



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UnICEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

KAMIRÃ BARBOSA RIBEIRO

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO POR DIÓXIDO DE TITÂNIO E
NANOSSÍLICA ATIVA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS.**

BRASÍLIA

2020



KAMIRÃ BARBOSA RIBEIRO

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO POR DIÓXIDO DE TITÂNIO E
NANOSSÍLICA ATIVA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS.**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentado à Assessoria de Pós Graduação e
Pesquisa.

Orientação: Maria José de Souza Serafim, Dra.

BRASÍLIA

2020

RESUMO

O âmbito ambiental e sustentável da construção civil é cada vez mais estudado e levado em consideração na utilização dos materiais cimentícios de uma forma geral. A incorporação de adições minerais e Materiais Cimentícios Suplementares (MCS) é prática comum e ferramenta para dirimir propriedades indesejáveis e realçar as características que conferem aos materiais maior durabilidade e desempenho. Dentro deste tópico, alguns materiais têm apresentado soluções de amplo aspecto, por exemplo, o dióxido de titânio é historicamente testado com respeito a sua capacidade de agregar novas propriedades sustentáveis aos materiais cimentícios, tais quais: autolimpeza, purificação do ar, entre outras. Além disso, segue a tendência do uso do concreto e demais materiais, de conferir desempenho mecânico cada vez maior. Ao mesmo tempo, a tecnologia permite que outros materiais já incorporados na dinâmica construtiva, ganhem nova perspectiva, com potencialização das suas propriedades, como é o caso dos nano materiais, entre eles a nano-sílica. Em meio a tais informações, a presente pesquisa visou avaliar a influência da substituição de cimento Portland tipo II por dióxido de titânio anatase e rutilo na resistência à compressão de argamassas, de acordo com a NBR 7215/2019. Foram ensaiados corpos de prova com teores de 3%, 5% e 10% de anatase e 5% e 10% de rutilo. Para argamassas com anatase, foram ensaiadas a 7 e 14 dias. Aos 7 dias, para 3% e 5% houve ganho de resistência à referência, tendo havido crescimento de resistência com o aumento do teor de substituição até os 5%, visto que para 10% não houve ganho mecânico. A mesma tendência se apresentou para as argamassas com rutilo, porém foram ensaiadas apenas aos 7 dias. Nesta idade, o teor 10% apresentou o mesmo desempenho para as duas fases, sendo o anatase mais resistente para 5% de substituição. No caso do rutilo, apenas as argamassas com 5% de rutilo apresentaram maior resistência a compressão que a referência.

Palavras-Chave: Argamassa. Dióxido de Titânio. Resistência mecânica.

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 4 |
| 1.1 Dióxido de titânio..... | 4 |
| 1.2 Nano-sílica ativa | 5 |
| 2. OBJETIVOS | 6 |
| 2.1 Objetivo geral..... | 6 |
| 2.2 Objetivos específicos..... | 6 |
| 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 7 |
| 3.1 Cimento Portland | 7 |
| 3.2 Resistência à compressão de argamassas com substituição de cimento por dióxido de titânio | 7 |
| 3.3 Resistência à compressão de argamassas com substituição de cimento por nano-sílica | 8 |
| 4. METODOLOGIA | 9 |
| 4.1 Materiais utilizados..... | 9 |
| 4.2 Metodologia de ensaios de resistência à compressão..... | 9 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 12 |
| 6. CONCLUSÕES | 16 |
| 7. REFERÊNCIAS | 17 |

