

Análise das Propriedades da Argamassa com Diferentes Teores de Grafite por Substituição Parcial de Cimento Portland

Analysis of Mortar Properties with Different Graphite Contents by Partial Replacement of Portland Cement

Análisis de Propiedades de Morteros con Diferentes Contenidos de Grafito por Reemplazo Parcial de Cemento Portland

Recebido: 23/04/2022 | Revisado: 30/04/2022 | Aceito: 03/05/2022 | Publicado: 05/05/2022

Anna Julia Henrique Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8083-9305>
Universidade de Rio Verde, Brasil
E-mail: annajuliahribeiro@gmail.com

Gabriel Tizo Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6534-1285>
Universidade de Rio Verde, Brasil
E-mail: gtizo100@gmail.com

Milton Batista Ferreira Junior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8272-3610>
Universidade de Rio Verde, Brasil
E-mail: milton.junior@unirv.edu.br

Michael Dowglas de Gois Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5162-9368>
Universidade de Rio Verde, Brasil
E-mail: michael@unirv.edu.br

Resumo

Sabe-se que argamassa é uma mistura homogênea de agregados miúdos com aglomerantes inorgânicos e água, podendo conter aditivos com propriedades que melhoram a aderência ou aceleram o processo de endurecimento do material. Visando aprimorar melhorias nas propriedades mecânicas desse composto, este trabalho teve como objetivo analisar suas propriedades através da substituição parcial de 5% (T1), 10% (T2) e 15% (T3), do cimento Portland por grafite. Para avaliar as características, foram realizados ensaios normativos de resistência a compressão, tração na compressão diametral, à aderência e absorção de água por capilaridade. Foi possível constatar que à medida que o teor de grafite aumenta, há redução da resistência à compressão, porém ocorre um considerável acréscimo de resistência aos esforços de tração (tração na compressão diametral e à aderência). Dessa forma, acredita-se ser possível utilizar o grafite como substituição parcial do cimento Portland, o que promoveria uma redução na poluição do meio ambiente, devido ao fato de reduzir a quantidade de cimento, consequentemente diminuindo a emissão de CO₂ da argamassa.

Palavras-chave: Argamassa; Grafite; Resistência mecânica; Substituição.

Abstract

It is known that mortar is a homogeneous mixture of fine aggregates with inorganic binders and water, and may contain additives with properties that improve adhesion or accelerate the hardening of the material. Aiming to improve improvements in the mechanical properties of this composite, this work aimed to analyze its properties through the partial replacement of 5% (T1), 10% (T2) and 15% (T3) of Portland cement by graphite. To evaluate the characteristics, normative tests of compressive strength, tensile strength in diametral compression, adhesion and water absorption by capillarity were carried out. It was possible to verify that as the graphite content increases, there is a reduction in compressive strength, but there is a considerable increase in resistance to traction efforts (traction in diametral compression and adhesion). In this way, it is believed to be possible to use graphite as a partial replacement of Portland cement, which would promote a reduction in environmental pollution, due to the fact that it reduces the amount of cement, consequently reducing the CO₂ emission of the mortar.

Keywords: Mortar; Graphite; Mechanical resistance; Replacement.

Resumen

Es conocido que el mortero es una mezcla homogénea de áridos finos con ligantes inorgánicos y agua, y puede contener aditivos con propiedades que mejoran la adherencia o aceleran el endurecimiento del material. Con el objetivo de mejorar las mejoras en las propiedades mecánicas de este compuesto, este trabajo tuvo como objetivo

analizar sus propiedades a través de la sustitución parcial de 5% (T1), 10% (T2) y 15% (T3) de cemento Portland por grafito. Para evaluar las características se realizaron ensayos normativos de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción en compresión diametral, adherencia y absorción de agua por capilaridad. Se pudo verificar que a medida que aumenta el contenido de grafito, hay una reducción en la resistencia a la compresión, pero hay un aumento considerable en la resistencia a los esfuerzos de tracción (tracción en compresión diametral y adherencia). De esta forma, se cree que es posible utilizar el grafito como reemplazo parcial del cemento Portland, lo que promovería una reducción de la contaminación ambiental, debido a que reduce la cantidad de cemento, reduciendo consecuentemente la emisión de CO₂ del mortero.

Palabras clave: Mortero; Grafito; Resistencia mecánica; Reemplazo.

