resultados encontrados nas avaliações do espalhamento dos diferentes traços estão apresentados na Tabela 3, e a Fotografia 13 apresenta os espalhamentos encontrados em cada traço.

Tabela 3 - Resultados dos espalhamentos das misturas confeccionadas

| Traço | REF | 3% | 5% | 7% |
|------------|--------|--------|------|--------|
| Abatimento | 6,5 cm | 7,5 cm | 9 cm | 9,5 cm |

Fonte: Elaborada pela autora.

Fotografia 13 - Espalhamentos das misturas confeccionadas



a) Traço REF

b) Traço 3%



c) Traço 5%

d) Traço 7%

Fonte: Registrada pela autora.

Os resultados mostram um comportamento linear entre o aumento do teor de TiO_2 e os espalhamentos, porém o aumento dos espalhamentos não foi muito expressivo. A utilização de fibras na mistura não permite um espalhamento significativo, já que estas diminuem a trabalhabilidade das misturas de concreto. (MARKOVIĆ, 2006). Por esse motivo, não se pôde avaliar a inserção do TiO_2 com certeza nesta propriedade. As misturas de Treviso (2016), de argamassa, não obtiveram variações nos resultados de consistência com a variação do teor de TiO_2 .

5.2 Ensaio de Resistência à Compressão Axial

A Tabela 4 apresenta a média dos resultados dos ensaios de compressão axial, realizados aos 7 e aos 28 dias, bem como seus desvios padrão e seus coeficientes de variação.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial

| Traço | 7 dias | | | | | | 28 dias | | | | | |
|-------|------------------|-------|------|-------------|----------|--------|------------------|-------|-------|-------------|----------|--------|
| | Resultados (MPa) | | | Média (MPa) | DP (MPa) | CV (%) | Resultados (MPa) | | | Média (MPa) | DP (MPa) | CV (%) |
| REF | 88,0 | 93,1 | 90,1 | 90,4 | 2,5 | 2,8 | 66,2 | 114,1 | 118,1 | 99,4 | 28,9 | 29,0 |
| 3% | 99,5 | 90,6 | 89,4 | 93,2 | 5,5 | 5,9 | 100,3 | 118,3 | 83,5 | 100,7 | 17,4 | 17,3 |
| 5% | 100,4 | 105,2 | 98,7 | 101,4 | 3,4 | 3,3 | 120,0 | 96,1 | 117,5 | 111,2 | 13,1 | 11,8 |
| 7% | 89,4 | 96,3 | 96,2 | 94,0 | 3,9 | 4,2 | 110,1 | 121,8 | 112,2 | 114,7 | 6,2 | 5,4 |

Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados apresentaram um crescimento relativamente constante à medida que o teor de TiO_2 aumenta. Nota-se que os traços contendo esse material obtiveram resultados superiores quando comparados com o traço referência, assim como apresentou o estudo de Treviso (2016) em argamassa. Isso ocorre porque o TiO_2 pode apresentar efeito filer, por ser um material muito fino, preenchendo os possíveis poros existentes na matriz do GRC. (AUSTRIA, 2015; FOLLI, 2010). Nota-se, também, que os desvios padrão dos corpos de prova foram altos, principalmente nos traços REF e com adição de 3% de TiO_2 . O traço de maior resistência foi o traço com 7% de TiO_2 .

5.3 Ensaio de Resistência a Tração na Flexão

A Tabela 5 apresenta a média dos resultados dos ensaios de tração na flexão, realizados aos 7 e aos 28 dias, bem como seus desvios padrão e seus coeficientes de variação.

Tabela 5 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão

| Traço | 7 dias | | | | | | 28 dias | | | | | |
|-------|------------------|------|------|-------------|----------|--------|------------------|------|------|-------------|----------|--------|
| | Resultados (MPa) | | | Média (MPa) | DP (MPa) | CV (%) | Resultados (MPa) | | | Média (MPa) | DP (MPa) | CV (%) |
| REF | 17,9 | 17,8 | 15,3 | 17,0 | 1,4 | 8,5 | 19,6 | 18,3 | 19,7 | 19,2 | 0,8 | 4,1 |
| 3% | 17,8 | 16,5 | 20,8 | 18,4 | 2,2 | 12,1 | 20,2 | 19,4 | 19,6 | 19,7 | 0,4 | 2,1 |
| 5% | 17,7 | 18,2 | 17,8 | 17,9 | 0,2 | 1,3 | 18,1 | 20,3 | 18,5 | 18,9 | 1,2 | 6,2 |
| 7% | 15,5 | 17,8 | 17,4 | 16,9 | 1,3 | 7,4 | 21,4 | 20,8 | 18,3 | 20,2 | 1,7 | 8,1 |

Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados deste ensaio mostraram-se pouco variáveis, apresentando resultados maiores para os traços com adição de TiO_2 quando comparados com o traço referência, também condizente com o estudo de Treviso (2016). Para este ensaio, aos 28 dias, o traço com 7% de TiO_2 também foi o que obteve maior resistência.

5.4 Avaliação Visual da Recuperação da Cor

Esta análise foi realizada visualmente, comparando-se, fotograficamente, as placas durante o período de exposição. As imagens comparativas estão apresentadas a seguir. A diferença de tonalidade da cor das amostras, logo após as moldagens, já pôde ser percebida visualmente, como mostra a Fotografia 14, apresentando um aumento na brancura dos corpos de prova com o aumento da inserção de TiO_2 , dado que este é um pigmento branco.

Fotografia 14 - Diferença de tonalidade das amostras

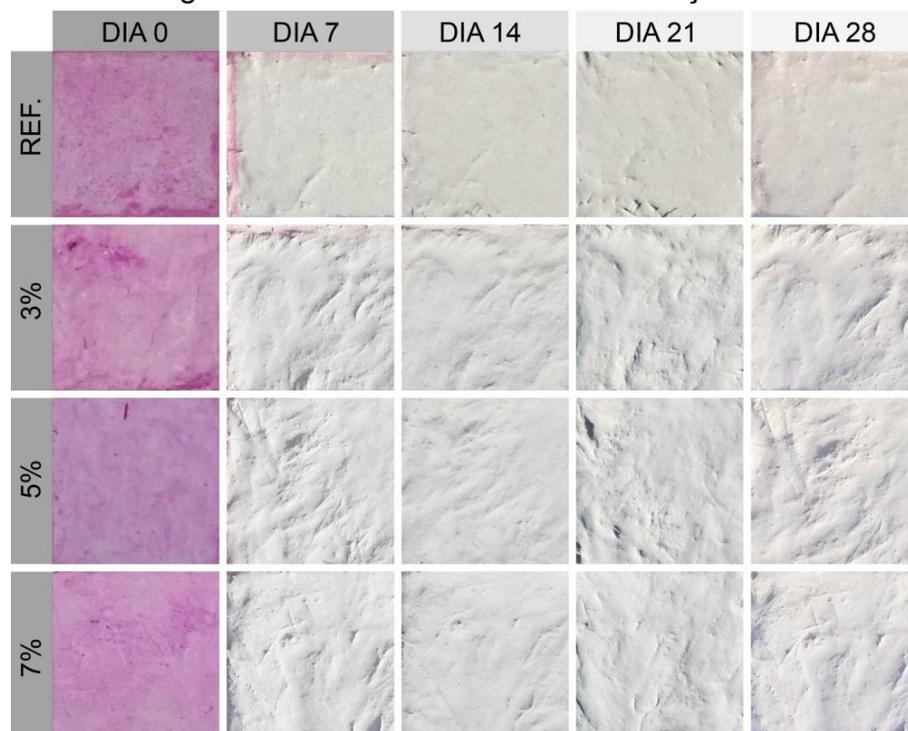


Fonte: Registrada pela autora.

5.4.1 Rodamina B

As Fotografias 15 a 26 apresentam as imagens do processo da autolimpeza da Rodamina B. É importante citar que houve precipitação entre o dia 0 e o dia 7, podendo a limpeza inicial ter sido realizada também por lavagem da chuva.

Fotografia 15 - Fachada norte na inclinação de 0°



Fonte: Registrada pela autora.

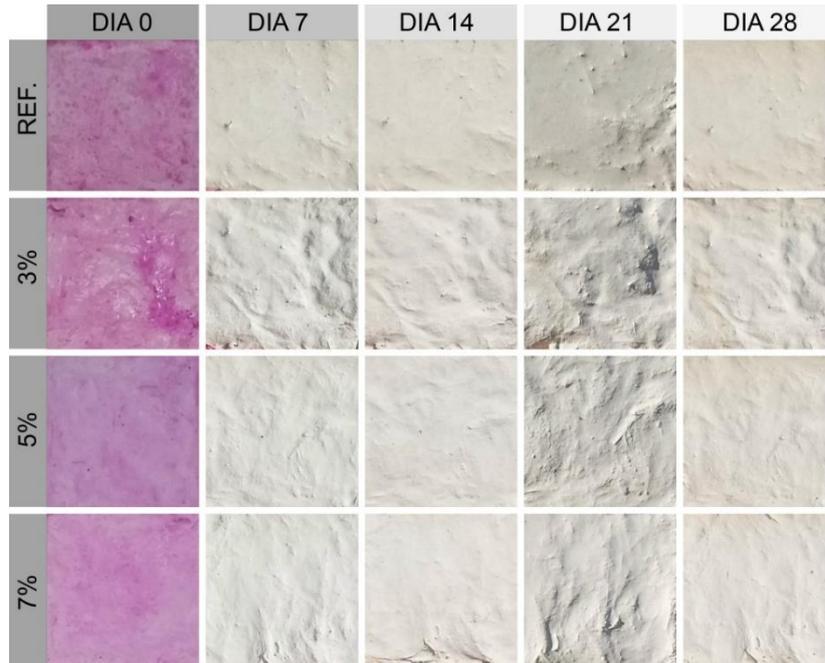
Pode-se notar que, aos 7 dias, o traço referência ainda continha corante em sua superfície, principalmente nas bordas. Nos outros traços, também foi possível notar um leve resquício do corante em suas bordas, o qual ficou imperceptível nas fotos. A partir dos 14 dias, todos os traços já estavam limpos.



Fonte: Registrada pela autora.

Na orientação norte e inclinação de 45°, aos 7 dias, todas as placas continham pouquíssimo manchamento e, a partir dos 14 dias, já estavam limpas.

Fotografia 17 - Fachada norte na inclinação de 90°



Fonte: Registrada pela autora.

Na orientação norte e inclinação de 90°, também aos 7 dias, todas as placas apresentaram poucos resquícios do corante nos cantos e, nos dias subsequentes, já estavam limpas.

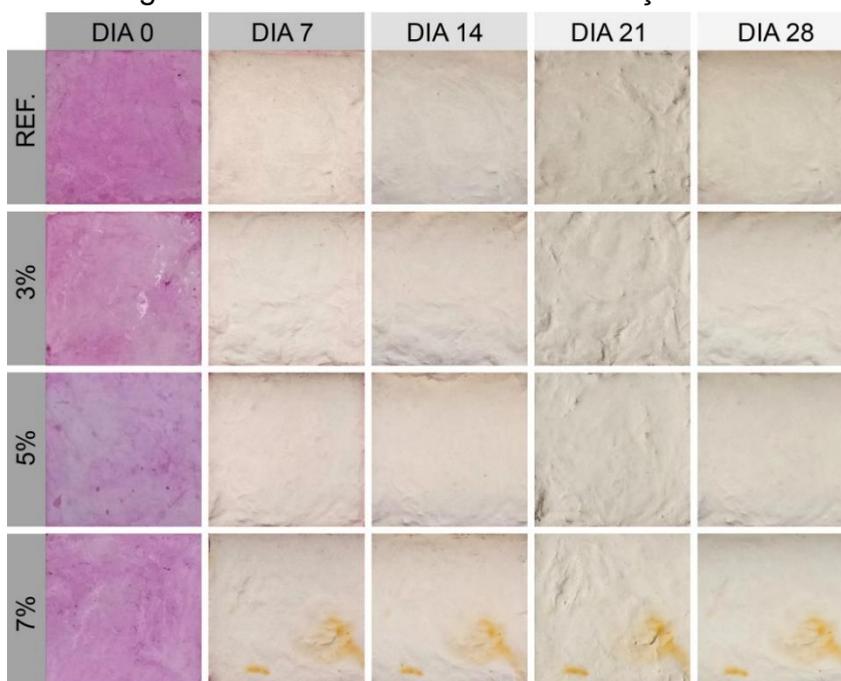
Fotografia 18 - Fachada leste na inclinação de 0°



Fonte: Registrada pela autora.

Aos 7 dias, todas as placas continham pouquíssimo manchamento nas bordas e, aos 14 dias, todas já estavam limpas nesta orientação e inclinação.

Fotografia 19 - Fachada leste na inclinação de 45°



Fonte: Registrada pela autora.

Aos 7 dias, esta orientação e inclinação apresentou levíssimo resquício de manchamento na borda das placas, tornando-se totalmente limpas dos 14 dias em diante. A placa do traço com 7% de TiO_2 , assim como outra que aparecerá posteriormente, foi imersa no corante em uma forma de ferro. Essa forma já estava em processo de oxidação, manchando a placa com ferrugem. A mancha de ferrugem não foi degradada pelo TiO_2 , como esperado, visto que, em estudos como o de Diamanti et al. (2013), que também realizou avaliações em GRC autolimpante, foi observado que a ferrugem diminuía a capacidade autolimpante do material, porque a ferrugem não é orgânica e sabe-se que o TiO_2 tem capacidade de degradar somente sujeiras orgânicas. (BEELDENS, 2006).

Fotografia 20 - Fachada leste na inclinação de 90°



Fonte: Registrada pela autora.

A placa do traço referência, aos 7 dias, apresentou manchamento somente nas bordas, porém razoavelmente forte, e os demais apresentaram pouquíssimo manchamento nas bordas. Nos dias subsequentes, já não havia mais manchas.

Fotografia 21 - Fachada oeste na inclinação de 0°



Fonte: Registrada pela autora.

A placa do traço referência apresentou forte manchamento nas bordas aos 7 dias, e os demais traços já estavam praticamente todos limpos, com manchas imperceptíveis nas fotos. Nos dias que se seguiram, já estavam totalmente limpas.

Fotografia 22 - Fachada oeste na inclinação de 45°



Fonte: Registrada pela autora.