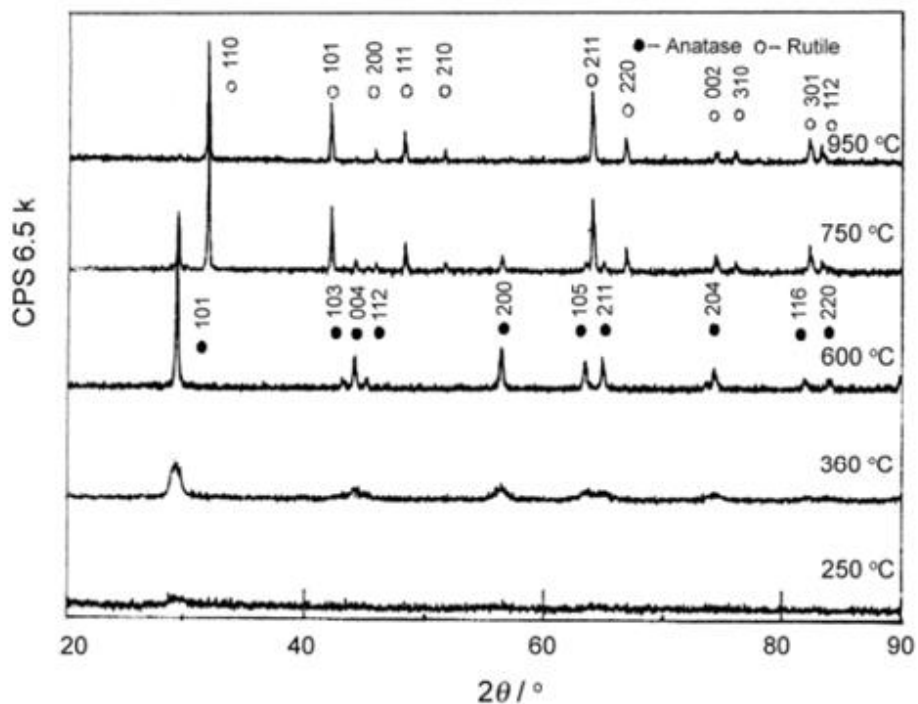
1. INTRODUÇÃO

1.1 Dióxido de Titânio

O dióxido de titânio aparece na natureza como os minerais conhecidos: anatase, rutilo e brookita. Representa um material disponível e de baixo custo, não tóxico, muito resistente à fotocorrosão e pode para ser usado na temperatura ambiente (BAIRD, CANN, 2011).

Em sua preparação, o material pode ser seco até 105°C por algumas horas e depois calcinado a diferentes temperaturas por duas horas, observa-se a passagem da fase anatase para rutilo próximo aos 600°C. Um difratograma do dióxido de titânio em elevadas temperaturas, estabilizado com partículas submicrométricas de SiO₂ mostram a evolução das suas fases, conforme mostra a Figura 1 (FELTRIN, 2012).

Figura 1 – Difratoograma dos pós tratados de titânia em diferente temperaturas por 1h.



Fonte: FELTRIN, J.

As descrições da evolução das fases apresentadas no difratograma são, de acordo com Feltrin, 2012:

- Abaixo de 250°C: existe em seu estado amorfo, após aquecimento, as intensidades de pico de anatase aumentam significativamente;
- Abaixo de 600°C, pode-se verificar apenas a fase anatase;
- Acima de 600°C, as fases anatase e rutilo coexistem;
- A 900°C, anatase é totalmente transformado para rutilo;
- Quando calcinados a 950°C, o tamanho dos cristais de rutilo aumentam de tamanho;
- Na análise feita, 950°C é a temperatura final de transformação onde podemos encontrar 100% de fase rutilo;

Fujishima, no final da década de 60, ao estudar a resposta de semicondutores à luz, descobriu através de um simples circuito eletroquímico, com dióxido de titânio e platina, em dois diferentes eletrodos, que sob irradiação luminosa em sua superfície surgia uma fotocorrente gerando oxidação no eletrodo de TiO_2 e redução no eletrodo de prata. Esse fenômeno permitiu gerar hidrogênio a partir de uma fonte de energia puramente solar. Desde então, se tem estudado o potencial fotocatalítico do dióxido de titânio, e a partir de 1990, a purificação ambiental através da sua fotocatalise (FUJISHIMA; ZHANG, 2005).

Seu uso incorporado aos materiais cimentícios tem sido explorado, com enfoque nas propriedades acima citadas e pela sua capacidade auto-limpante. Sua eficiência nestes âmbitos é comprovada em diversos trabalhos (ESSAWY; ALEEM, 2014), (ZHAO; YANG, 2002), (LEE; JAYALAPAN, 2013). Tem-se também que a adição de dióxido de titânio em pastas de cimento sugere que o composto funciona como um filler, diminuindo a porosidade e aumentando a densidade das argamassas (ESSAWY, 2014), sendo, portanto, a finura do material relevante para suas propriedades.

1.2 Nano-sílica ativa

A sílica, cuja fórmula química é SiO_2 , é um óxido de emprego muito conhecido na construção civil. É um dos compostos químicos gerados na produção do cimento. A utilização de nanotecnologia é uma das mais modernas ferramentas no controle da estrutura da matéria, e o concreto como material mais produzido pelo homem tem, nos

últimos anos, usufruído destas aplicações. Pelo fato de estar associado a produção de cimento grandes emissões de CO₂, a necessidade de materiais cimentícios suplementares se torna evidente, onde se acredita que a nanotecnologia tenha um papel mais promissor (SAID, ZEIDAN, 2012).

Diversos outros nanomateriais têm sido empregados, como nano-CaCO₃, nano-Al₂O₃, e nano tubos de carbono, porém comparativamente, a nano-silíca apresenta mais vantagens, devido ao seu maior potencial pozolânico (WANG, ZHENG, 2016). Em estudo comparativo de características da nano-silíca, sílica "fume" e cinzas volantes, o primeiro apresentou ganhos em propriedades mecânicas, como resistência à compressão e à tração na flexão, para amostras de argamassas ensaiadas (BIRICIK, SARIER, 2013).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência da substituição do cimento Portland por dióxidos de titânio e nano-silíca ativa em suspensão na resistência à compressão de argamassas.