1. Introdução

O desenvolvimento e aprimoramento de materiais utilizados na construção civil é uma constante na humanidade, uma vez que a compreensão de suas propriedades, bem como a manipulação delas, permitiu a evolução das civilizações. Nesse sentido destaca-se a argamassa, pois ela é utilizada para diferentes aplicações tais como alvenaria entre tijolos ou pedras, revestimentos em paredes, preenchimentos, desde tempos remotos. No Egito antigo, utilizava-se lama, gesso e cal como ligantes (Elsen, 2006).

De acordo com a NBR 13281 (2005) a argamassa pode ser considerada como uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, podendo conter ou não aditivos com diferentes finalidades, tais como, aumento da aderência, acelerar o processo de endurecimento, entre outras. Em relação a sua utilização destacam-se o assentamento de alvenaria de vedação, assentamento de alvenaria estrutural, complementação da alvenaria, revestimentos interno e externo (chapisco, emboço e reboco), decorativa em camada fina, decorativa em monocamada, etc.

Atualmente existem três tipos principais de argamassa para revestimento, a mais clássica, produzida em obra, sendo necessário cimento, agregado miúdo, cal, água, e em muitos casos, aditivos. Outro tipo é a argamassa industrializada que é ensacada e, para seu uso, é necessário somente misturar com água. Recentemente é possível encontrar argamassa estabilizada dosada, que é comercializada pronta para o uso, sem a necessidade de adições (Silva, 2006).

É muito comum a argamassa apresentar manifestações patológicas. O fenômeno da retração, ou seja, diminuição do volume da argamassa ou do concreto devido à perda de água, que pode ocorrer por sucção para o substrato, por evaporação e até mesmo pelas reações químicas ocorridas pelos componentes da cal e o cimento pode resultar em uma das manifestações patológicas de grande destaque na ciência e tecnologia de materiais para construção civil, que são as fissuras e trincas. As propriedades reológicas – elasticidade, viscosidade, plasticidade e escoamento da matéria – interferem diretamente nos resultados da retração plástica, necessitando que a argamassa possua uma viscosidade adequada para facilitar a trabalhabilidade no momento de execução (Silva, 2011).

O fenômeno da retração pode ser classificado a partir da sua causa, podendo ser de origem térmica, hidráulica, plástica ou autógena. A retração térmica se refere a variação do volume em função da variação da temperatura da argamassa, sendo provocada pela reação química dos materiais que compõe o traço. A retração hidráulica acontece quando há uma maior perda de água livre para o ambiente resultando em seguida uma secagem brusca, ocasionando fissuras e empenamento das bordas. A retração plástica como o nome já diz ocorre no estado plástico, quando há a evaporação da água na superfície, excedendo a taxa disponível de água de exsudação. Por fim, a retração autógena, origina-se quando há uma diminuição macroscópica dos materiais cimentícios após início da pega (Silva, 2011)

O carbono é um material que tem se demonstrado interessante ao investigar as alterações nas propriedades do concreto devido sua inserção na matriz cimentícia. Existem estudos com inserção do carbono no concreto em suas diferentes formas alotrópicas – formas diferentes as quais utilizam a mesma composição atômica – como, por exemplo, o grafeno (Dimov, 2018) e nanotubos de carbono (Marcondes, 2012). Porém, a sua forma mais popular, o grafite, não possui muitos relatos.

Segundo Kelly (1981) o descobrimento do grafite se deu no início do século XV, em solo alemão, porém sua utilização definitiva ocorreu em 1565, após grande exploração nas minas de grafite na região da Grã-Bretanha, caracterizando-se como cristalino, amorfo – sem forma determinada – e em flocos. A forma cristalina se caracteriza por ter alta pureza, mas é extraída apenas do Sri Lanka usando técnicas específicas de mineração de poços e superfícies. Já a forma amorfa é considerada como a menos “grafítica” dentre os grafites naturais, pois pode ser encontrada como partículas minúsculas em camadas de rochas mesomórficas, tendo teores de grafite variando de 25% a 85%. Por fim, a forma de grafite em flocos, é encontrada em rochas metamórficas estando disponível em muitos lugares no mundo (Pierson, 2012).

O grafite tem grande aplicação na indústria de materiais em função de sua resistência a temperaturas altas, por possuir um alto ponto de fusão, sendo ideal para produção de materiais que possam ser altamente aquecidos, como refratários. Para a indústria nuclear, a alta pureza do eletrografite, utilizada em função de sua baixa absorção de nêutrons, alta condutividade térmica e resistência a altas temperaturas, é aplicada na produção de hastes moderadoras e componentes refletores em reatores (Palacio, 2020).