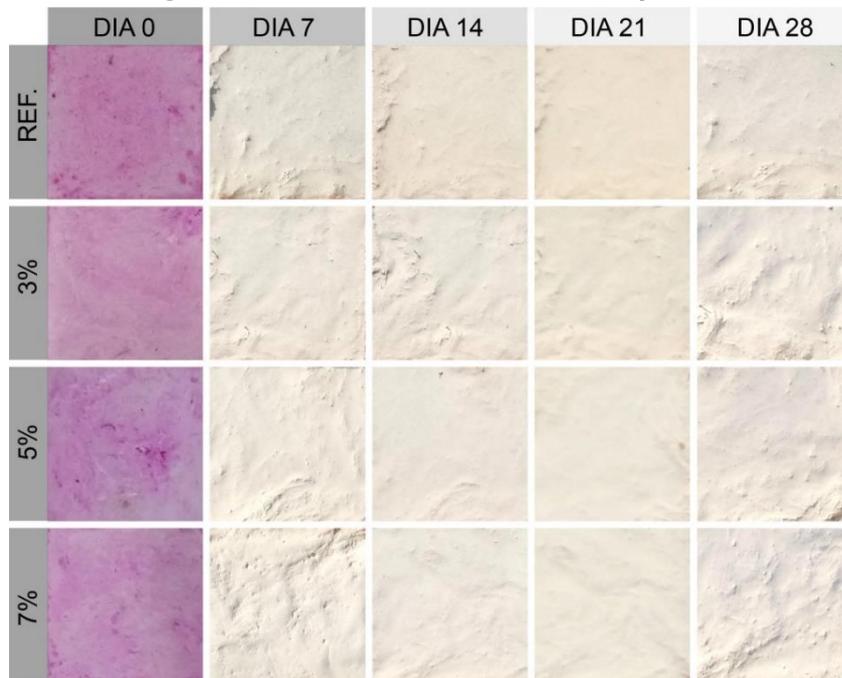
Aos 7 dias, somente a placa do traço referência apresentou mancha do corante, sendo ela forte e somente nas bordas.



Fonte: Registrada pela autora.

Aos 7 dias, os traços referência, 3% e 5% apresentaram manchamento levíssimo nas bordas, e o traço com 7% apresentou, nas bordas, um manchamento um pouco mais forte que os demais. Esse resultado pode ter ocorrido, pois a posição da placa com 7% de TiO_2 não estava em uma posição favorável à incidência solar. Nos dias que se seguiram, todas já estavam limpas.

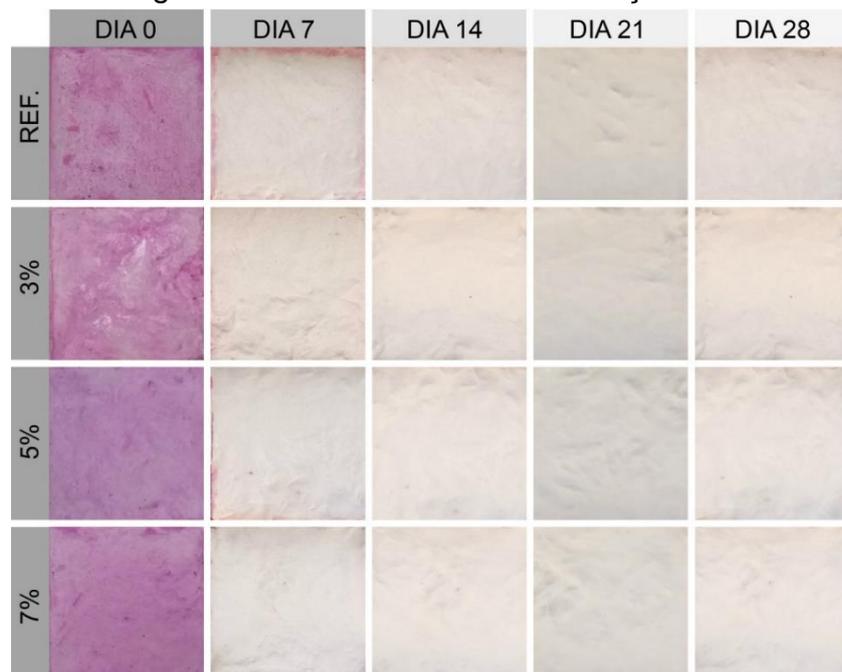
Fotografia 24 - Fachada sul na inclinação de 0°



Fonte: Registrada pela autora.

Nesta orientação e inclinação, todos os traços apresentaram leve manchamento nas bordas aos 7 dias, imperceptíveis nas fotos, sendo o manchamento restante nos traços referência e 3% minimamente mais forte que os demais. A partir dos 14 dias, notou-se que todas as placas já estavam limpas.

Fotografia 25 - Fachada sul na inclinação de 45°



Fonte: Registrada pela autora.

Aos 7 dias, os traços referência, 3% e 5% apresentaram bordas com fracas manchas, sendo as manchas da referência um pouco mais fortes. Essas manchas já não existiam mais a partir dos 14 dias.



Fonte: Registrada pela autora.

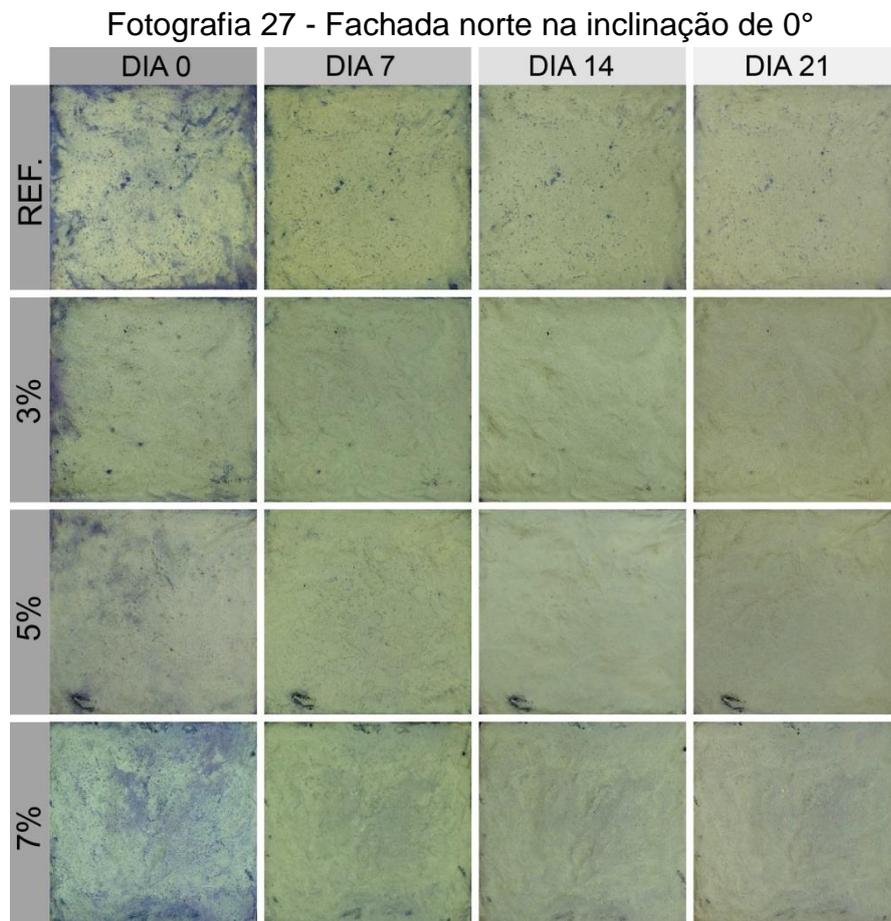
Somente os traços referência e 3% apresentaram manchas aos 7 dias, sendo elas fracas, e os demais já estavam limpos. Como explanado anteriormente, a placa do traço 7% também foi imersa no corante em forma já oxidada, gerando uma mancha de ferrugem que não foi degradada pelo TiO_2 .

É importante afirmar que o corante Rodamina B decompõe-se espontaneamente, mesmo sem a presença de um catalisador. (TREVISO, 2016). Por esse motivo, pode-se notar a limpeza desse corante nas placas que não possuem adição de TiO_2 em sua mistura. Além disso, a lavagem pela água da chuva pode ter sido um grande facilitador da sua limpeza.

Comparando os resultados aos 7 dias, visualmente, é possível perceber que o traço de 5% e 7% já estavam praticamente limpos restando resquícios de sujeira somente nos traços REF e 3%. Em relação às inclinações, no geral percebe-se que a inclinação de 45° forneceu maior limpeza às peças, e em relação às fachadas, norte e leste foram as orientações com maior limpeza.

5.4.2 Azul de Metileno

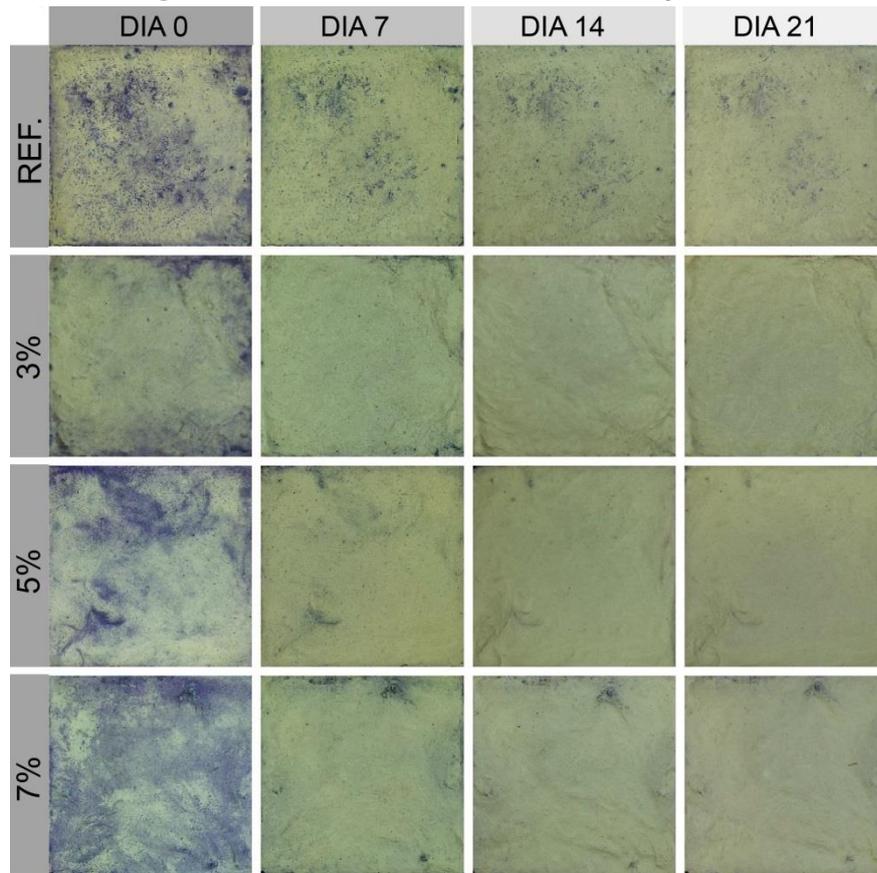
As Figuras 27 a 38 apresentam as imagens do processo da autolimpeza do azul de metileno. Não houve precipitação entre o dia 0 e o dia 7, somente entre os dias 7 e 21, sendo a limpeza dos primeiros 7 dias inteiramente pela reação com os raios UV com o TiO_2 , ou seja, não houve influência da chuva. Nenhuma placa estava totalmente branca aos 21 dias.



Fonte: Registrada pela autora.

Nota-se degradação do corante já na primeira semana, sendo esta mais rápida nesse período. Já nos dias subsequentes, a degradação continuou de forma mais lenta. Isso ocorreu em todas as orientações e inclinações. Aos 21 dias, o traço referência ainda apresentava manchamento bem visível do corante, e os demais apresentaram leve tom arroxeadado em pequenos pontos mais rugosos das placas.

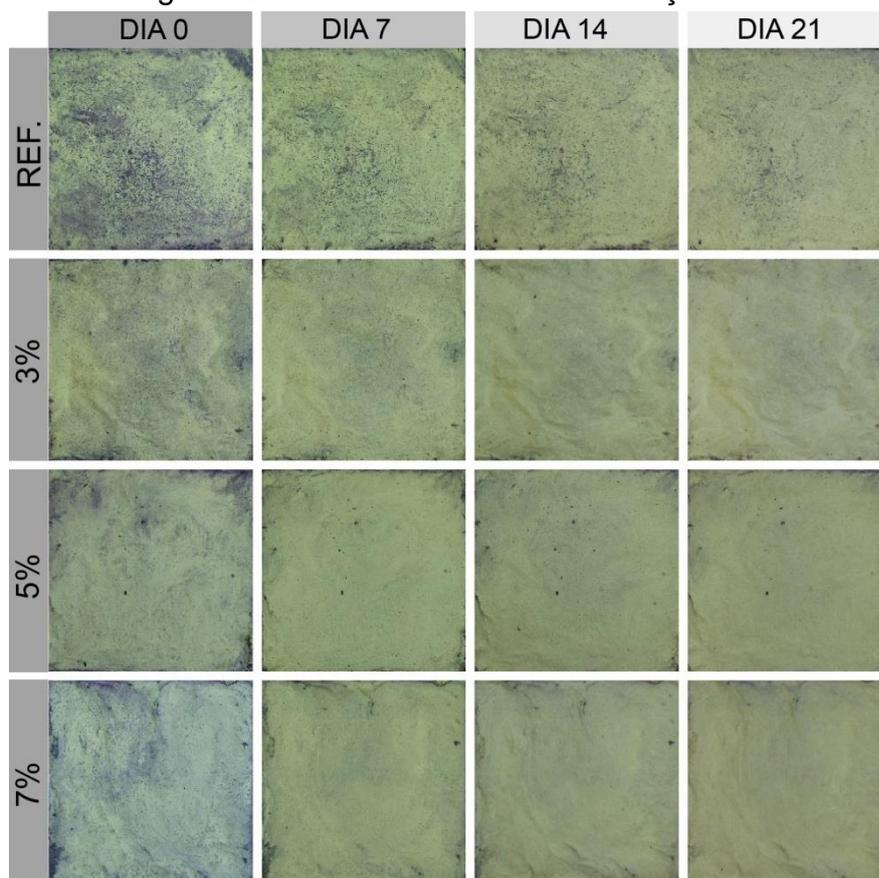
Fotografia 28 - Fachada norte na inclinação de 45°



Fonte: Registrada pela autora.