2.2 Objetivos específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Preparar argamassa com cimento Portland puro para material de referência.
- Preparar argamassa com cimento Portland com adições de diferentes teores de dióxido de titânio, **nanossilíca e com ambos**.
- Avaliar o comportamento das argamassas preparadas quanto ao desenvolvimento da resistência mecânica através de ensaios de compressão, de cada argamassa a 7, 14 e 28 dias.
- Caracterizar o TiO₂ por DRX e avaliar o teor de cada fase: anatase e rutilo presentes no material utilizado.
- Comparar os resultados das argamassas com adições e o material de referência.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Cimento Portland

O cimento Portland pode ser constituído somente por clínquer e por substância reguladora de pega, o gesso, o qual se denomina cimento Portland comum; no entanto, outros materiais podem ser acrescentados na produção de cimentos com Materiais Cimentícios Suplementares – MCSs. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classifica o cimento Portland em diferentes tipos de acordo com os seus componentes e propriedades.

O tipo de cimento a ser escolhido é função da disponibilidade de mercado e, principalmente, das propriedades que se deseja do produto cimentício ou do tipo de edificação a que se destina. É de grande importância o conhecimento das proporções dos compostos presentes em cada cimento, para o mesmo tenha a finalidade de aplicação desejada (GOBBO, 2009).

São evidentes as vantagens no uso de substituições parciais para o cimento por outros materiais, que também afetam os custos de produção por causa do seu baixo custo quando comparado com o cimento.

3.2 Resistência à compressão de argamassas com substituição de cimento por dióxido de titânio

Ao longo dos últimos anos 20 anos, o interesse no uso do dióxido de titânio em materiais de construção tem aumentado, e para além de seu potencial ambiental, com criação de materiais auto-limpantes, purificação do ar, quer seja na ação contra compostos orgânicos voláteis ou de outros materiais, porém, seu impacto nas características mecânicas dos materiais cimentícios é talvez a mais concreta.

Em ensaios com dois tipos de dióxido de titânio diferentes, sendo T1 com cristais preponderantemente de 21 nm, e T2 com cristais de predominância de 20 a 30 nm, diversos procedimentos constataram alterações benéficas nas dinâmicas das reações de hidratação, e nas propriedades das microestruturas. Por exemplo, pela calorimetria isotérmica e análise dos picos, foi possível concluir que para pastas de cimento com 5% e 10% de T1 de substituição em massa, houve acréscimo de 53% e 81% nos picos, e o segundo pico, associado normalmente ao C_3A , resultou em aumento de 47% e 81%. Para as pastas com T2,

observou-se aceleração dos picos, porém seus ganhos aumentos não são citados. Além disso, as resistências à compressão das pastas com 5% e 10% de T1 apresentaram ganho antes dos 14 dias, sendo a resistência final inferior à pasta sem adições (LEE, JAYALAPAN, 2012).

Em outro estudo, foi avaliada a influência na resistência à compressão em argamassas, sendo observados resultados para composições com 75% anatase e 25% rutilo, denominada P25 e apenas com anatase, que para todos os teores (5% e 10% anatase e 5% e 10% de P25) obteve ganho significativo de resistência, em todas as idades ensaiadas. O estudo também evidencia ganho potencial na hidratação, avaliando o teor de água não evaporável das amostras, e a alteração na distribuição dos poros das argamassas. Neste caso, observou-se uma distribuição de poros menores que a referência, em todos os teores ensaiados (CHEN, KOU, 2012).

3.3 Resistência à compressão de argamassas com substituição de cimento por nano-silica

A utilização de adições minerais é prática estabelecida no emprego de materiais cimentícios de uma maneira geral, porém até recentemente, a maioria destas adições impactou na sustentabilidade do uso do cimento e na sua durabilidade. Efeitos reconhecidos em nível microscópico ou nano têm ganhado destaque atualmente. A adição de nano fibras, por exemplo, potencializa as propriedades no concreto e demais materiais cimentícios, e de forma geral, as nano adições geram uma deposição de produtos das reações de hidratação nelas, atuando como pontos de nucleação que tem grande efeito na reatividade, e tais partículas também preenchem os nanoporos na pasta de cimento, diminuindo efeitos indesejáveis. Outra forma de ver a atuação da nano-silica é a produção de gel C-S-H adicional devido a sua reação com o Ca(OH)_2 . Esse efeito tendo sido constatado através de análise térmica e difração de raios-X (ABDOUSS *et al*, 2015).

Para substituições em massa de 1%, 3% e 5% de cimento em pastas de cimento, medições da taxa exotérmica da hidratação mostraram diferenças para pastas de referência. Foi observado aumento das taxas conforme aumento dos teores de substituição, tendo os segundos picos ocorrido após 8h da adição de água nas pastas, enquanto para a referência, ocorreu após cerca de 10,5h. Essas evidências corroboram maior atividade química, propiciando mais produtos de hidratação. Além disso, o mesmo trabalho evidencia notável

ganho de resistência à compressão e à tração na flexão para as pastas com mesmos teores de nano-sílica, conforme explicitado na seção 5 (Wang, Zheng, 2016).