Na engenharia civil, estudos comprovam a efetividade térmica da adição ou substituição parcial do cimento por pó de grafite. De acordo com Liu (2008), inúmeros tipos de *filler* quando adicionados ao concreto podem melhorar a condição de resistência mecânica do corpo de prova, porém *fillers* minerais, possuem a capacidade de aprimorar suas propriedades térmicas de alta temperatura. Observou-se um aumento de 5°C na resistência ao calor a cada 1% (taxa baseada no volume total do concreto, uma vez que o concreto utilizado na pesquisa era usinado) do teor de grafite adicionado na mistura.

Segundo Rew (2017), a adição de grafite com teores de 2% a 3% da massa de cimento, possibilita a argamassa alcançar uma alta condutividade elétrica e obter um ganho de 40% na resistência à tração do corpo de prova (CP), apresentando vantagens da utilização do pó de grafite como aglomerante para alcançar melhorias nas propriedades mecânicas em compósitos cimentícios.

O melhoramento das propriedades físicas e químicas de compósitos cimentícios, tem sido o principal objetivo das pesquisas. Tendo em mente que as propriedades da argamassa com a inserção de nanocompósitos de base carbônica apresentam melhorias em algum grau, esta pesquisa tem como objetivo analisar o desempenho mecânico da argamassa com substituição parcial de cimento por grafite em pó.

Tendo isso em mente, o objetivo geral deste trabalho foi investigar as propriedades mecânicas da argamassa, analisando os efeitos da substituição parcial de cimento por diferentes teores de grafite em pó. Para tanto, foi determinado a absorção de água por capilaridade, bem como a análise da resistência à compressão, tração, e aderência do material à sua base de aplicação.

2. Metodologia

2.1 Materiais

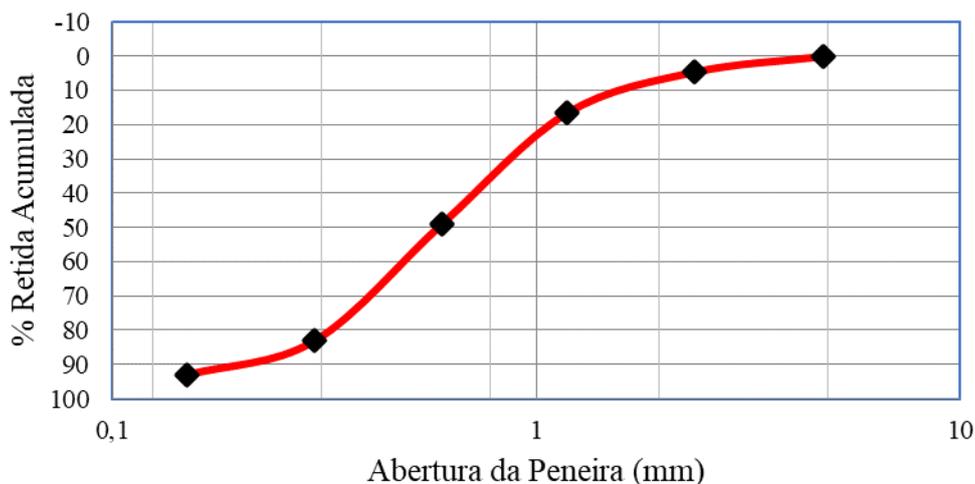
2.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado foi o CII-F32, da marca Goiás, conforme NBR 16697 (2018). Esse aglomerante foi escolhido em função de sua vasta utilização no setor da construção civil, com ênfase na produção de revestimento argamassado, principalmente na região goiana. Em sua caracterização obteve-se resultado de massa específica (NBR 16605:2017) de 2993 kg/m³, índice de finura pelo método da peneira n°200 (NBR 11579-2013) de 4,61% e tempo de pega (NBR 16607:2018) sendo de 190 minutos.

2.1.2 Agregado miúdo

Foi empregado o uso da areia fina, adquirida da draga do Depósito Paraíso, do leito do Rio Verdinho localizado no município de Rio Verde, em Goiás. Antes de especificar suas características técnicas prescritas pela NBR 7214 (2015) o agregado foi seco em estufa por 24h. Sua caracterização foi feita a partir da determinação da massa específica e absorção de água (NBR 16916:2021), resultante em 2621 kg/m^3 , massa unitária (NBR 16972:2021) de 1477 kg/m^3 e granulometria (NBR NM 248:2003), conforme Gráfico 1.

Gráfico 1 – Composição granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Autores.

2.1.3 Cal Hidratada

A cal utilizada foi a CHIII, da marca Votorantim, adquirida da Construtora Fetz de acordo com os parâmetros da NBR 7175 (2003). Na caracterização foi obtido a massa específica, tendo o mesmo procedimento que o realizado para o cimento (NBR 16605:2017) com o resultado de 2500 kg/m^3 .