Esta inclinação apresentou grande variação visual de cor, degradando boa parte do corante, em todos os traços, já aos 7 dias. O traço REF ainda possuía manchas do corante aos 21 dias, e os demais apresentaram poucos pontos ainda em tom arroxeado.

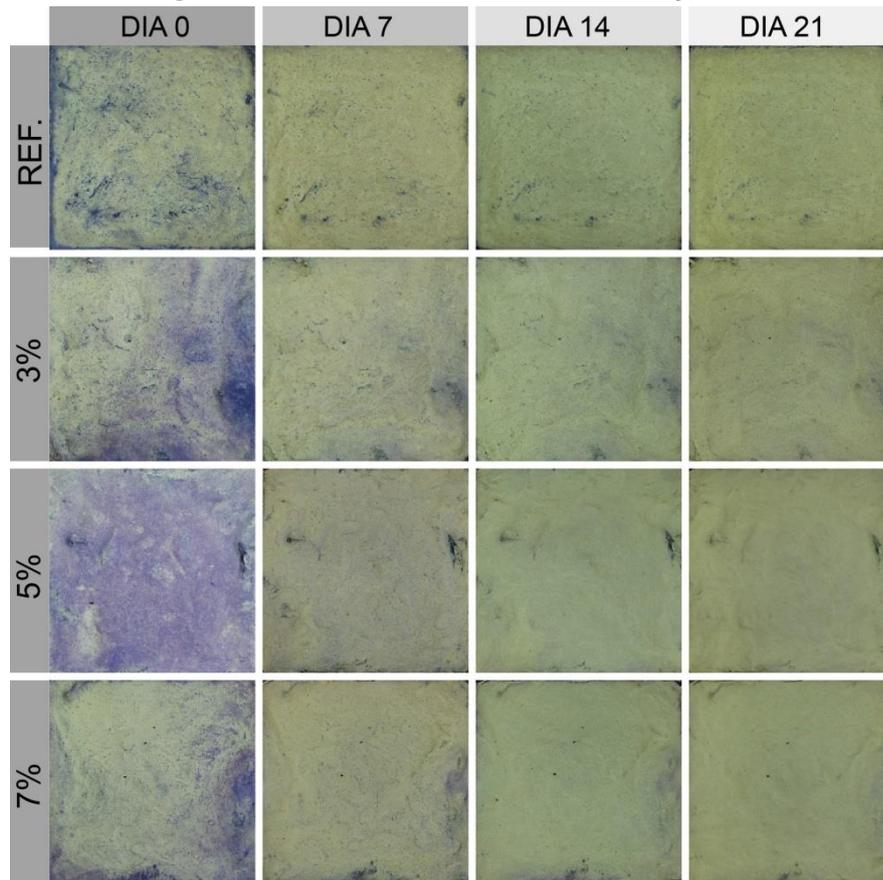
Fotografia 29 - Fachada norte na inclinação de 90°



Fonte: Registrada pela autora.

Assim como os anteriores, a maior variação de cor deu-se até os 7 dias e, após esse período, ocorreu mais lentamente. O traço REF ainda apresentava parte do manchamento visível, e os demais continham poucos pontos com leve manchamento.

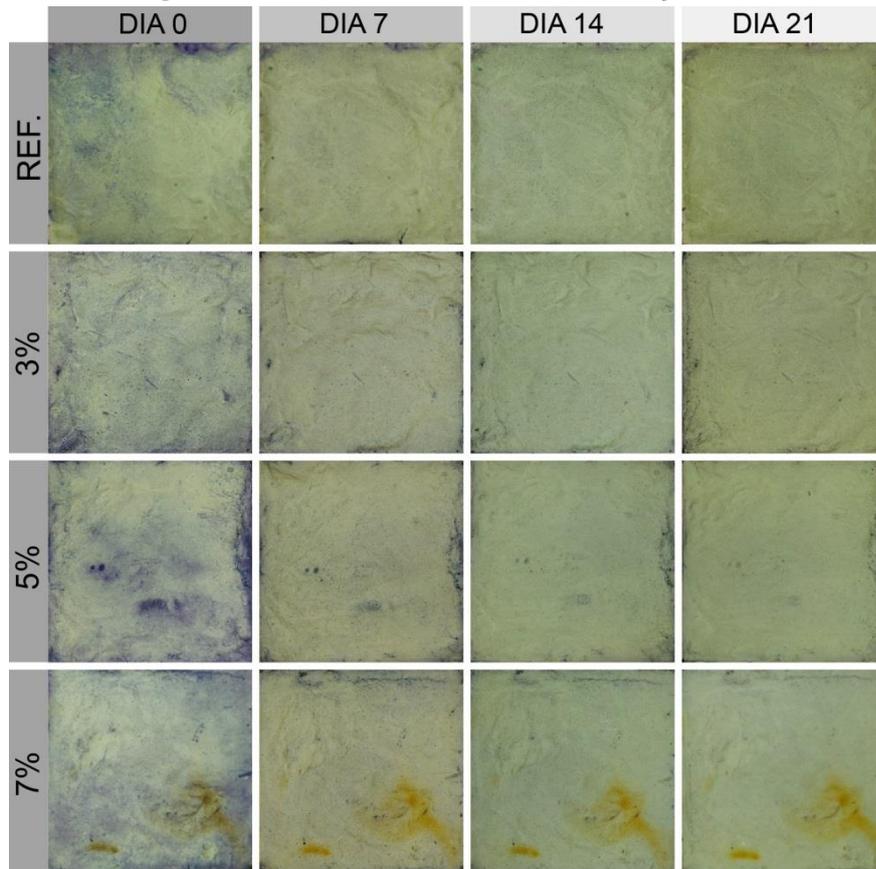
Fotografia 30 - Fachada leste na inclinação de 0°



Fonte: Registrada pela autora.

Nota-se maior limpeza na primeira semana de exposição, restando pouco manchamento no traço REF e poucos pontos ainda com corante nos demais, em locais com maior rugosidade. No geral, as placas de 3%, 5% e 7% já estavam praticamente brancas aos 21 dias.

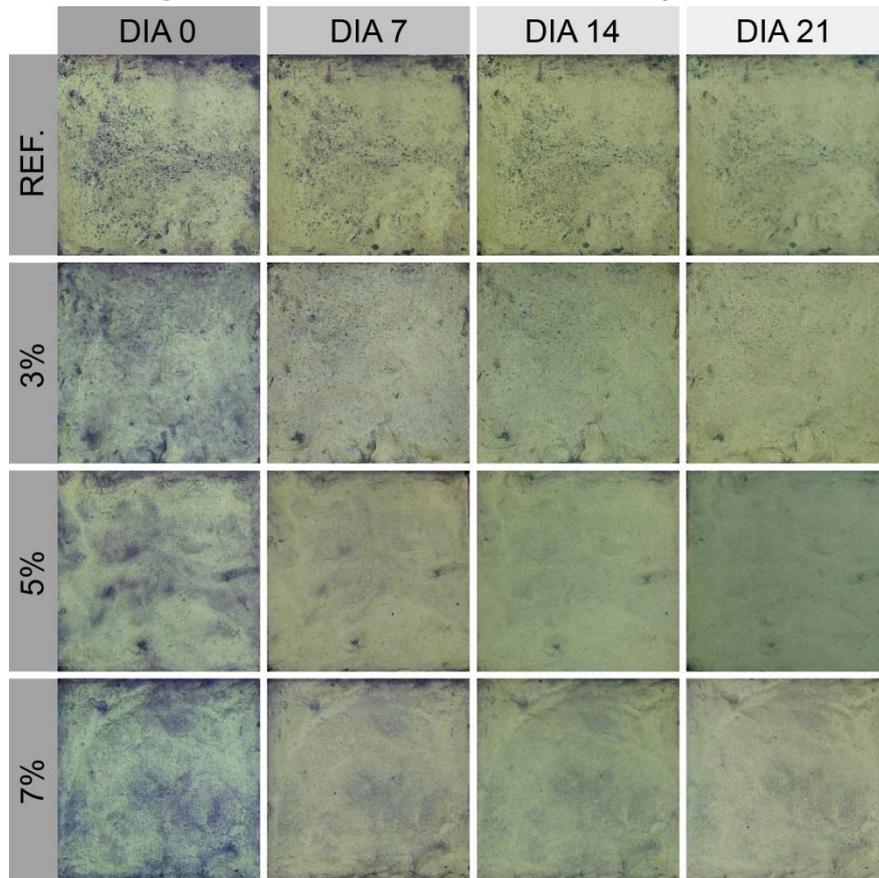
Fotografia 31 - Fachada leste na inclinação de 45°



Fonte: Registrada pela autora.

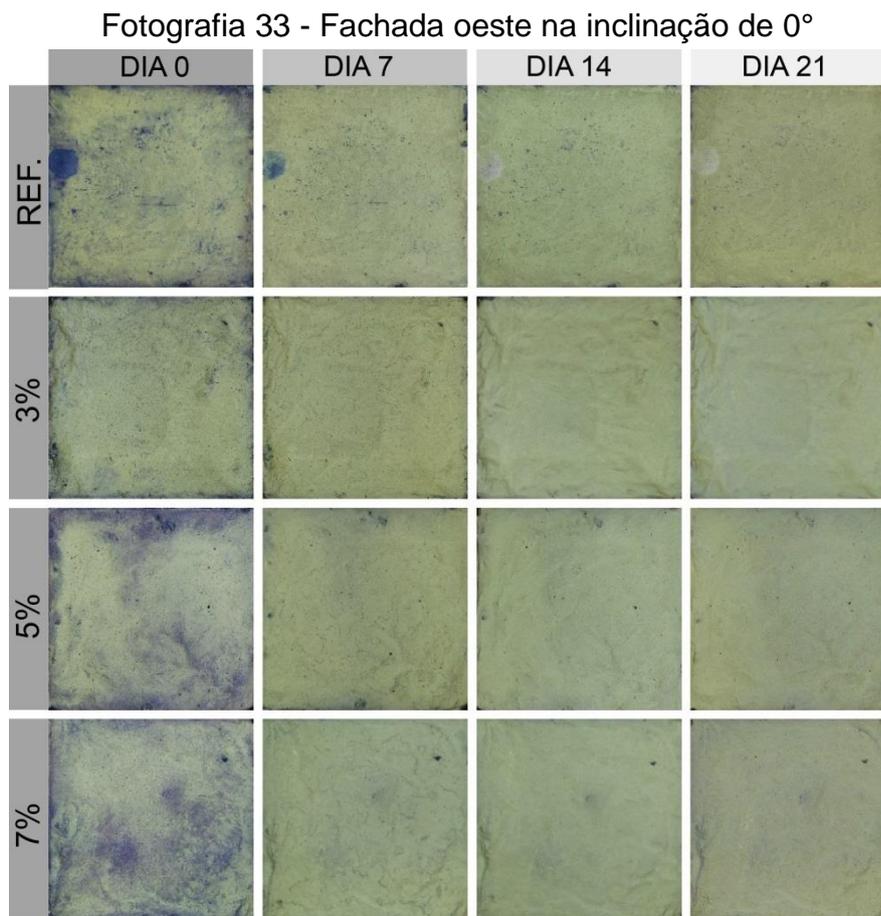
Nesta inclinação, todas as placas estavam praticamente limpas aos 21 dias. Poucos pontos mais rugosos ainda possuíam fraca coloração roxa. No traço 7%, é possível visualizar a mancha de ferrugem não degradada.

Fotografia 32 - Fachada leste na inclinação de 90°



Fonte: Registrada pela autora.

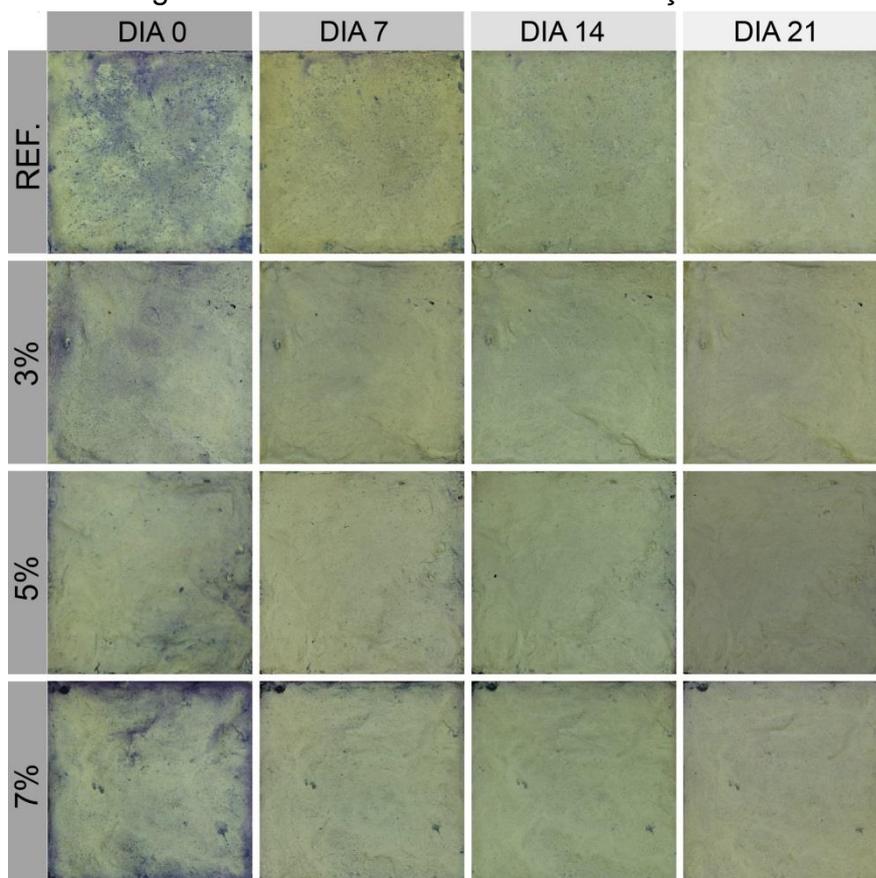
É possível perceber resquícios do corante em todos os traços aos 21 dias, mesmo sendo esta fachada uma das que recebe maior incidência solar.