4. METODOLOGIA

Para desenvolver a pesquisa, verificou-se a possibilidade financeira em adquirir o dióxido de titânio nas fases anatase e rutilo puros. Diante desta viabilidade comprou-se TiO_2 Anatase da Empresa distribuidora INTERBRASIL, localizada em Curitiba – PR e, TiO_2 Rutilo na Casa dos Químicos Comércio de Produtos Químicos LTDA., localizada em Flores da Cunha – RS.

4.1 Materiais utilizados

Para desenvolver o trabalho foram utilizados os materiais listados a seguir:

- Areia padrão do IPT (padronizada de acordo com o prescrito na NBR 7214)
- Cimento Portland CP II F32
- Dióxido de Titânio (Anatase e Rutilo)
- Nano-sílica ativa (suspensão 30%)

4.2 Metodologia para os ensaios de resistência a compressão das argamassas:

Corpos de prova de argamassas foram confeccionados de acordo de acordo com a NBR c, com cimento Portland tipo II para determinação da resistência a compressão de argamassas. Utilizou-se as substituições de 3%, 5% e 10%, em massa de cimento Portland, pelo dióxido de titânio - Anatase), e com substituição de 5% e 10% pelo dióxido de titânio – Rutilo.

Para otimizar a mistura do dióxido de titânio ao cimento, adicionou-se à cuba a água prescrita na norma, em seguida depositado o dióxido de titânio, misturando-os por 5 s em velocidade baixa. Os procedimentos seguintes foram realizados sem adaptação da norma, seguindo: 30 s em velocidade alta para adição do cimento a cuba; posterior adição das areias em 30 s, novamente em velocidade baixa; 30 s em velocidade alta; 1 min e 30 seg de descanso da argamassa, devidamente coberta por pano úmido. Os últimos 15 s, para retirar a argamassa aderida às paredes da cuba e à pá; por fim, mistura em velocidade alta por 1 min.

Os rompimentos foram feitos a 7 e 14 dias de hidratação, para os 4 corpos de prova rompidos de cada traço, a cada idade do ensaio Figuras 2 e 3. Respeitou-se as tolerâncias de diferença de horário entre o contato do cimento com a água na moldagem dos corpos de prova e seus respectivos rompimentos, seguindo a NBR 7215, de 2 h para ensaios a 7 dias, mantendo-se este parâmetro para os rompimentos a 14 dias, uma vez que a norma não prevê intervalo para tal idade de ensaio. Foi utilizada cura úmida sem adição de cal. Para a planificação da superfície dos corpos de prova antes dos rompimentos, se utilizou da retífica. A relação altura/diâmetro após o procedimento foi calculada e não alterou significativamente a proporção 2/1. Todos os traços previstos na pesquisa estão detalhados e especificados nas Tabelas 1 e 2.

Devido às circunstâncias advindas da pandemia de COVID-19, não foi possível ensaiar os corpos de prova a 28 de idade, nem realizar nenhum ensaio com corpos de prova com substituições de nano-sílica, ou com nano-sílica juntamente com dióxido de titânio, conforme previsto nos objetivos da pesquisa. Vários CP's estavam prontos para serem rompidos mas, os prazos foram perdidos e todo o material teve que ser descartado pela chefia do LABOCIEN do campus de Taguatinga II de UniCEUB. Ao retornarmos às atividades presenciais do LABOCIEN, limitações e restrições foram necessariamente estabelecidas e, desta forma, a pesquisa não pôde ser efetivamente concluída dentro do prazo.

Tabela 1 – Legenda dos traços usados, com nano-sílica e anatase

| | Cimento (g) | Areia fina (g) | Areia média fina (g) | Areia média grossa (g) | Areia grossa (g) | dióxido titânio anatase (g) | N-sílica (g) | Água adicionada (g) | Teor de substituição (%) |
|------------|-------------|----------------|----------------------|------------------------|------------------|-----------------------------|--------------|---------------------|--------------------------|
| REFERÊNCIA | 624 | 468 | 468 | 468 | 468 | ----- | ----- | 300 | 0 |
| 3N | 605,28 | 468 | 468 | 468 | 468 | ----- | 18,72 | 300 | 3 |
| 5N | 592,8 | 468 | 468 | 468 | 468 | ----- | 31,2 | 300 | 5 |
| 10N | 561,6 | 468 | 468 | 468 | 468 | ----- | 62,4 | 300 | 10 |
| 3A | 605,28 | 468 | 468 | 468 | 468 | 18,72 | ----- | 300 | 3 |
| 5A | 592,8 | 468 | 468 | 468 | 468 | 31,2 | ----- | 300 | 5 |
| 10A | 561,6 | 468 | 468 | 468 | 468 | 62,4 | ----- | 300 | 10 |
| 1,5AN | 530,4 | 468 | 468 | 468 | 468 | 9,36 | 9,36 | 300 | 3 |
| 2,5AN | 530,4 | 468 | 468 | 468 | 468 | 15,6 | 15,6 | 300 | 5 |
| 5AN | 530,4 | 468 | 468 | 468 | 468 | 31,2 | 31,2 | 300 | 10 |

*Não realizados

Fonte: do autor.