2.1.4 Pó de grafite

O pó de grafite a ser utilizado foi da marca Graf Solo, um grafite natural cristalino, sólido cinza brilhantado e inodoro, com propriedades lubrificantes e ponto de fusão a $3.650 \text{ }^\circ\text{C}$ e densidade variando de $2100 \text{ a } 2300 \text{ kg/cm}^3$ (GrafSolo, 2016).

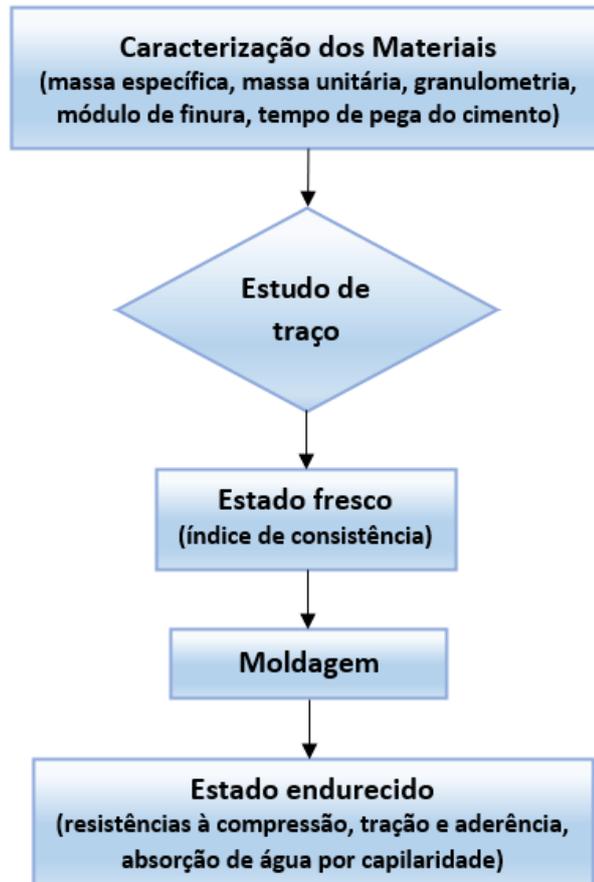
2.1.5 Água

A água, utilizada em temperatura ambiente, é oriunda da rede de abastecimento de água da Universidade de Rio Verde.

2.2. Métodos

A metodologia que foi empregada nesta pesquisa está descrita no fluxograma da Figura 1, demonstrando os passos realizados para sua execução.

Figura 1 – Fluxograma de metodologia.



Fonte: Autores.

Para atender os objetivos deste trabalho, foi tomado como referência o traço definido por Dubaj (2000). A partir deste, o traço foi alterado substituindo parcialmente o cimento por grafite em concentrações diferentes. Com base em Dubaj (2000), o traço unitário de 1:1:6 (cimento:cal:areia), obteve o melhor desempenho quanto às propriedades mecânicas, especialmente à resistência à aderência. Contudo, foram necessárias adequações na relação água/aglomerante.

Na pesquisa de Dubaj (2000) a relação água/aglomerante foi de 0,92 e obteve-se um índice de consistência de 280 mm. Porém, ao reproduzir o traço, o índice de consistência foi de 395 mm, ou seja, a argamassa ficou muito fluida, inapta para sua aplicação como revestimento. Dessa forma, optou-se pela relação água/aglomerante de 0,75, fazendo uma substituição com 5% (T1) de grafite pelo cimento, 10% (T2) e 15% (T3), (Braun, 2015).

A cal tem por objetivo melhorar a resistência à compressão e à aderência da argamassa por sua capacidade de reter água em torno de suas partículas. Este fato melhora a eficácia do cimento na produção de revestimento argamassado. No estado fresco foi realizado o índice de consistência para cada traço, como pode ser visto na Tabela 1 (NBR 13276:2016). Para realizar os ensaios no estado endurecido, foram produzidos CPs de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura (ABNT NBR 7215:2019). Foram moldados 6 e 9 para as idades de 7 e 14 e 28, respectivamente, totalizando 84 CPs.

Tabela 1 – Índice de consistência dos traços.

TRAÇO	Proporção (cimento:grafite:cal:areia)	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (mm)
Referência (TR)	1 : 1 : 6	280
(T1)	0,95 : 0,05 : 1 : 6	270
(T2)	0,90 : 0,10 : 1 : 6	265
(T3)	0,85 : 0,15 : 1 : 6	255

Fonte: Autores.