Fonte: Registrada pela autora.

Nesta orientação, a placa de traço REF, como pode ser visualizado na imagem, apresenta uma mancha circular que absorve mais corante que o restante da superfície. Essa mancha já foi percebida na aplicação do corante Rodamina B, mas não foi visível nas fotos. Esse ponto pode ser um grande acúmulo de TiO_2 , tendo um comportamento diferente do restante da superfície, ficando mais claro após a degradação do corante. O traço REF foi o que apresentou maior resquício de manchamento, porém as outras placas ainda possuíam tonalidades arroxeadas em pontos mais rugosos.

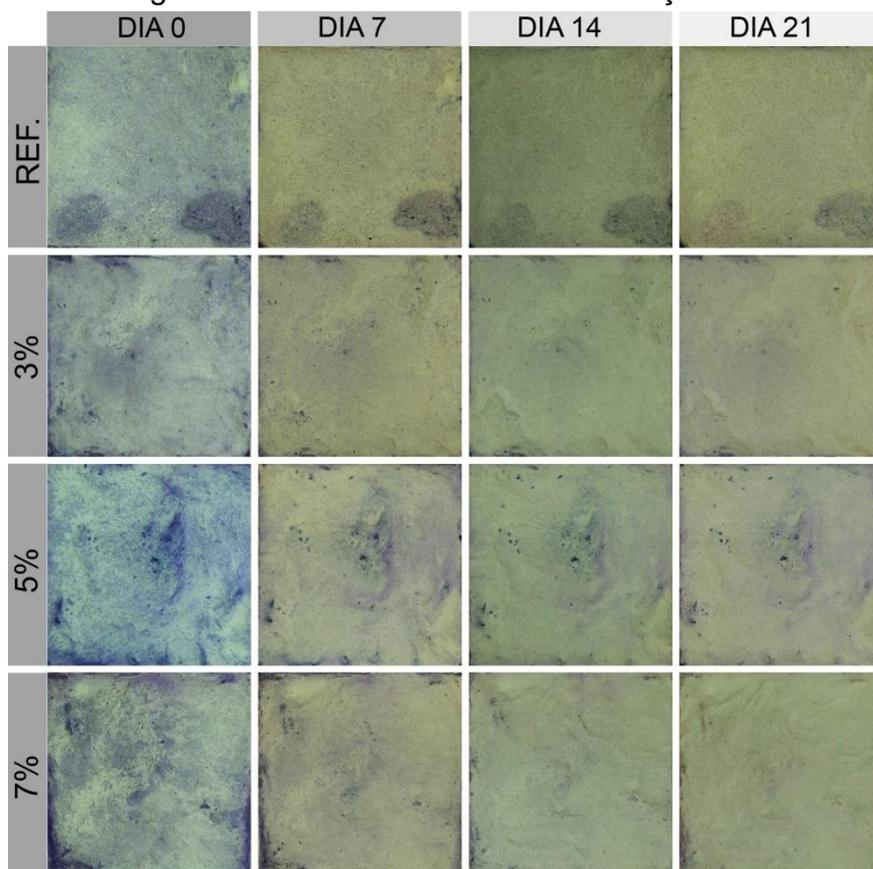
Fotografia 34 - Fachada oeste na inclinação de 45°



Fonte: Registrada pela autora.

Os traços REF e 5% ainda apresentavam manchamento razoavelmente forte aos 21 dias, e os demais somente tinham tonalidades arroxeadas em alguns pontos.

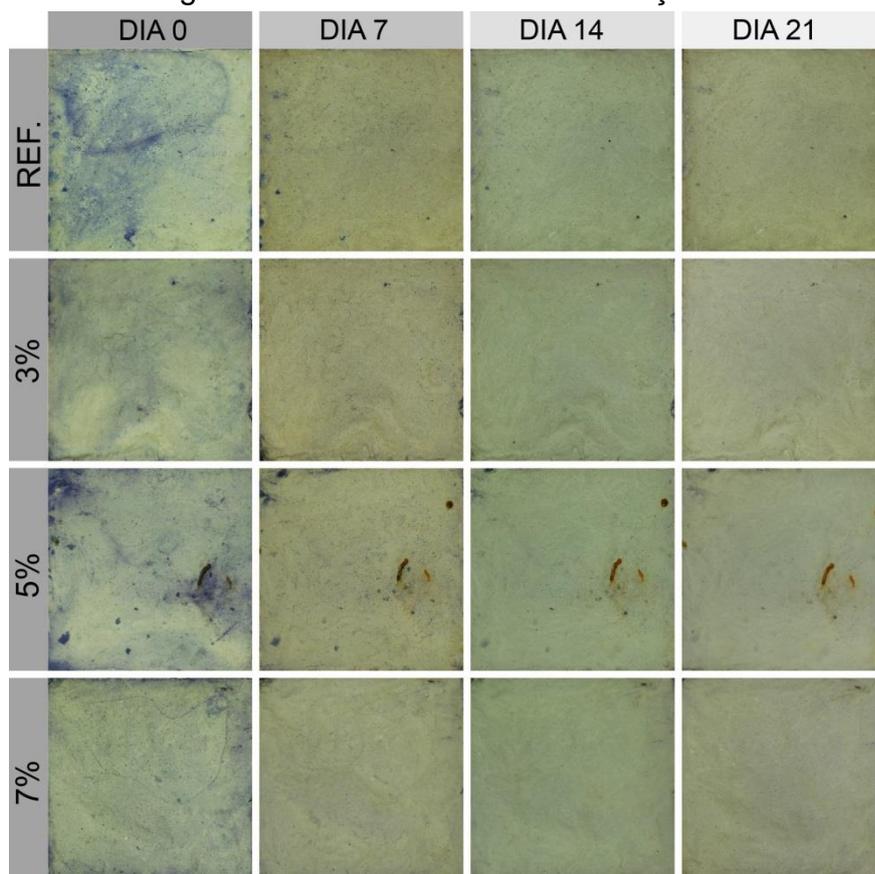
Fotografia 35 - Fachada oeste na inclinação de 90°



Fonte: Registrada pela autora.

Assim como os demais, todos os traços apresentavam tonalidades do corante em alguns pontos, porém os traços REF e 5% destacaram-se por terem manchas um pouco mais fortes.

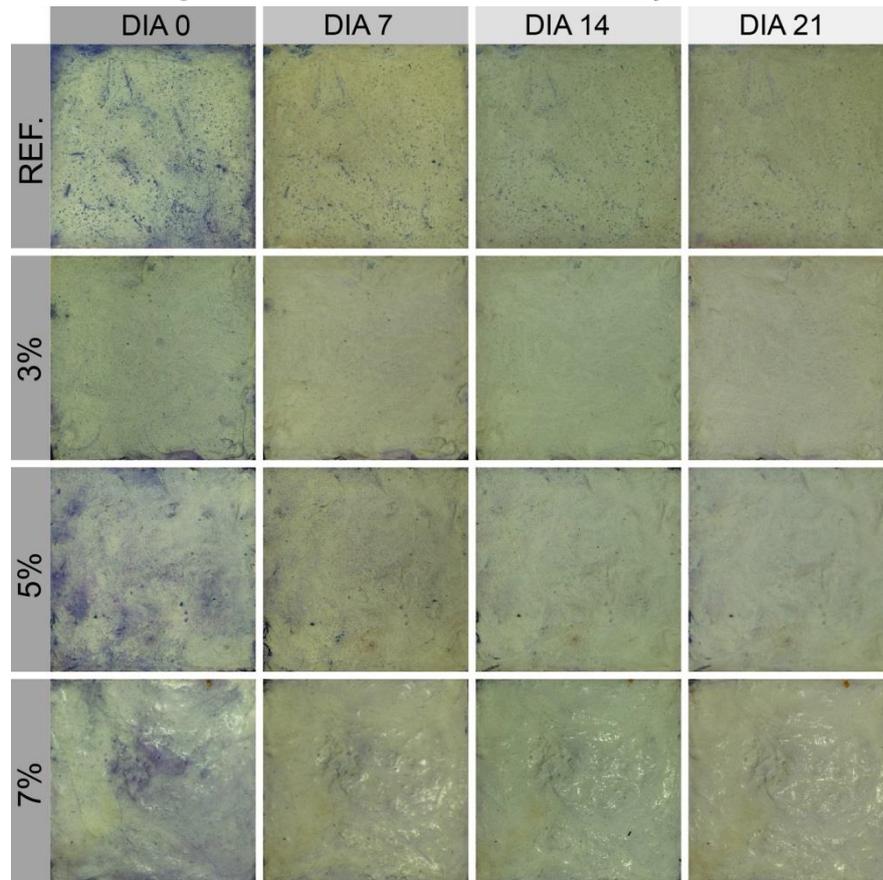
Fotografia 36 - Fachada sul na inclinação de 0°



Fonte: Registrada pela autora.

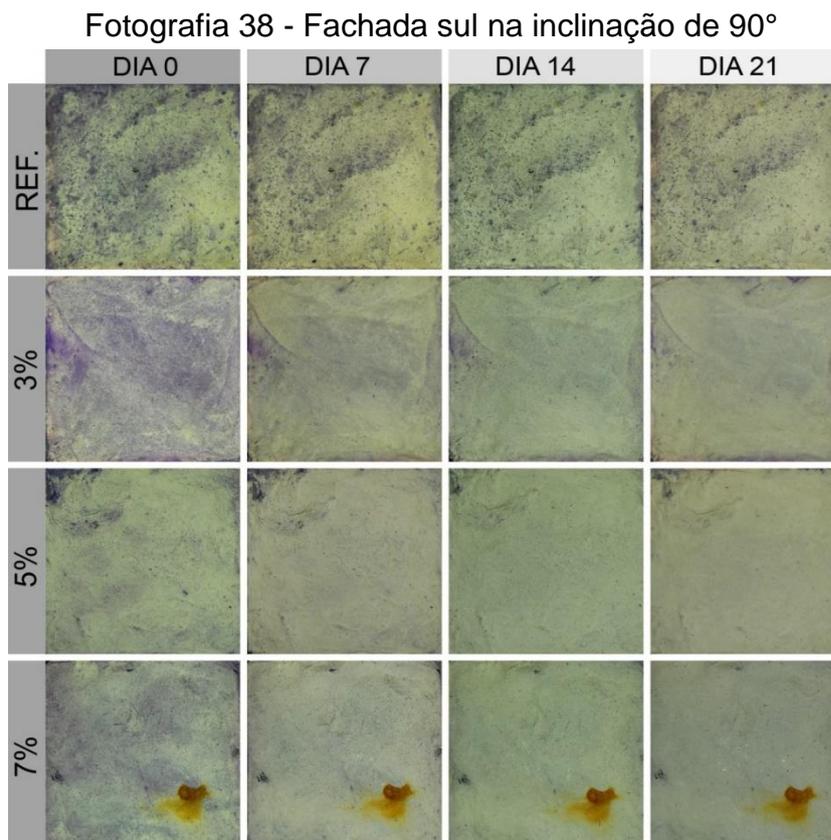
Nesta orientação, é possível perceber que as placas com 5% e 7% foram as que tinham resquícios mais visíveis do manchamento, porém as outras também não estavam totalmente brancas. Foi realizada uma nova mancha de ferrugem, na placa com o traço 5%, que não se degradou.

Fotografia 37 - Fachada sul na inclinação de 45°



Fonte: Registrada pela autora.

As placas de traços 3% e 5% foram as que ainda tinham manchas mais visíveis do corante, e as demais algumas tonalidades arroxeadas.



Fonte: Registrada pela autora.

A placa do traço REF desta orientação foi a que obteve pior resultado, pois degradou pouquíssimo o manchamento, restando fortes manchas do corante aos 21 dias. Os traços 3% e 7% ainda tinham pequenas manchas do corante, e o traço com 5%, algumas tonalidades mais roxas. Nota-se também que a mancha de ferrugem do traço 7% novamente não foi degradada.

É possível perceber que, nas placas não autolimpantes, ocorreu degradação do corante. A limpeza dessas placas pode ter ocorrido, inicialmente, porque, assim como a Rodamina B, o azul de metileno não necessita de um catalisador para decompor-se. (MARANHÃO, 2009). Posteriormente, pode ter sido lixiviado pela água da chuva, que ocorreu a partir da segunda semana de exposição.

Em relação aos teores de TiO_2 , o de 7% apresentou maior variação visual de cor, sendo este o teor mais eficiente para autolimpeza visual. Já em relação às fachadas e inclinações, as fachadas norte e leste apresentaram melhor limpeza em relação às outras fachadas, principalmente para as inclinações de 0° e 45°, o que condiz com a literatura. A inclinação de 45° se mostrou visualmente mais eficiente, pois, além de receber maior incidência de raios UV, possibilitou o escoamento da água da chuva por sua superfície, aspecto que não era possível pela inclinação de

0°. A inclinação de 90° além de não receber luz solar durante todo o período do dia, foi prejudicada pelo cavalete que não permitia o contato com a chuva caso esta fosse vertical, somente se esta fosse inclinada na direção das superfícies dispostas nesta inclinação.

5.5 Espectrofotometria

Esta medição ocorreu para uma avaliação mais precisa da cor das placas, verificando a diferença da tonalidade destas a partir das coordenadas $L^*a^*b^*$ e da variação de cor (ΔE) de acordo com o teor de dióxido de titânio, da orientação e da inclinação das placas. As coordenadas para uma cor branca são: $L^*= 100$, $a^*= 0$ e $b^*= 0$, ou seja, quando aplicado um manchamento na superfície do material analisado, a coordenada L^* diminui de valor e as coordenadas a^* e b^* aumentam (+) ou diminuem (-) de valor, dependendo da tonalidade do manchamento. À medida que a superfície degrada a mancha, as coordenadas tendem a voltar para o valor inicial. É importante lembrar que, inicialmente, as peças já não eram totalmente brancas, ou seja, a análise das coordenadas cromáticas a^* e b^* deve ser objetivando o retorno da coordenada final à inicial, e não a tendência a zero. Na próxima subseção deste trabalho, serão apresentados os gráficos das medições.