Tabela 2 – Legenda dos traços usados, com nano-sílica e rutilo

| REFERÊNCIA | Cimento (g) | Areia fina (g) | Areia média fina (g) | Areia média grossa (g) | Areia grossa (g) | dióxido titânio rutilo (g) | nano-sílica (g) | Água adicionada (g) | Teor de substituição (%) |
|------------|-------------|----------------|----------------------|------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|
| | 624 | 468 | 468 | 468 | 468 | ---- | ---- | 300 | 0 |
| 3R | 605,28 | 468 | 468 | 468 | 468 | 18,72 | ---- | 300 | 3 |
| 5R | 592,8 | 468 | 468 | 468 | 468 | 31,2 | ---- | 300 | 5 |
| 10R | 561,6 | 468 | 468 | 468 | 468 | 62,4 | ---- | 300 | 10 |
| 1,5RN | 530,4 | 468 | 468 | 468 | 468 | 9,36 | 9,36 | 300 | 3 |
| 2,5RN | 530,4 | 468 | 468 | 468 | 468 | 15,6 | 15,6 | 300 | 5 |
| 5RN | 530,4 | 468 | 468 | 468 | 468 | 31,2 | 31,2 | 300 | 10 |

*Não realizados

Fonte: do autor.

Figura 2. Corpo de prova após rompimento na resistência a compressão.



Fonte: do autor.

Figura 3. Corpo de prova após rompimento na resistência a compressão.



Fonte: do autor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se para a resistência à compressão aos 7 dias, que a média dos resultados traços 3A, 5A apresentou resultados acima da referência. O traço 10A não apresentou resistência média superior à referência nesta idade. Há, portanto, uma tendência de crescimento da resistência para aumento de substituição, aos 7 dias, até 5%.

Os resultados aos 14 dias traço com 5% de substituição por anatase, designado por 5A, apresentou as maiores médias, Figuras 4 e 5. O traço 3A também apresentou média superior aos resultados da referência, porém abaixo dos resultados para o traço 5A, e para o traço 10A a média da resistência foi inferior à referência. Desta forma, é consistente dizer que, para as duas idades a relação entre as resistências observadas, ou seja, o traço 5A apresenta as maiores médias, sendo superiores aos valores para o 3A e referência.

Os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados são mostrados nas Tabelas 3 e 4, com as médias e respectivos desvios padrões observados.

Tabela 3 – Médias das resistências à compressão por traço, a 7 dias.

| | TRAÇO | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|------------|
| | 3A | 5ª | 10A | REFERÊNCIA |
| Resistência média (MPa) | 29,22 | 30,12 | 26,48 | 28,25 |
| desvio padrão | 3,91 | 2,79 | 1,21 | 5,06 |

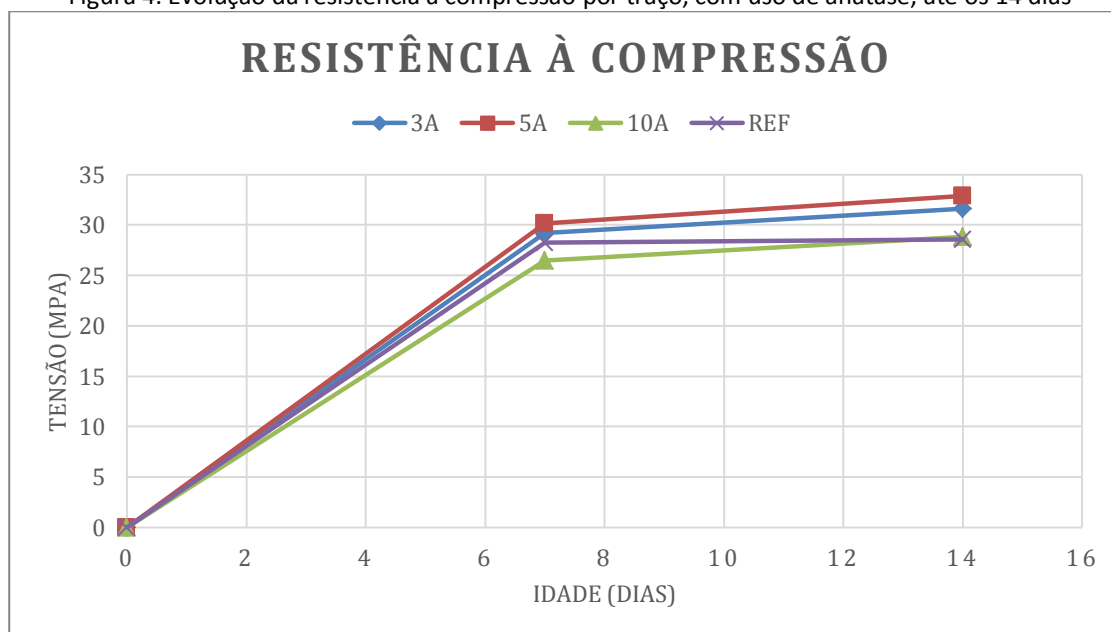
Fonte: do autor.