Para analisar o comportamento da argamassa como revestimento, foi construída uma parede com tijolos cerâmicos (9 cm x 19 cm x 24 cm) para em seguida aplicar o emboço, como demonstrado na Figura 2. Quatro dias após o assentamento da alvenaria, foi feito o chapisco, utilizando traço convencional de 1:3 (cimento:areia), para em seguida aplicar os diferentes traços de argamassa para emboço na parede (NBR 13529:2013).

Figura 2 – Parede, chapisco e emboço executados pelos alunos. a) Alvenaria; b) Chapisco; c) Emboço.



Fonte: Autores.

No estado endurecido realizou-se o ensaio de resistência à compressão e tração (NBR 7215:2019 e NBR 7222:2011, respectivamente). Para ambos foi necessário utilizar a EMIC INSTRON 23 300 (máquina digital de ensaios) do Laboratório das Engenharias da Universidade de Rio Verde (Figura 3). Foram rompidos 6 corpos de prova para cada idade de cada traço de argamassa para os dois ensaios.

Figura 3 – EMIC INSTRON 23 300.



Fonte: Autores.

Para ensaio de resistência à aderência foi utilizado um dinamômetro de tração que possibilita uma aplicação de carga contínua, como pode ser visto na Figura 4. Para acoplar o aparelho, pastilhas de fixação com 50 mm de diâmetro são coladas no substrato, com o auxílio da massa plástica (cola adesiva), (NBR 13528-2:2019).

Figura 4 – Ensaio de arrancamento - resistência à aderência por tração. a) Cola para as pastilhas; b) Dinamômetro de tração; c) Furos no emboço; d) Marcações para penetração de serra copos.



Fonte: Autores.

Para a determinação do ensaio de absorção de água por capilaridade, os CPs foram secados em estufa à temperatura

de 105 °C durante 24h. Após o resfriamento dos CPs foram determinadas suas massas. Em seguida, os CPs foram colocados em um recipiente com água, não ultrapassando 5 mm da sua face inferior, realizando a pesagem em 3h, 6h, 24h, 48h e 72h (NBR 9779:2012).

3. Resultados e Discussão

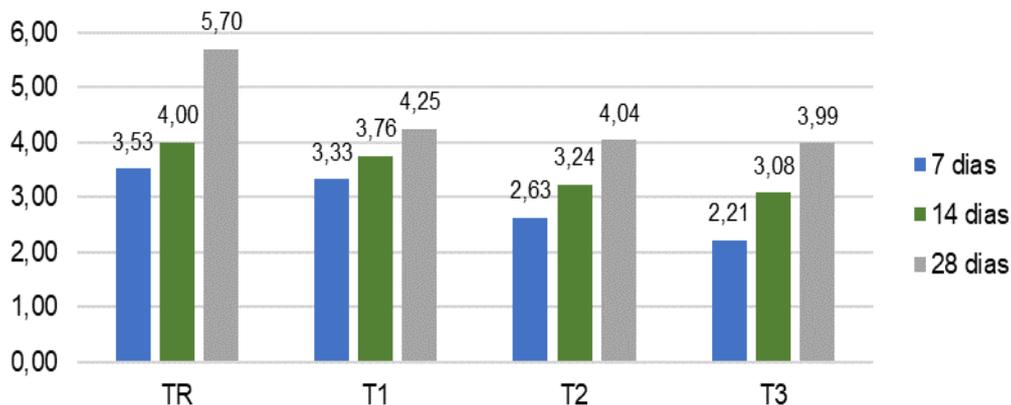
Nesta seção serão apresentados os resultados dos ensaios realizados nos traços definidos na metodologia e a interpretação dos mesmos tomando como referência dados já obtidos na literatura.

3.1 Resistência à Compressão

Foi possível perceber que a alteração na relação água/aglomerante fez com que a resistência à compressão do traço de referência (TR) aumentasse em aproximadamente 41% quando comparado ao traço de Dubaj (2000), que aos 28 dias resultou em 4,05 MPa.

Quando é realizada substituição parcial do cimento, é notável o comprometimento progressivo da resistência à compressão dos CPs, como pode ser visto no Gráfico 2. É possível perceber que quanto menor a presença de material cimentício (T3), menor é sua resistência a esse esforço, pois é perdida parte da ação aglomerante da argamassa. Mesmo que os vazios sejam preenchidos pelo grafite, as características desse material não são equivalentes às do cimento.

Gráfico 2 – Resistência à compressão dos CPs.



Fonte: Autores.