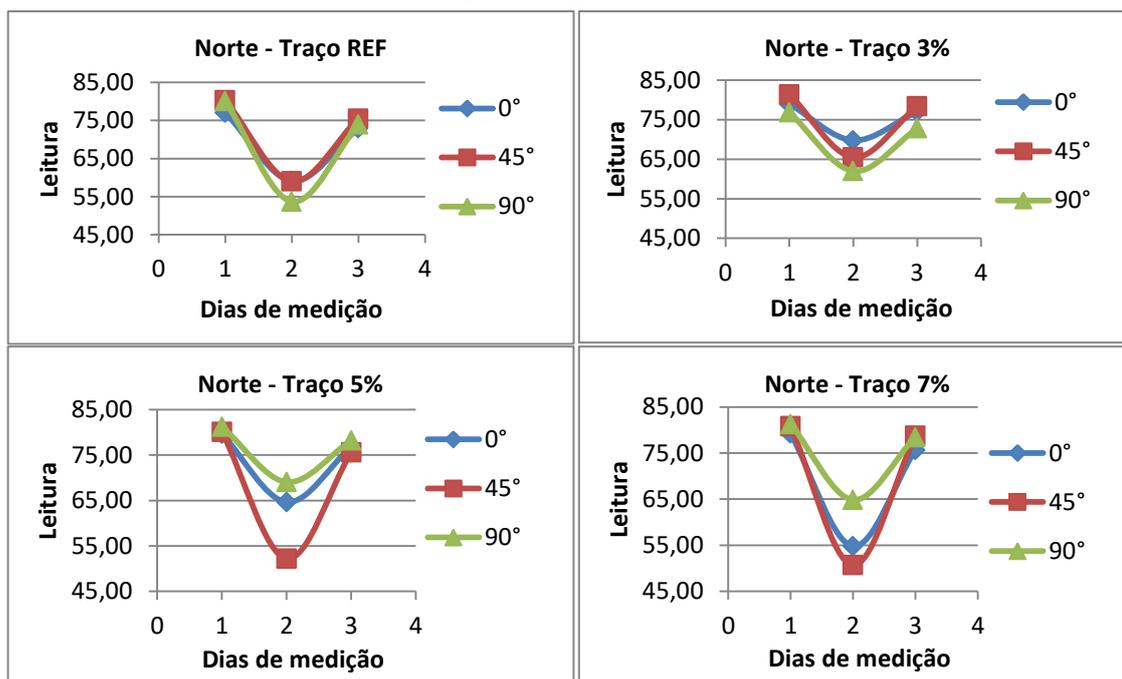
5.5.1 Coordenadas $L^*a^*b^*$

A seguir, serão apresentados os gráficos das coordenadas por traço, fachada e orientação. O eixo vertical dos gráficos indica a leitura do espectrofotômetro, e o eixo horizontal explicita os dias de leitura, sendo o dia 1 antes da aplicação do azul de metileno, o dia 2 logo após a aplicação e o dia 3 após os 21 dias de exposição.

a) Leitura L^*

Os Gráficos 8, 9, 10 e 11 apresentam, respectivamente, as leituras L^* das fachadas norte, leste, oeste e sul.

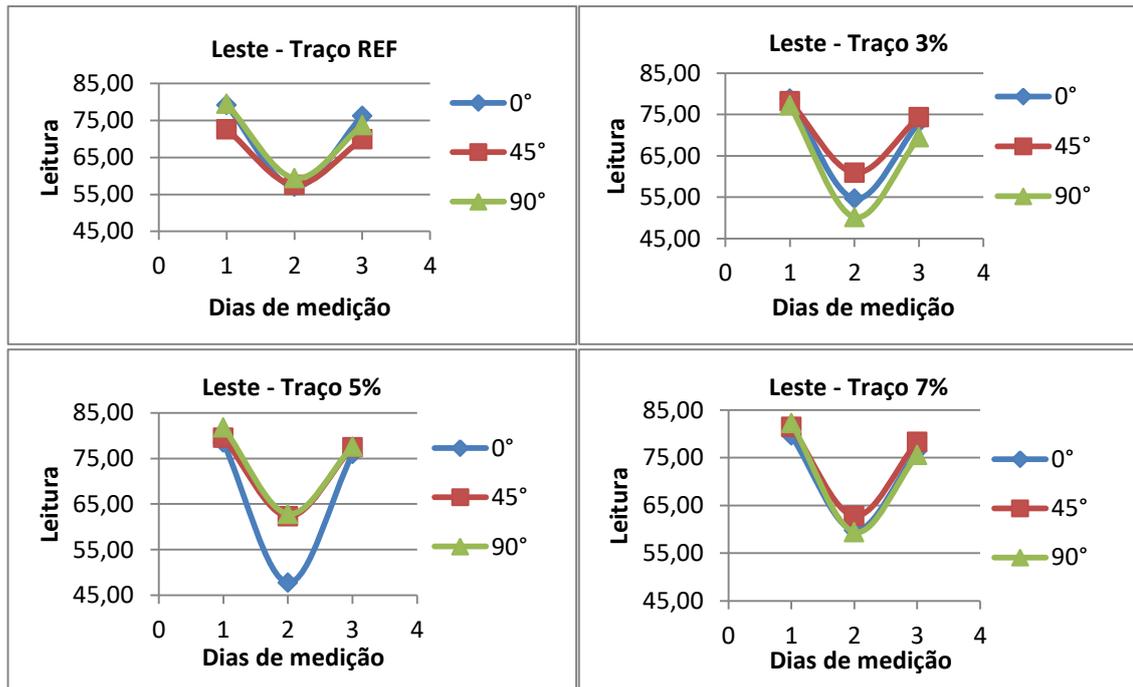
Gráfico 8 - Leitura L* da fachada norte



Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se que a luminosidade final das placas não conseguiu retornar ao seu estado inicial, porém evidencia-se aumento em relação à luminosidade medida no dia 2, logo após a aplicação do azul de metileno, ou seja, o manchamento foi degradado até certo ponto, não limpando totalmente, como pôde ser visto também pela análise visual. Deve-se considerar que o tempo de exposição foi curto, podendo o manchamento ter sido totalmente degradado caso as placas ficassem mais tempo em contato com o sol e a chuva. O melhor resultado desta análise foi o do traço 3% a 0°, pois seu resultado final ficou mais perto do inicial do que os demais, porém visualmente notou-se que a amostra do traço 3% na inclinação de 0° obteve um manchamento muito menor que as demais amostras, por este motivo sua limpeza pode ter sido mais evidenciada.

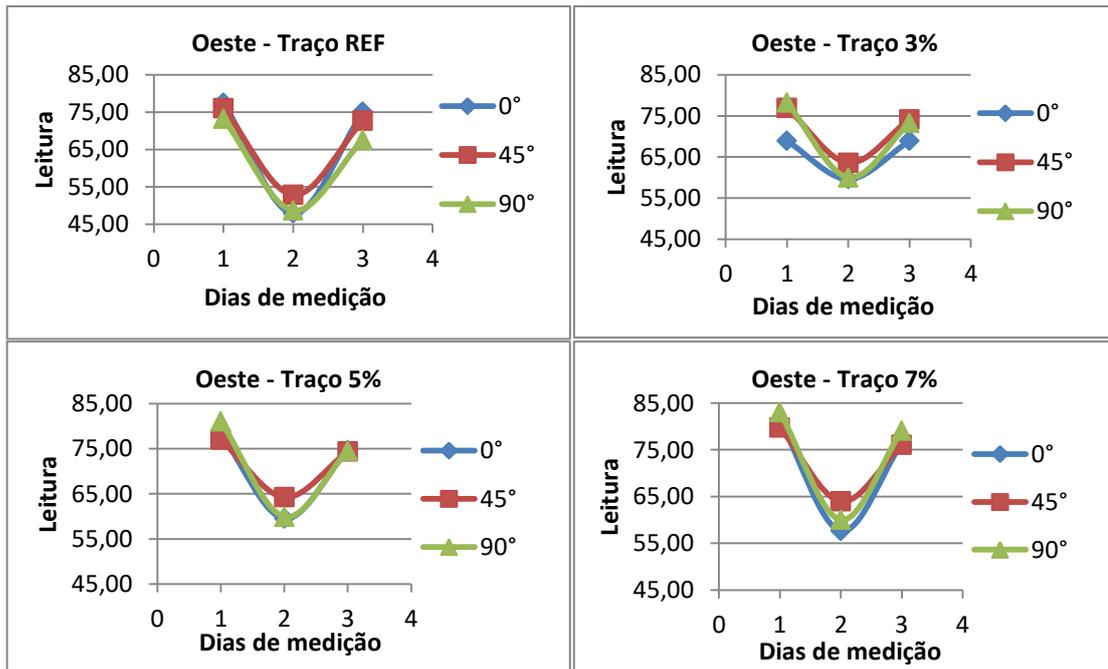
Gráfico 9 - Leitura L* da fachada leste



Fonte: Elaborado pela autora.

Para esta fachada também é possível perceber que a luminosidade final das placas não atingiu seu estado inicial. O melhor resultado nesta análise foi do traço 5% na inclinação de 45°, sendo sua leitura final mais próxima da inicial do que os demais. Visualmente, é possível concordar com a leitura, mas novamente é possível verificar que o manchamento desta amostra era mais fraco que os demais.

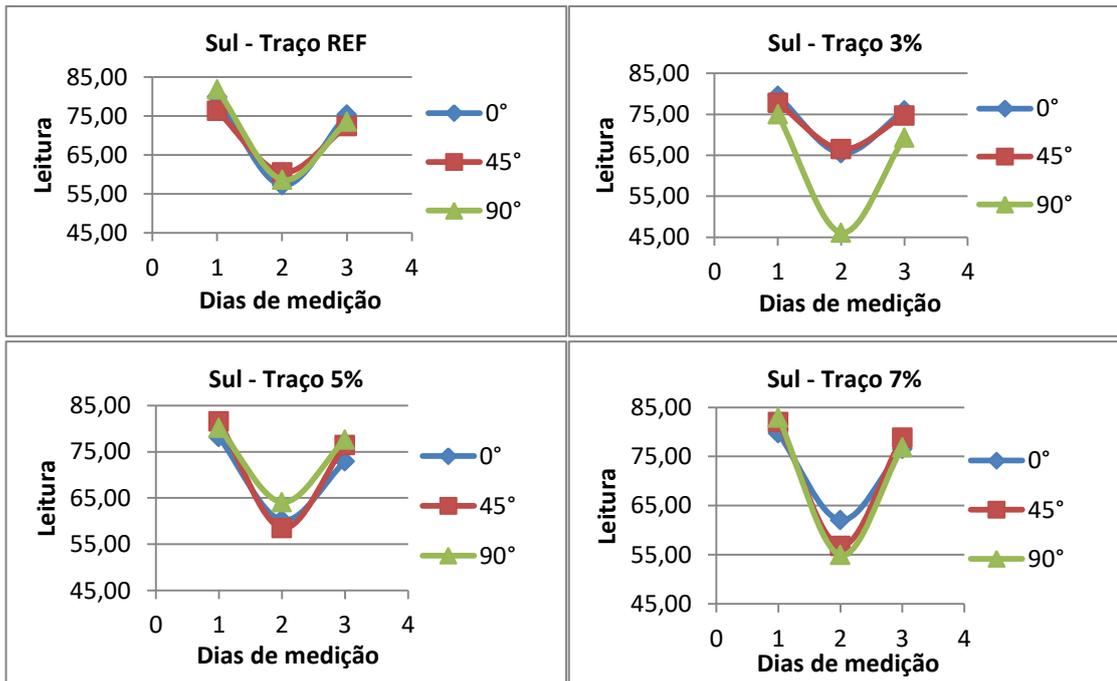
Gráfico 10 - Leitura L* da fachada oeste



Fonte: Elaborado pela autora.

Nesta fachada, o traço 3% na inclinação de 0° atingiu sua luminosidade inicial, sendo este o melhor resultado de leitura L* para a fachada oeste. Visualmente, percebeu-se que seu manchamento era um dos mais fracos e que seu estado final era bem limpo. Porém, somente a coordenada L* retornando à sua leitura inicial, não indica limpeza total da amostra, para que isto aconteça, as três coordenadas cromáticas deverão retornar ao início.

Gráfico 11 - Leitura L* da fachada sul



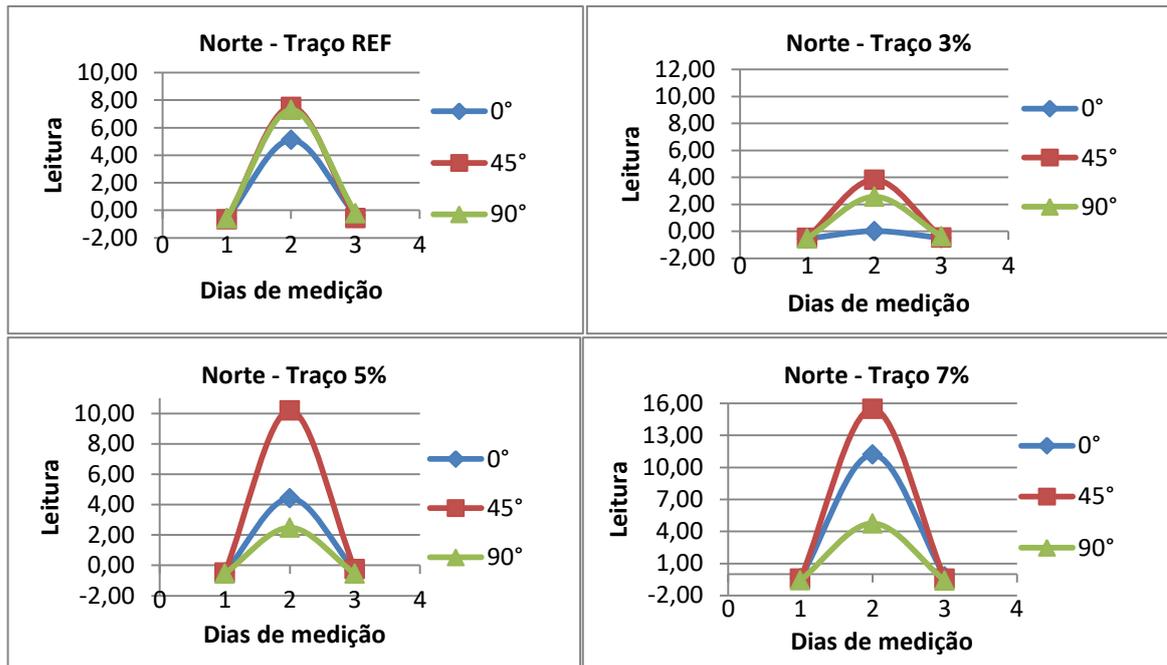
Fonte: Elaborado pela autora.