Tabela 4 - Médias das resistências à compressão por traço, a 14 dias.

| | TRAÇO | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|------------|
| | 3A | 5ª | 10A | REFERÊNCIA |
| Resistência média (MPa) | 31,59 | 32,91 | 28,80 | 28,56 |
| desvio padrão | 3,95 | 3,1 | 0,93 | 1,69 |

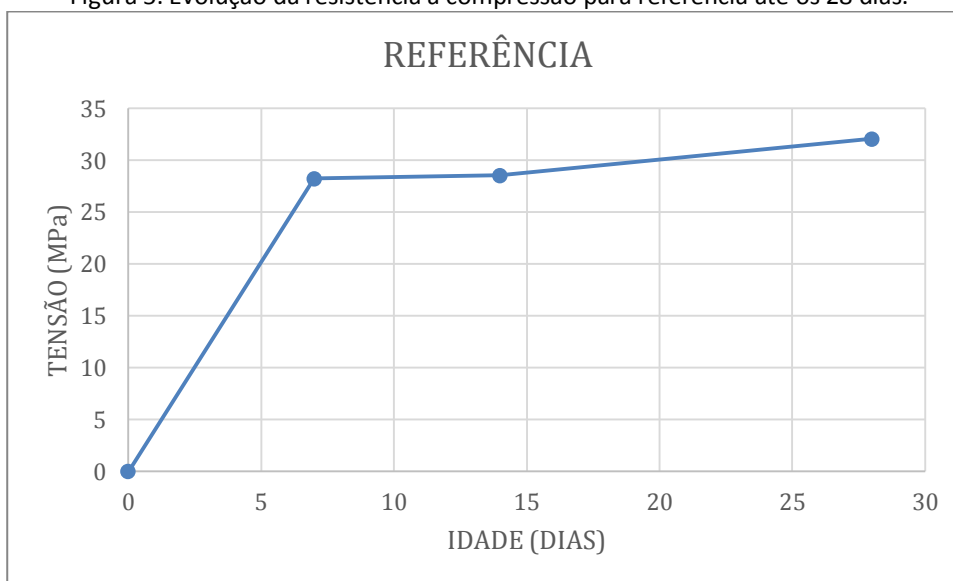
Fonte: do autor

Figura 4. Evolução da resistência à compressão por traço, com uso de anatase, até os 14 dias



Fonte: do autor

Figura 5. Evolução da resistência à compressão para referência até os 28 dias.



Fonte: do autor

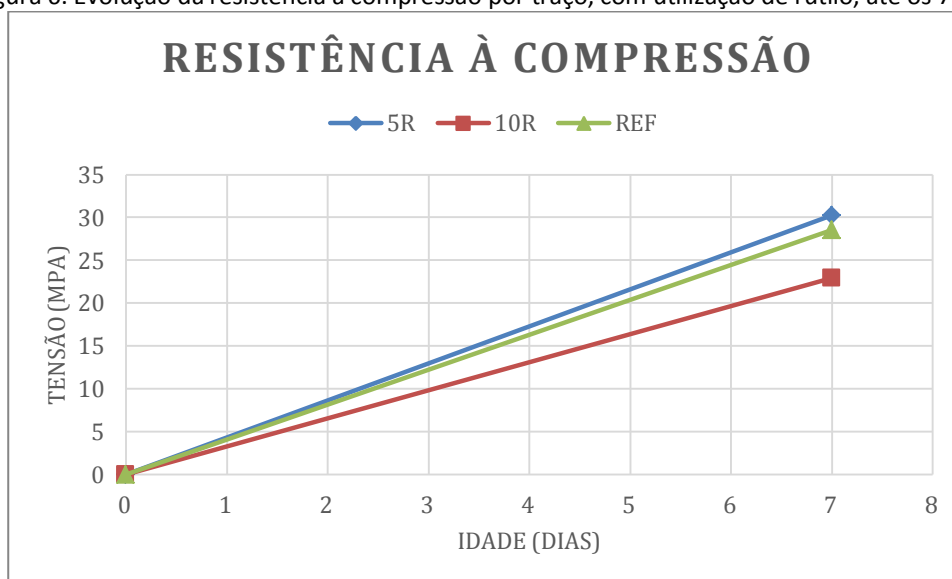
Para os traços preparados com dióxido de titânio rutilo – Figura 6, a resistência à compressão foi testada apenas até os 7 dias, e para os teores de 5% e 10% de substituição. A tendência foi diminuição da resistência para aumento do teor. O traço 5R obteve ganho de resistência à referência e o traço 10R apresentou resultados inferiores referência. Comparativamente, aos 7 dias – Tabela 5, para argamassas com mesmo teor de titânio, as com 5% apresentaram resistência muito próxima e para 10%, os corpos de prova com anatase apresentaram melhores resultados.