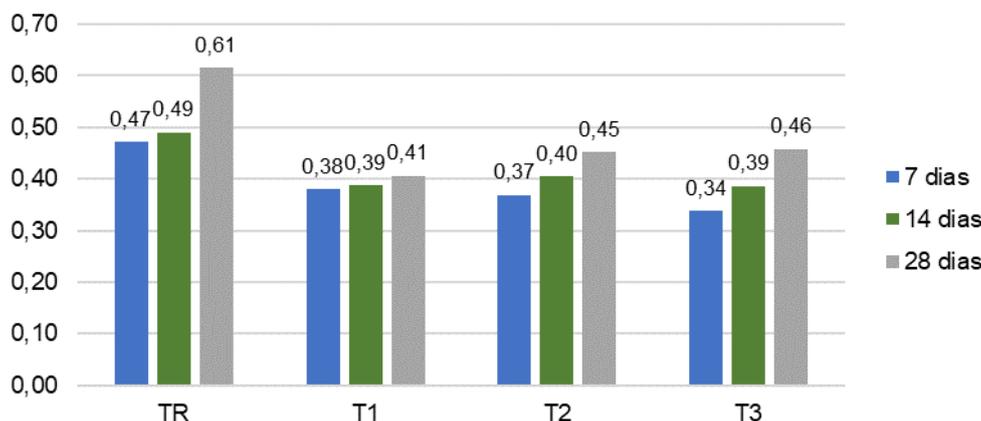
Para compósitos cimentícios, os esforços de cisalhamento são os causadores da ruptura do CP na resistência à compressão. Sabe-se também que as propriedades lubrificantes do grafite se dão em função das ligações atômicas fracas de forças de Van der Waals, facilitando o deslizamento das camadas da estrutura atômica do grafite. Desse modo, é possível concluir que os esforços de cisalhamento desse ensaio superam a resistência das uniões de Van der Waals das camadas de grafite e causam o deslizamento das mesmas. Assim, à medida que a quantidade de grafite substitui o cimento, menor será a resistência à compressão (Mendonça, 2019).

Além dos fatores previamente apresentados, pode-se inferir que a queda na resistência à compressão tem relação com o calor de hidratação, uma vez que houve mudança na quantidade de cimento. Contudo, se faz necessário um estudo em ordem microestrutural para que se tenha essa confirmação (Carneiro et al., 2011).

3.2 Resistência à Tração

Por ser um ensaio de baixo custo que segue a mesma metodologia do ensaio de resistência à compressão, foi analisada também a resistência à tração por compressão diametral para avaliar o comportamento dos CPs. Os resultados estão apresentados no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Resistência à tração dos CPs.



Fonte: Autores.

O TR apresentou uma resistência à tração 35,56% maior do que o traço de Dubaj (2000), cuja resistência aos 28 dias foi de 0,45 MPa. Mais uma vez, isso ocorreu em função do reajuste de água realizado antes da dosagem, que influencia no aumento de resistência dos CPs (Dubaj, 2000).

De acordo com os resultados, nota-se uma diminuição da resistência à tração com as substituições quando comparado ao TR, ou seja, comportamento semelhante ao da resistência à compressão. Porém, aos 28 dias, houve um pequeno acréscimo na resistência à tração com o aumento da substituição de grafite, quando comparados T1, T2 e T3. Os parâmetros apresentados estão dentro dos resultados obtidos na literatura.

Sabe-se que os compósitos cimentícios não possuem altos desempenhos na resistência à tração, o que caracteriza o processo de fratura frágil. Esse processo corresponde ao desenvolvimento e disseminação de trincas na direção perpendicular à carga aplicada no CP ao longo de sua seção transversal. Assim, quando microtrincas são formadas internamente ao CP, os vazios e as extremidades dos grãos existentes na argamassa possuem a função de concentradores de tensão, ocasionando a propagação de trincas maiores (Mendonça, 2019).

Dessa forma, é possível analisar que a substituição de grafite não influencia na possibilidade de redução na resistência à tração do mesmo modo que impacta na resistência à compressão, em função da presença massiva de concentradores de tensão existentes na argamassa, podendo ser observado um pequeno aumento gradativo aos 28 dias do T1, T2 e T3.

Apesar da resistência à tração não apresentar queda progressiva dos resultados, como demonstrado no ensaio de resistência à compressão, nada impede que o calor de hidratação do cimento influencie a mesma, pois, vale ressaltar que houve mudança na quantidade de cimento. Em vista disso, torna-se importante um estudo microestrutural para observar o comportamento da substituição parcial do cimento (Carneiro et al., 2011).