O traço 5% a 90° obteve o melhor resultado nesta análise, pois suas leituras iniciais e finais obtiveram médias mais próximas que os demais, visualmente pode-se discordar desta afirmação, mas lembrando que somente a leitura L* não indica limpeza, portanto as outras leituras desta amostra não devem ter tido resultados tão bons.

b) Leitura a*

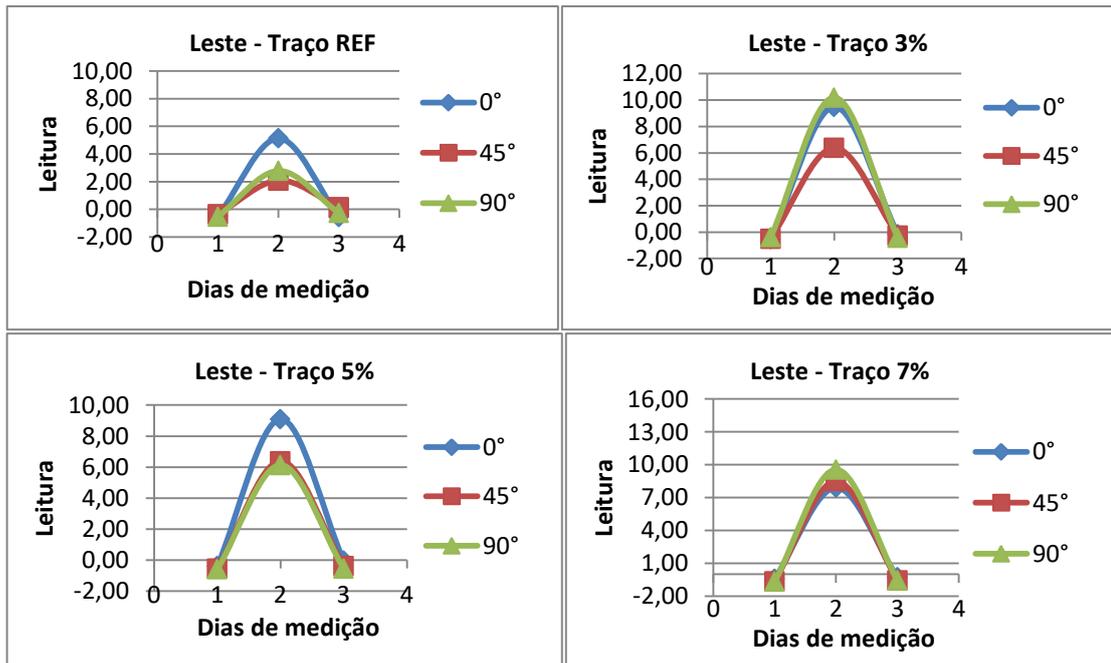
Os Gráficos 12, 13, 14 e 15 apresentam, respectivamente, as leituras a* das fachadas norte, leste, oeste e sul.

Gráfico 12 - Leitura a* da fachada norte



Fonte: Elaborado pela autora.

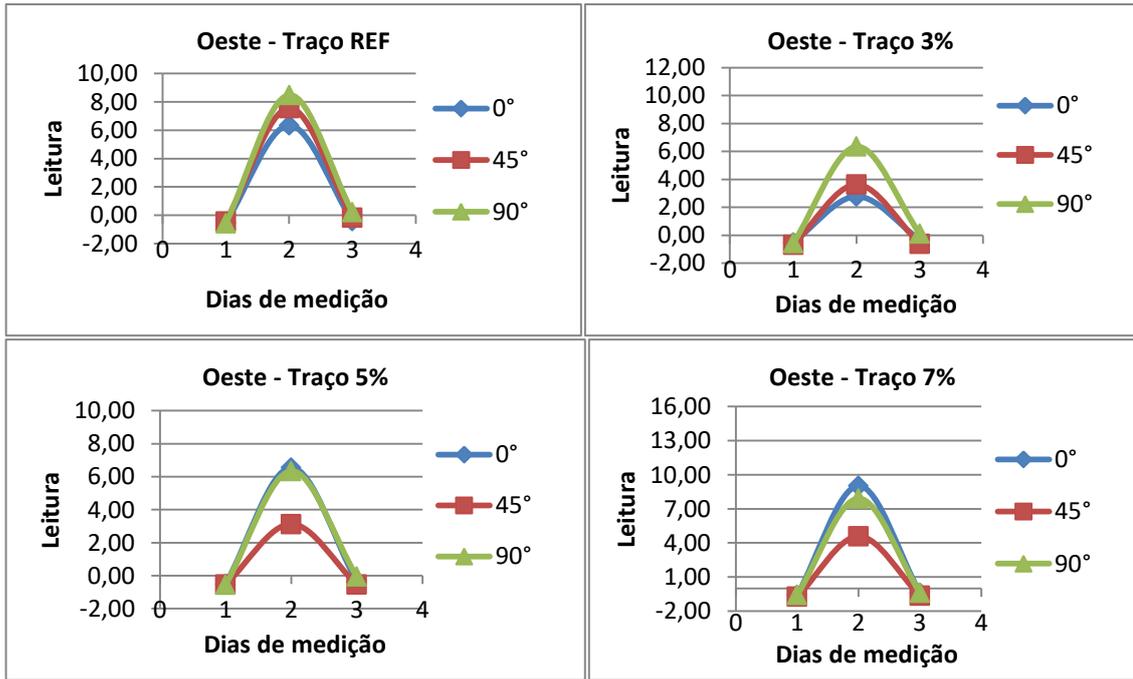
Para esta fachada, obteve-se resultados satisfatórios para três amostras: traço 5% a 90°, traço 7% a 45° e traço 7% a 90°. As leituras a^* destas amostras conseguiram retornar ao seu valor inicial, já as demais não. O traço 7% a 45° se destaca, pois dentre todas as amostras da fachada norte, esta teve maior variação da coordenada a^* , que é possível verificar visualmente, pois foi a amostra com maior manchamento, e apesar disso apresentou o retorno total da coordenada final para a inicial.

Gráfico 13 - Leitura a^* da fachada leste

Fonte: Elaborado pela autora.

Dois resultados foram satisfatórios nessa fachada, as amostras do traço REF a 0° e do traço 3% a 90° atingiram suas leituras iniciais. Visualmente é difícil de perceber este resultado, pois o mais visível é a leitura L^* , sendo assim não é possível comparar com a análise visual. O bom resultado do traço REF, não se dá pela ação do dióxido de titânio, portanto deve ter ocorrido por decomposição natural ou pela ação da chuva.

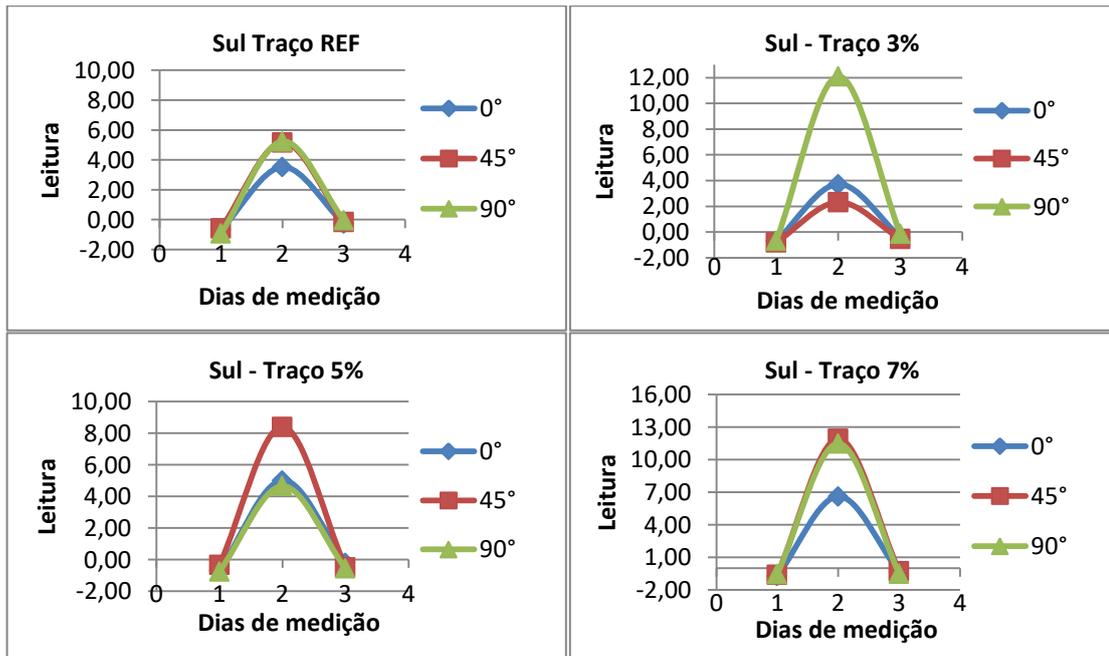
Gráfico 14 - Leitura a* da fachada oeste



Fonte: Elaborado pela autora.

O traço 5% a 45° apresentou resultado satisfatório nesta análise, podendo-se confirmar pela análise visual, apesar desta análise não apresentar certeza para esta coordenada cromática. As demais leituras não retornaram à inicial.

Gráfico 15 - Leitura a* da fachada sul



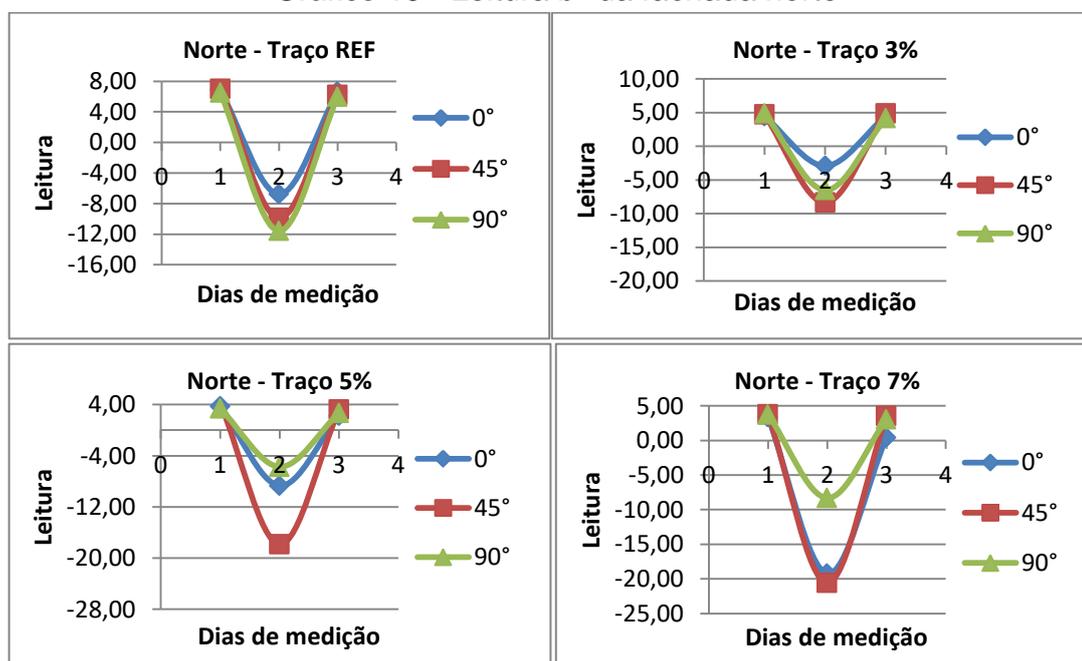
Fonte: Elaborado pela autora.

Assim como a fachada oeste, o traço 5% a 45° apresentou resultado satisfatório nesta análise, visualmente esta amostra apresentou bom resultado também. As demais leituras não retornaram à inicial.

c) Leitura b*

Os Gráficos 16, 17, 18 e 19 apresentam, respectivamente, as leituras b* das fachadas norte, leste, oeste e sul.

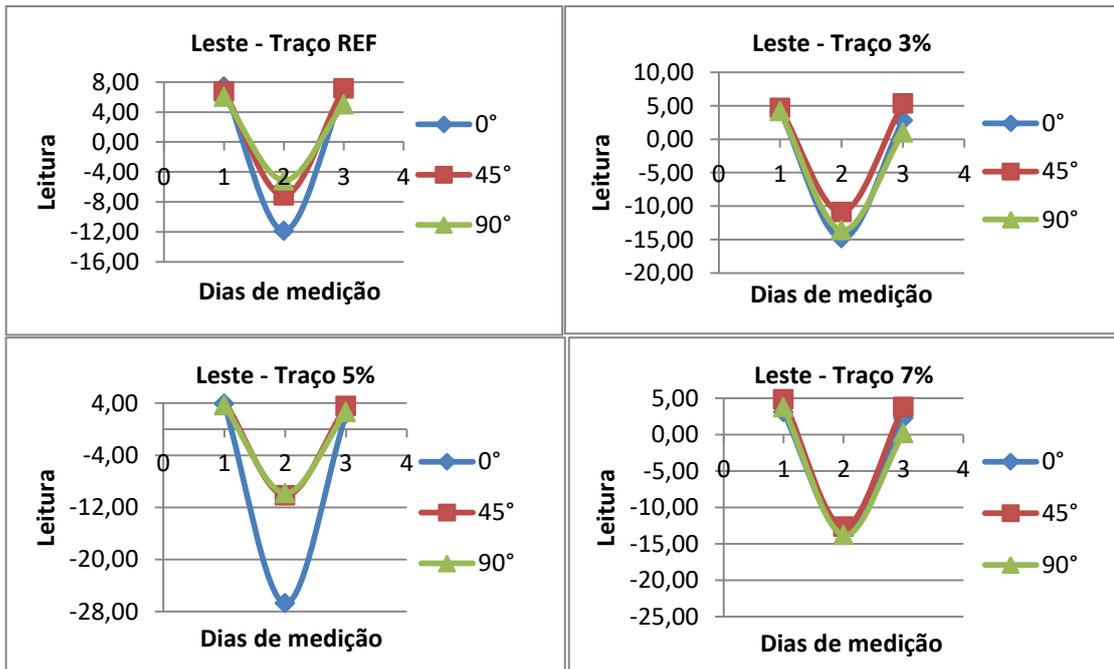
Gráfico 16 - Leitura b* da fachada norte



Fonte: Elaborado pela autora.