Tabela 5 - Médias das resistências à compressão por traço, com uso de rutilo, aos 7 dias.

| | TRAÇO | | |
|-------------------------|-------|-------|------------|
| | 5R | 10R | REFERÊNCIA |
| resistência média (Mpa) | 30,27 | 22,92 | 28,25 |
| desvio padrão | 1,41 | 5,85 | 5,06 |

Fonte: do autor

Figura 6. Evolução da resistência à compressão por traço, com utilização de rutilo, até os 7 dias.

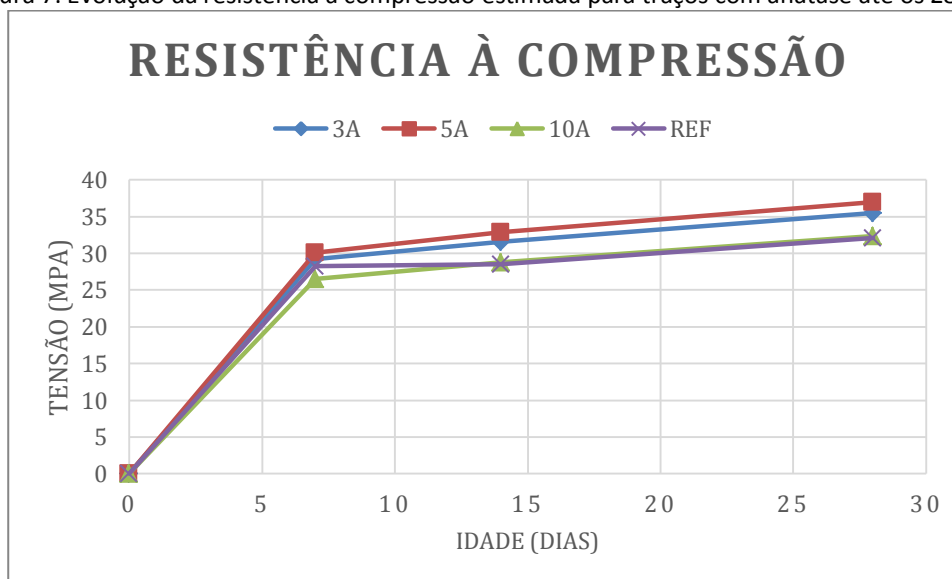


Fonte: do autor

Uma projeção das resistências aos 28 dias foi realizada para os traços com dióxido de titânio anatase, Figura 7, usando da mesma taxa de variação da mesma para o traço de referência entre os 14 e 28 dias. Não seria interessante tal análise para as amostras com rutilo, visto que as resistências foram avaliadas apenas até 7 dias.

Quanto a avaliação do efeito de substituição de cimento, em massa, por 1%, 3% e 5% na resistência à compressão e à tração na flexão, aos 3, 7 e 28 dias foi obtida por outro estudo para pastas cimento e apresentou: para 1%, aumento na resistência à compressão de, respectivamente, 16,8%, 4,7% e 3,2%; para 3% a resistência à compressão aumentou 33,2%, 29,1% e 18,5%, e a resistência à tração na flexão teve ganhos de, respectivamente, 30,4%, 22,2% e 6,7%; para 5% a resistência à compressão aumentou em 44,9%, 29,7% e 10,6%, enquanto suas resistências à tração na flexão obtiveram ganhos de 31,4%, 27,4%, 9,8% (WANG, ZHENG, 2016). Para substituições em massa em argamassas, com teores de 3% e 10%, também é possível encontrar resultados que comprovam o aumento na resistência à compressão aos 3 dias para 10%; aos 7 e 14 dias para 3% e 10% e aos 28 dias apenas houve ganho para o teor 10% (LTIFFI, GUEFRECH, 2011).

Figura 7. Evolução da resistência à compressão estimada para traços com anatase até os 28 dias.



Fonte: do autor

6. CONCLUSÕES

A avaliação da influência da substituição de cimento Portland por diferentes teores de dióxido de titânio na resistência à compressão de argamassas, nessa pesquisa, corrobora com a bibliografia a respeito do tema. Nas variadas idades ensaiadas, houve corpos de prova que obtiveram ganho mecânico. De maneira geral, para 10% de substituição, os ensaios mostram que tal não confere benefícios à resistência, quer se trate da utilização de anatase ou rutilo. Evidentemente, para o caso do rutilo, apenas foram apresentados dados a idade de 7 dias, porém, a esta idade, se verifica a tendência acima explicitada.

Quanto aos teores que demonstraram ganho mecânico, podemos destacar que, de maneira geral, as argamassas com 5% apresentam os melhores resultados dentre todos os traços ensaiados. Essa tendência é restrita ao comportamento das argamassas com anatase, visto que os únicos traços ensaiados com rutilo tinham 5% e 10% de substituição, não sendo possível então comparar a resistência das argamassas com 3% e 5% rutilo. Entretanto, quando realizados os rompimentos de tais traços, se verifique tal comportamento.