3.3 Resistência de Aderência à Tração

Resistência de aderência à tração tem como objetivo avaliar a capacidade de resistir a tensões na interface com o substrato, entretanto a aderência não é uma propriedade da argamassa e sim uma forma de avaliar as propriedades de interação entre a base, preparo da base e revestimento.

Tendo isso em mente, foi analisada a resistência de aderência para os traços investigados. Pode-se concluir que houve um aumento gradativo na resistência de aderência à medida que foi feita substituição de grafite, como pode ser visto no Gráfico 4.



Fonte: Autores.

Cabe ressaltar que a ABNT NBR 13749:2013 estabelece valores mínimos para resistência a aderência para revestimentos, sendo de 0,20 MPa para paredes internas e 0,30 para paredes externas. Dessa forma, pode-se concluir que desde a primeira substituição (T1), já é possível utilizar o traço como revestimento, sendo que a maior substituição (T3) atende a norma para revestimento externo.

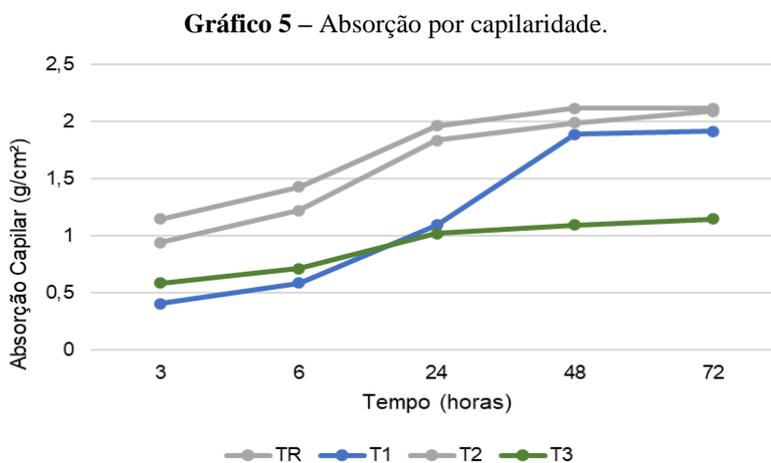
Deve-se analisar os resultados de acordo com o rompimento da argamassa, estabelecido pela norma, onde define que se o rompimento ocorreu na interface substrato/chapisco e chapisco/argamassa, o valor da resistência é a mesma obtida do ensaio. Se ocorrer a ruptura no substrato, no chapisco, na argamassa ou na interface argamassa/cola, o ensaio não foi capaz de determinar o valor real, sendo possivelmente maior do que apresentado (NBR 13528:2019).

A ocorrência do aumento da resistência a aderência, deve ser estudada mais a fundo microscopicamente para verificar o comportamento real do grafite na matriz cimentícia da argamassa, e como suas propriedades afetaram diretamente nesses resultados.

3.4 Absorção de água por capilaridade

Uma das principais funções da argamassa é a proteção dos elementos de vedação contra os efeitos diretos dos agentes agressivos. Dessa forma, a permeabilidade é um dos critérios mais favoráveis para uma boa durabilidade do revestimento.

O ensaio de absorção de água por capilaridade, tem como objetivo verificar o quanto o material absorve a água em determinado tempo, com isso é possível analisar qual material será mais viável em vista da durabilidade. Dessa forma, os dados da capilaridade para os traços estudados estão apresentados no Gráfico 5.



Fonte: Autores.

De acordo com os dados é possível notar que o T3 (15%) teve menor absorção de água com a menor taxa de absorção no intervalo de tempo do ensaio. Já o T1 (5%), teve uma redução no intervalo de 3h as 6h, porém teve um aumento relativamente grande em relação ao T3. O TR e T2 (10%) apresentaram uma pequena taxa de absorção, porém a absorção de água por capilaridade foi maior do que as dos outros traços. A partir desse resultado a argamassa com 15% de substituição é a mais adequada para revestimentos como emboço.

4. Considerações Finais

Tendo em vista a melhoria das características físicas e químicas dos produtos cimentícios, o presente trabalho investigou os efeitos da substituição parcial do cimento Portland por grafite verificando que à medida se aumenta o teor de substituição ocorre comprometimento na resistência à compressão. Contudo, o mesmo não foi observado para a resistência à tração, apresentando um aumento gradativo quando comparado os traços com teores de grafite aos 28 dias. O mesmo ocorre com a resistência à aderência para 28 dias.

A partir dos resultados acredita-se que o material investigado pode ser utilizado para emboços. Dessa forma, seria possível reduzir custos de mão de obra e materiais para reboco, uma vez que seu acabamento se mostra excelente para estágio final de recebimento de pinturas, texturas ou revestimento cerâmico.