As amostras traço 3% a 0° e a 45° apresentaram resultados satisfatórios, pois suas leituras finais se igualaram as iniciais. Os demais não obtiveram o mesmo resultado. Visualmente, estas amostras obtiveram resultados muito bons.

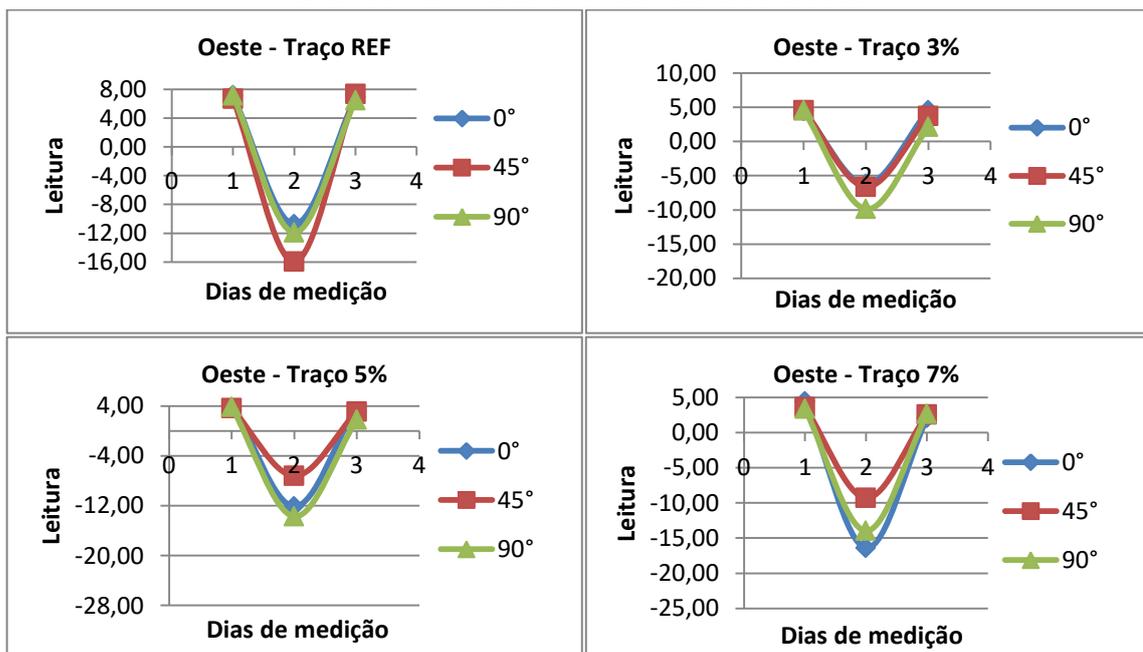
Gráfico 17 - Leitura b* da fachada leste



Fonte: Elaborado pela autora.

Nestas medições, os resultados do traço REF a 45° e do traço 3% a 45° se mostraram satisfatórios, diferente dos demais que não apresentaram retorno de sua coordenada final para a inicial. Visualmente, é possível perceber resultados muito bons para estas amostras.

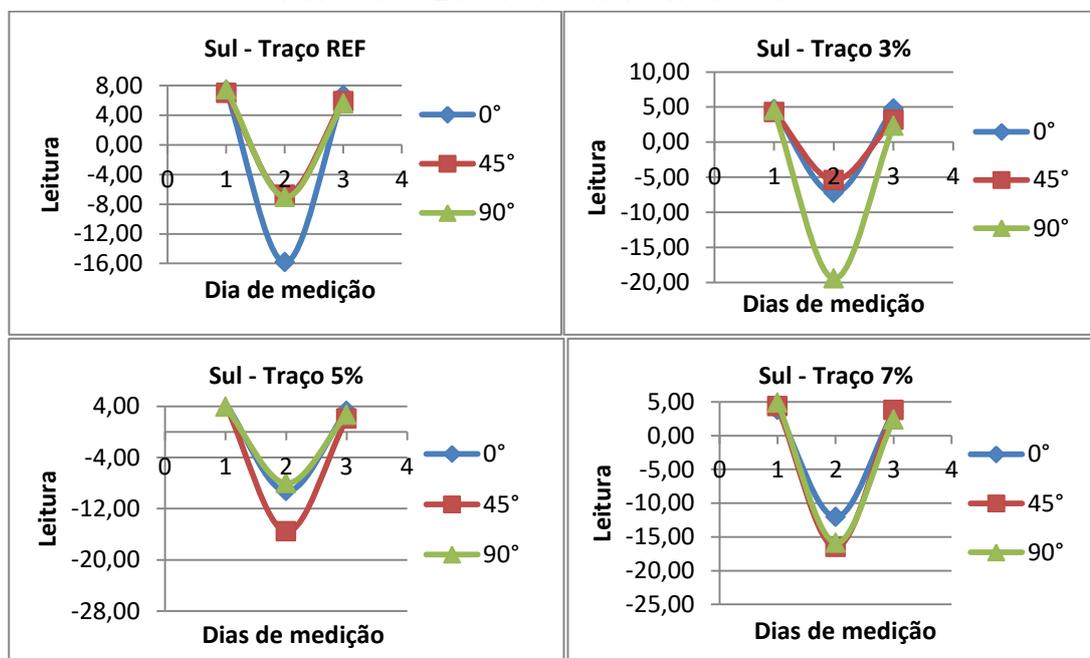
Gráfico 18 - Leitura b* da fachada oeste



Fonte: Elaborado pela autora.

Nesta fachada obteve-se dois resultados satisfatórios, para o traço REF a 45° e para o traço 3% a 0°, que visualmente também apresentaram resultados satisfatórios. Os demais não obtiveram leituras iniciais e finais iguais.

Gráfico 19 - Leitura b* da fachada sul



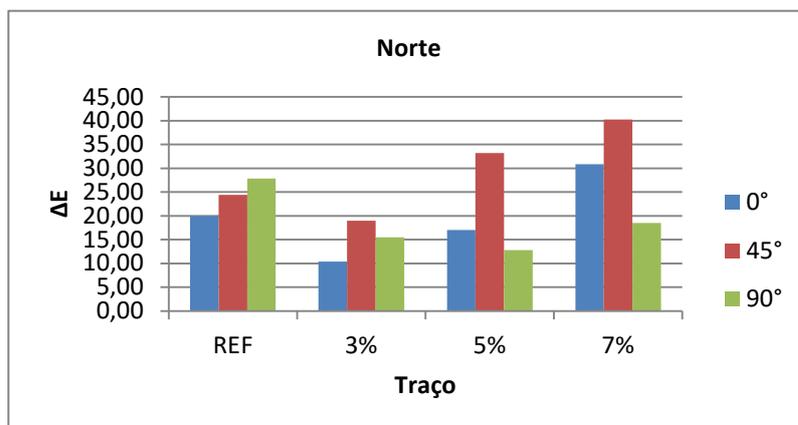
Fonte: Elaborado pela autora.

Somente a medição final do traço 3% a 0° atingiu a inicial, visualmente esta amostra teve resultado satisfatório também.

Percebeu-se que dentre as amostras que obtiveram leituras iniciais e finais iguais, comparando todas as leituras, a maioria pertencia ao traço 3%, e a maioria estava na inclinação de 45°.

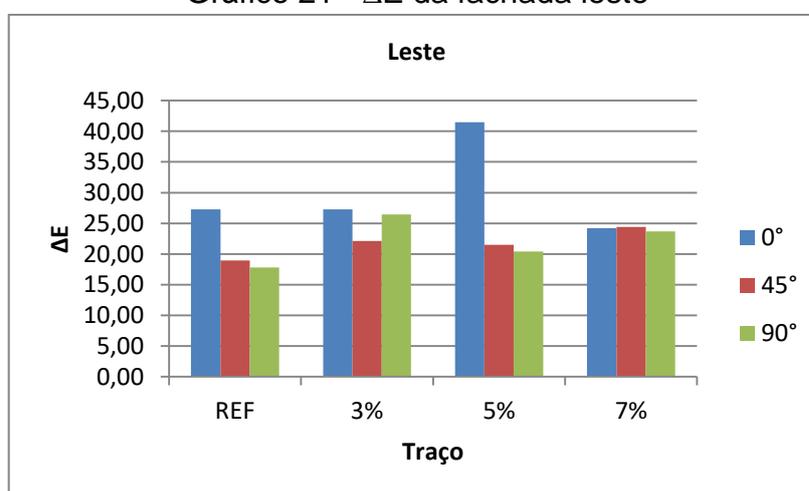
5.5.2 Variação de Cor (ΔE)

Neste tópico, os Gráficos 20, 21, 22, e 23 apresentam os resultados da variação de cor (ΔE) por fachada, considerando o traço e a inclinação.

Gráfico 20 – ΔE da fachada norte

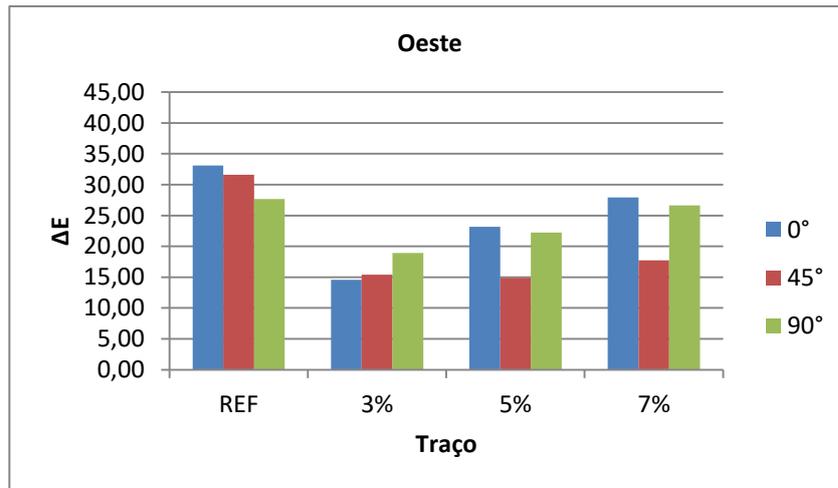
Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando a fachada norte, a maior variação de cor ocorreu na placa com 7% de TiO_2 inclinada a 45° , que pode ser confirmada pela análise visual. Nota-se que, em média, as maiores variações ocorreram na inclinação de 45° , já que esta é a que recebe mais incidência solar. Em relação aos teores de TiO_2 , o traço com 7% apresentou as maiores variações.

Gráfico 21 - ΔE da fachada leste

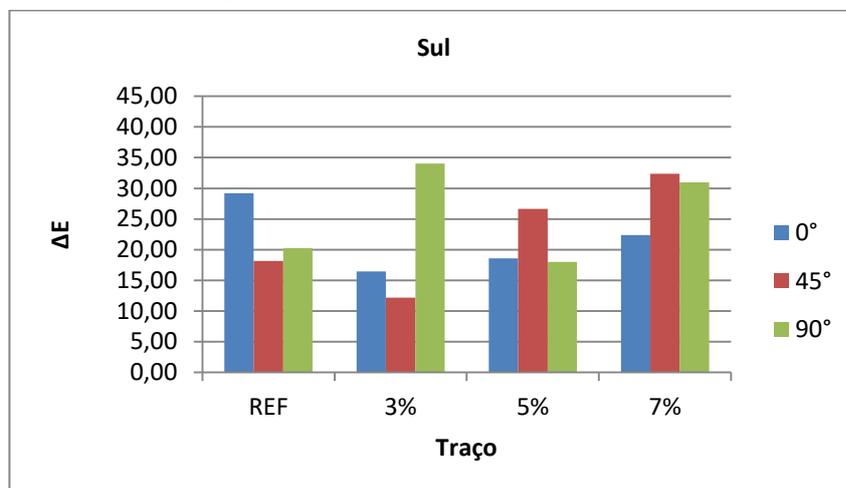
Fonte: Elaborado pela autora.

Na fachada leste, o traço com 5% inclinado a 0° obteve maior variação de cor, também podendo ser confirmada pela análise visual. Em média, o teor de 5% e a inclinação a 0° apresentaram as maiores variações de cor.

Gráfico 22 - ΔE da fachada oeste

Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto à fachada oeste, o traço REF a 0° apresentou a maior variação de cor, sendo este traço e esta inclinação os que obtiveram as maiores variações de cor, em média. Visualmente, a maior variação para esta fachada ocorreu na amostra de traço 7% a 0°.

Gráfico 23 - ΔE da fachada sul

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesta fachada, o traço 3% a 90° obteve maior variação de cor, que visualmente aparenta ter maior variação para traço 7% a 45°, porém, em média, o traço 7% e a inclinação de 90° apresentaram maiores variações de cor.

No geral, comparando todos os traços, o de 7% foi o que apresentou os melhores resultados de análise visual, confirmados pelos resultados de variação de

cor, que em média para o traço de 7% foram os melhores. Treviso (2016) concluiu que o traço de 5% apresentou os melhores resultados em relação à autolimpeza, mas é preciso considerar que sua avaliação foi em argamassa, e ele não avaliou inserção de 7% em suas amostras. Em relação às inclinações, a inclinação de 45° foi a que apresentou também os melhores resultados na análise visual e nas coordenadas cromáticas, assim como no trabalho de Treviso (2016), porém na análise de variação de cor o melhor resultado foi para a inclinação de 0°. Já em relação às fachadas, pôde-se perceber resultados visuais melhores para a fachada norte, bem como resultados das leituras cromáticas e variação de cor.

6 CONCLUSÕES

Em busca de uma solução para problemas de sujidades em fachadas de concreto aparente como as de GRC, este estudo propôs uma análise da autolimpeza de placas de GRC com adição de TiO_2 , além da influência dessa adição nas propriedades no estado fresco e endurecido da mistura. Para tanto, foram confeccionados quatro traços para o estudo: REF, 3%, 5% e 7%. A partir dos resultados dos ensaios realizados com esses traços, pode-se concluir o que está descrito a seguir.