Quanto a eficiência dos dióxidos de titânio comparadas entre si, foi possível observar que a 7 dias, o teor de 5% apresenta resultado extremamente semelhante entre os dois materiais usados, e para 10%, o rutilo apresenta pequena desvantagem mecânica. Como

para teores mais elevados, a resistência tende a ser desfavorecida, esperamos que os resultados comparativos entre as duas fases dos dióxidos siga a relação para o resultado comentado acima, com respeito as substituições com 5%, ou seja, as argamassas com o anatase devem apresentar melhores resultados que as argamassas com rutilo. Chen et al, apresenta comparações entre resistências à compressão de argamassas com as combinações das fases testadas neste trabalho, porém não em teores com apenas uma fase ou outra, mas com combinações da duas. O resultado mostra maiores ganhos de resistência para substituições com predominância de rutilo, porém o próprio autor atribui tal fenômeno ao tamanho dos cristais, e não a fase em si.

Devido ao dióxido de titânio ser um material inerte, como comentado nos trabalhos aqui citados, a sua atuação conjunta com a nano-sílica, possivelmente apresenta resistências mais elevadas que a ação isolada de um ou outro material junto ao cimento, visto que o anatase e rutilo funcionam, principalmente, como ocupante dos poros da argamassa, não influenciando na atuação física e química da nano-sílica. E como citado, a utilização da nano-sílica como substituição de cimento, possui resultados benéficos à resistência à compressão.

7. REFERÊNCIAS

ABDOUSS, M; JAFARBEGLOU, M; RAMEZANIANPOUR, A.A. **Nanoscience and nano engineering in concrete advances: a review**. Researchgate, Dez. 2015. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publicatio/290441230> >.

BAIRD, C.; CANN, M. Química Ambiental, 4ª ed., Porto Alegre/RS: Bookman, 2011.

BIRICIK, H; SAIRER, N. **Comparative study of the characteristics of nano silica, silica fume and fly ash incorporated cement mortars**. Materials research, v. 17(3), Dec. 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392014005000054> >.

CHEN, J.; KOU, SHI-CONG; P., CHI-SUN. Hydration and Properties of nano-TiO₂ cement blended cement composites. Cement and Concrete Composites, v. 34, p. 642-649, 2012. Disponível em: < www.elsevier.com/locate/cemconcomp >.

ESSAWY, A.A.; EL.ALEEM, S. Abd. **Physico-mechanical properties, potent adsorptive and photocatalytic efficacies of sulfate resisting cement blends containing micro silica and nano-TiO₂**. Construction and Building Materials, V.. 52, p.1–8, 2014. Disponível em: < www.elsevier.com/locate/conbuildmat >.

FELTRIN, J. **Estabilização a elevadas temperaturas da fase anatase com partículas submicrométricas de SiO₂**. 2012. Tese (Mestrado em ciência e engenharia de materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

FUJISHIMA, A.; ZHANG, X. **Titanium dioxide Photocatalysis: Present Situation and Future Approaches**, KSP Building West 614, 3-2-1 Sakado, Takatsu-ku, Kanagawa 213-0012, Japão, p. 751-759, Out. 2005. Elsevier. Disponível em: <http://france.elsevier.com/direct/CRAS2C/> >.

GOBBO, L.A. *Aplicação da difração de raios-x e método de Rietveld no estudo de cimento Portland*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2009.

LEE, B.Y; JAYAPALAN, A.R; KURTIS, K.E. **Effects of nano-TiO₂ on properties of cement-based materials**. Magazine of concrete research, v. 65 (21), p. 1293–1302, Set. 2013.

LFITI, M; GUEFRECH, A; MOUNANGA, P; KHELIDJ, A. **Experimental study of the effect of addition of nano-silica on the behavior of cement mortars**. Procedia Engineering, v. 10, p.900-905, 2011. Elsevier. Disponível em: < www.sciencedirect.com >.

SAID, A.M; ZEIDAN, M.S; Bassuoni, M.T; TIAN, Y. **Properties of concrete incorporating nano-silica**. Construction and Building Materials, v. 36, p. 838–844, 2012. Elsevier. Disponível em: < <https://www.journals.elsevier.com/construction-and-building-materials> >.

WANG, L; ZHENG, D; ZHANG, S; CUI, H. **Effects of nano- SiO₂ on the hydration and microstructure of Portland Cement**. MDPI, v. 6, p. 241, Dec. 2016. Nanomaterials. Disponível em: < www.mdpi.com/journal/nanomaterials >.

ZHAO, J.; YANG, X. **Photocatalytic for indoor air purification: a literature review.** Departamento de engenharia Civil, Ambiental e Arquitetura, Universidade de Miami, Coral Gables, FL 33124-0630, USA, p.645-654, Out. 2002. Elsevier. Disponível em: < www.elsevier.com/locate/buildenv >.