Acredita-se ser possível utilizar o grafite como substituição parcial do cimento Portland, o que promoveria uma redução na poluição do meio ambiente, devido ao fato de reduzir a quantidade cimento, consequentemente diminuindo a emissão de CO₂ da argamassa.

Agradecimentos

À Universidade de Rio Verde, pela disponibilização dos laboratórios do curso de Engenharia Civil onde os testes e ensaios foram realizados com o auxílio do técnico responsável.

Referências

- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR NM 248 (2003). *Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 7175 (2003). *Cal hidratada para argamassas – Requisitos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 7214 (2015). *Areia normal para ensaio de cimento – Especificação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 7215 (2019). *Cimento Portland – Determinação de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.

- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 7222 (2011). *Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 9779 (2012). *Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 11579 (2013). *Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 13276 (2016). *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 13281 (2005). *Argamassa para assentamentos e revestimento de paredes e tetos -- Requisitos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 13528-2 (2019). *Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração – Parte 2: Aderência ao substrato*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 13749 (2013). *Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Especificação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 16605 (2017). *Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 16607 (2018). *Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 16697 (2018). *Cimento Portland - Requisitos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 16916 (2021). *Agregado miúdo - Determinação da densidade de da absorção de água*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 16972 (2021). *Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios*. Rio de Janeiro.
- Braun, C. E. (2015). *Determinação instantânea da relação água-cimento e da resistência à compressão do concreto no estado fresco através do método da resistividade elétrica*. (Dissertação). <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/5002>
- Carneiro, G. V. H. S.; Gil, L. K. S & Neto, M. P. C (2011). *Calor de Hidratação no Concreto* (Trabalho de conclusão de curso). https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/CALOR_DE_HIDRATA%C3%87%C3%83O_NO_CONCRETO.pdf.
- Chung, D. D. L (2002). Review graphite. *Journal of materials science*, 37(8), 1475-1489.
- Elsen, J. (2006). Microscopy of historic mortars – a review. *Cement and concrete research*, 36(8), 1416-1424.
- Dimov, D. et al. (2018). Ultrahigh performance nanoengineered graphene–concrete composites for multifunctional applications. *Advanced Functional Materials*, 28(23), 170-183.
- Dubaj, E. (2000). *Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre* (Dissertação). <http://hdl.handle.net/10183/2442>.
- Grafsolo (2016). Ficha de informações de segurança de produto químico. <http://emavi.com.br/archives/FISPQ-GRAFITE-NATURAL-CRISTALINO-Grafine-Grafsolo-004-12042018.pdf>.
- Kelly, B. T (1981). Physics of graphite. United Kingdom: *Applied Science*. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:13661340.
- Liu, X. et al. (2008) Properties evaluation of asphalt-based composites with graphite and mine powders. *Construction and Building Materials*, 22(3), 121-126.
- Marcondes, C. G. N. (2012). *Adição de nanotubos de carbono em concretos de cimento Portland-absorção, permeabilidade, penetração de cloretos e propriedades mecânicas* (Dissertação). <https://hdl.handle.net/1884/28958>
- Mendonça, M. G. S. (2019). *Influência de adições de grafite, óxido de grafite e grafite-like em argamassa de cimento Portland: durabilidade, propriedades mecânicas e resistividade elétrica* (Tese). <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/13053>.
- Milagres, E. A. (2019). *Retração e secagem do concreto: estudo da retração do concreto: estudo da retração do concreto e o aparecimento de patologias* (Trabalho de conclusão de curso). <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/34122/3/monografia%20FINAL%2028%2002%202020.pdf>.
- Palacio, M. G. et al. (2020). Aplicações do carbono: a relevância do grafite no setor industrial. *ETIC – Encontro de Iniciação Científica* – 16(16).
- Pierson, H. O. (2012). *Handbook of carbon, graphite, diamonds and fullerenes: processing, properties and applications*. William Andrew.
- Rew, Y. et al. (2017). Electrical and mechanical properties of asphaltic composites containing carbon based fillers. *Construction and Building Materials*, 135, 394-404.
- Salomão, M. C. F. (2016). *Estudo da estrutura das argamassas de revestimento e sua influência nas propriedades de transporte de água* (Tese). <http://repositorio.unb.br/handle/10482/22750>.
- Silva, N. G. (2006). *Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária* (Dissertação). <https://hdl.handle.net/1884/4660>.
- Silva, N. G. (2011). *Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica* (Tese). <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/95497>.