Em relação às propriedades no estado fresco, é possível afirmar que o espalhamento das misturas pode ter sido prejudicado pela utilização de fibras; portanto, a inserção do TiO_2 não obteve influência significativa para esta propriedade.

Em termos de propriedades no estado endurecido dos traços, conclui-se que o TiO_2 tem influência positiva, melhorando os resultados de resistência à compressão axial e tração na flexão, à medida que seu teor aumenta, devido ao preenchimento dos poros que ele realiza.

Já em relação à autolimpeza, o presente estudo possibilita tecer as seguintes considerações:

- a) somente a inserção do TiO_2 nas misturas já fornece uma coloração visivelmente mais clara para as peças;
- b) a não degradação das manchas de ferrugem reforça informações de outros estudos que afirmam que o TiO_2 não tem capacidade de degradar material não orgânico;
- c) os corantes utilizados são materiais que possuem decomposição espontânea e, por esse motivo, no traço REF, o qual não obtinha TiO_2 em sua mistura, também ocorreu a limpeza dos corantes;
- d) a degradação rápida da Rodamina B pode ter ocorrido por lixiviação do corante, realizada pela precipitação ocorrida nos primeiros dias de exposição;
- e) a degradação do azul de metileno ocorre de maneira rápida nos primeiros 7 dias de exposição e segue de maneira mais lenta posteriormente. Não se obteve uma degradação uniforme, porque a aplicação utilizada do azul de

metileno não gerou uma mancha uniforme e também porque não é possível saber, sem um ensaio de MEV, como está a dispersão das partículas de TiO_2 na mistura, podendo esta influenciar nos resultados;

- f) visualmente, os traços com 7% tornam as peças mais claras e, em termos de inclinação, 45° é a inclinação que mais recebe sol durante o dia, sendo a mais recomendável para o uso de materiais com fotocatalisadores. As leituras confirmam que a maior variação de cor acontece no traço com 7% de TiO_2 e para a inclinação de 0° . Destaca-se que os melhores resultados não foram para 45° devido à grande variação destes, causada por motivos já descritos anteriormente;
- g) já com 3% de adição de TiO_2 nas misturas, obteve-se uma superfície autolimpante, porém a adição de 7% mostrou-se mais satisfatória.

6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

- Avaliação da degradação dos corantes em câmara de incidência de raios UV, considerando apenas esta variável e não a água da chuva.
- Utilização de particulados de poluição atmosférica substituindo os corantes.
- Verificação da porosidade do GRC e da capacidade de penetração de sujidades.
- Verificação da dispersão das partículas de TiO_2 na mistura e sua influência na autolimpeza.
- Avaliação da influência de placas com textura na autolimpeza das misturas.
- Busca por um material que degrade materiais não orgânicos, como tinta de pichação.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738**: concreto: procedimento para moldagem e cura dos corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739**: concreto: ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12142**: concreto: determinação da resistência de tração na flexão de corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15306-1**: produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro: método de ensaio: parte 1: medição da consistência da matriz. Rio de Janeiro, 2015.
- ALMENARA, P. I. C. **El GRC**: material compuesto de matriz de cemento reforzado com fibras de vidrio resistente a los álcalis. España, 1996.
- ANDALORO, A. et al. Photocatalytic self-cleaning coatings for building facade maintenance. Performance analysis through a case-study application. **Journal of Facade Design and Engineering**, [S;l.], v. 4, n. 3-4, p. 115-129, 2016.
- AUSTRIA, G. **Argamassa autolimpante para revestimento de fachadas**: o efeito das propriedades fotocatalíticas do dióxido de titânio (TiO₂). 2015. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/131071/000980262.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 29 maio 2018.
- BALBINO, R. O. **Remoção do corante azul de metileno por fotocatalise heterogênea com radiação UV artificial e dióxido de titânio (TiO₂) como catalisador**. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) -- Departamento Acadêmico de Ambiental, Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão: 2015. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4944/1/CM_COEAM_2015_2_26.pdf>. Acesso em: 29 maio 2018.
- BARTH, F.; VEFAGO, L. H. M. Fachadas pré-fabricadas de GRC. **Revista Arquitextos**, São Paulo, ano 8, jan. 2008. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.092/178>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- BEELDENS, A. **An environmental friendly solution for air purification and self-cleaning effect**: the application of TIO₂ as photocatalyst in concrete. Belgium: Belgian Road Research Centre, 2006.
- BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre reinforced cimentitious composites**. London: Elsevier Applied Science, 1990.

CARRIÓ, J. M. **Arquitectura, arte funcional**. Valladolid: Universidad de Valladolid, 1985.

CENTRAL FIBRA. **Fio Roving**. Roçado, 2018. Disponível em: <<http://centralfibra.com.br/produtos/fio-roving>>. Acesso em: 24 jun. 2018.

CHAVES, A. M. V. A. **Patologia e reabilitação de revestimentos de fachadas**. 2009. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -- Escola de Engenharia, Universidade do Minho: Braga, 2009. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/10764/1/Tese%20Final%20ana%20chaves.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

CORONADO, D. R. et al. Phase-pure TiO₂ nanoparticles: anatase, brookite and rutile. **Nanotechnology**, México, v. 9; n. 1, p.145605, Apr. 2008.

DETTE, C. et al. TiO₂ Anatase with a bandgap in the visible region. **Nano Letters**, v. 14, n. 11, p 6533–6538 2014.

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

DIAMANTI, M. V. et al. **Photocatalytic and self-cleaning activity of colored mortars containing TiO₂**. Materials and Chemical Engineering “G. Natta”: Milan, 2013.

DUTRA, D. A. M. **Avaliação do fotossensibilizador azul de metileno em diferentes formulações para uso em terapia fotodinâmica**. 2013. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Odontológicas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/6112/DUTRA,%20DANILO%20ANTONIO%20MILBRADT.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

FELTRIN, J. et al. Superfícies fotocatalíticas de titânia em substratos cerâmicos: Parte I: síntese, estrutura e fotoatividade. **Cerâmica**, Florianópolis, v. 59, n. 352, p. 620-632, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v59n352/20.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DO PRODUTO (FISPQ). Labsynth, 2009. Disponível em: <<https://www.fca.unicamp.br/portal/images/Documentos/FISPQs/FISPQ-%20Azul%20de%20Metileno.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DO PRODUTO (FISPQ). RODAMINA, 2017. Extraprática Disponível em: <https://www.extrapratica.com.br/BR_Docs/Portuguese/FISPQ/RODAMINA%20B.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2018.

FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DO PRODUTO (FISPQ). **Cimento branco CEM I 52,5R**. Global Trend. 2016.

FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DO PRODUTO (FISPQ). Cem-Fil 61 – GRC Premix and Spray Roving. OCV Reinforcements. 2010.

- FOLLI, A. **TiO₂ photocatalysis in Portland cement systems**: fundamentals of self cleaning effect and air pollution mitigation. 2010. Thesis (Doctor of Philosophy) – Department of Chemistry, University of Aberdeen, 2010.
- FUJISHIMA, A.; ZHANG, X. Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches. **Comptes Rendus Chimie**, [S.l.], v. 9, n. 5–6, p. 750-760, May/June 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/244364802_Titanium_Dioxide_Photocatalysis_Present_Situation_and_Future_Approaches>. Acesso em: 29 maio 2018.
- GÁZQUES, M. J. et al. A review of the production cycle of titanium dioxide pigment. **Materials Sciences and Applications**, Espanha, v. 5, p. 441-458, 2014. Disponível em: <https://file.scirp.org/pdf/MSA_2014052916520642.pdf>. Acesso em: 29 maio 2018.
- GILBERT, G. T. **GFRC**: 30 years of high fiber cement composite applications worldwide. [S. l.], 2004.
- GIRARD, J. **Introduction to GFRC** (Glass Fiber Reinforced Concrete). USA: The Concrete Countertop Institute, 2013.
- HIDRALTERMIC. **Tela de fibra de vidro**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.hidraltermic.com.br/tela.php>>. Acesso em: 24 jun. 2018.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estações automáticas**: gráficos. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em: 29 maio 2018.
- KAMEI, M. Sensitive and reproducible photocatalytic activity evaluation instrument for transparent coatings. **World Journal of Condensed Matter Physics**, Tsukuba, v. 2, n.1, Feb. 2012. Disponível em: <http://file.scirp.org/pdf/WJCM20120100007_48564168.pdf>. Acesso em: 29 maio 2018.
- KRISHNAN, P. et al. Photocatalytic degradation of particulate pollutants and self-cleaning performance performance of TiO₂ – containing silicate coating and mortar. **Construction and Building Materials**, [S.l.], v. 44, p. 309-316, July 2013.
- MAJUMDAR, A. J. et al. The durability of glass fibre cement: the effect of fibre length and content. **Journal of Materials Science**, Garston, 1980.
- MAJUMDAR, A. J.; NURSE, R. W. **Glass-fibre reinforced cement**. BRE current paper 79/74. Building Research Establishment: Garston, 1974.
- MARANHÃO, F. L. **Método para redução de mancha nas vedações externas de edifícios**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo: São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-12082010-170254/pt-br.php>>. Acesso em: 29 maio 2018.
- MARANHÃO, F.; LOH, K.; JOHN, V. M. O uso da fotocatalise em materiais autolimpantes. **Revista Técnica**, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/141/artigo287605-2.aspx>>. Acesso em: 08 set. 2017.

MARKOVIĆ, I. **High-performance hybrid-fibre concrete** – development and utilisation. 2006. 228 f. Tese (Doutorado). Technische Universiteit Delft, Sérvia, 2006. Disponível em: <<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:44ed51cd-fc27-4353-ab81-cf8348f52443?collection=research>>. Acesso em: 29 maio 2018.

MATTOS, M. L. **Arquitetura institucional em concreto aparente e suas repercussões no espaço urbano de Florianópolis entre 1970 e 1985**. 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92678>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

MERCK. **Rodamina B**. Darmstadt, 2014. Disponível em: <http://www.merckmillipore.com/BR/pt/product/Rhodamine-B-C.I.45170,MDA_CHEM-107599>. Acesso em: 30 abr. 2018.

MONTOYA, A. C. A. **Produção de filmes de dióxido de titânio para aplicações fotovoltaicas**. 2014. 96 f. Dissertação (Mestre em Ciências em Materiais para Engenharia) --Programa de Pós-Graduação em Materiais para Engenharia, Universidade Federal de Itajubá: Itajubá, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/378/dissertacao_alvarez_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 abr. 2018.

NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY (NTU). **NTU scientist develops a multi-purpose wonder material to tackle environmental challenges**. Singapore: Nanyang Technological University, 2013.

NACIONAL PRECAST CONCRETE ASSOCIATION AUSTRALIA (NPCAA). **A recommended practice: design, manufacture and installation of glass reinforced concrete (GRC)**. Australia, 2006.

PASSUELO, A. **Análise de parâmetros influentes na cromacidade e no comportamento mecânico de concretos à base de cimento branco**. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5845/000432419.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

PENA, A. L. **Dióxido de titânio para aplicação em células solares**. 2015. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Química) -- Curso de Química, Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del-Rei, 2015. Disponível em: <https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/coqui/TCC/Monografia-TCC-Aline_L_Pena-20151.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2018.

PEREIRA, M. A. C.; JALALI, S.; TORRAL, F. P. Argamassas aditivadas com dióxido de titânio: uma solução eficaz no combate aos graffitis. **Materiais de Construção**, Porto, v. 146, p. 42-45, nov./dez. 2009. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/10452/1/Pereira_Jalali_Torgal.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2018.

PROCTOR, B. A.; OAKLEY, D. R.; LITHERLAND, K. L. Developments in assessment and performance of GRC in 10 years. **Composites**, [S.l.], v. 13, n. 2, p. 173-179, Apr. 1982.

QUAGLIARINI, E. et al. Self-cleaning and de-polluting stone surfaces: TiO₂ nanoparticles for limestone. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 37, p. 51-57, Dec. 2012.

RIBEIRO, R. M. **Concreto aparente**: uma contribuição para a construção sustentável. 2010. 112 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização (Especialização em Construção Civil) --Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-9AAJGK/monografia_raquel_de_macedo_ribeiro.pdf?sequence=1>. Acesso em: 30 abr. 2018.

RODRIGUES, J. C. Recuperando o concreto aparente. **Revista Recuperar**, São Paulo, jan./fev.1995. Disponível em: <http://www.engegraut.com.br/revista_recuperar/revista_recuperar_ed03.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2017.

RUOT, B. et al. 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.

SILVA, V. G.; JOHN, V. M. Painéis em cimento reforçado com fibras de vidro (GRC). **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, Departamento de Engenharia de Construção Civil: São Paulo, 1998. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00228.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2017.

SMITS, M. et al. Effect of process parameters on the photocatalytic soot degradation on self-cleaning cementitious materials. **Catalysis Today**, [S.l.], v. 230, p. 250-255, 2014.

TABALVANDANI, M. S.; BIRIA, H. A.; SIAESTALKHI, P. K. **Glass fiber reinforced concrete exclusive assets and applications in construction**. Iran, 1994.

TÉCHNE. Estruturas à mostra. **Revista Técnica**, São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/81/artigo286269-1.aspx>>. Acesso em: 15 out. 2017.

TREVISÓ, J. P. **Avaliação da eficiência de autolimpeza em argamassas e pastas contendo TiO₂ expostas ao microclima urbano**. 2006. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/142697/000994276.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 out. 2017.

VALLEJO, F. J. L. Ensuciamiento de fachadas pétreas por la contaminación atmosférica: el caso de la ciudad de valladolid. **Informes de la Construcción**, Madrid, v. 41. n. 405, enero/febr. 1990. Disponível em: <<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/1469/2363>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

Wafa, F. F. Properties and applications of fiber reinforced concrete. **JKAU: Eng. Sci.**, Jeddah, Saudi Arabia, v. 2, p. 49-6, 1990. Disponível em: <1990.https://www.kau.edu.sa/Files/135/Researches/54118_24595.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2018.

YURANOVA, T. et al. Photocatalytic discoloration of organic compounds on outdoor building cement panels modified by photoactive coatings. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 188, n. 2-3, p. 334-341, May 2007.