

BLOCOS MODULARES NÃO CONVENCIONAIS COM SUBPRODUTOS DE BRITAGEM: INFLUÊNCIA DE PIGMENTOS INORGÂNICOS

Modular blocks with crushing by-products: Influence of Inorganic Pigments

Edgar Bacarji ¹, Fabíolla Xavier Rocha Ferreira ², Larissa Alves de Souza ³, Henrique Santiago de Camargo ⁴



PALAVRAS CHAVE:

Blocos Modulares;
Pigmentos;
Absorção de água;
Resistência a compressão;
MEV;

KEYWORDS:

Modular blocks;
Pigments;
Water absorption;
Compressive strength;
SEM;

RESUMO: Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito da adição dos pigmentos inorgânicos nas cores vermelha, amarela e verde em blocos destinados à construção modular. Os blocos foram fabricados com o traço 1:5 (cimento: agregados totais), em massa, utilizando como agregados areia artificial, filer e micro filer; todos, subprodutos de britagem. Foram incorporados 0% (traço de referência), 5%, 10% e 15% dos pigmentos em relação à massa do cimento e em substituição parcial ao filer. Para a confecção dos blocos, utilizou-se uma prensa hidráulica com capacidade de prensagem de 8,0 tf. Foram determinadas as densidades dos blocos e realizados os ensaios de absorção total de água e de resistência à compressão. Além disso, com o fim de analisar os efeitos dos pigmentos sobre a porosidade dos blocos, foram realizados ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), que indicaram uma microestrutura mais densa para os blocos que apresentaram menor absorção total de água. Verificou-se ainda que o efeito da adição dos pigmentos varia conforme o formato dos grãos e porcentagem de pigmento. Os blocos que tiveram melhores desempenhos mecânicos foram os com 5% de pigmento amarelo, 10% e 15% de pigmento verde e 15% de pigmento vermelho, todos estes com desempenhos superiores ao desempenho dos blocos de referência, sem pigmento.

ABSTRACT: This research aimed to evaluate the effect of the addition of inorganic pigments in red, yellow, and green colors in blocks intended for modular construction. The blocks were manufactured with the mix 1:5 (cement: total aggregates), in mass, using artificial sand, filler and micro filler as aggregates; all crushing by-products. Reference mix (0%) and 5%, 10% and 15% of the pigments were incorporated in relation to the cement mass and in partial replacement of the filler. To make the blocks, a hydraulic press with a pressing capacity of 8.0 ton was used. Block densities were determined, and total water absorption and compressive strength tests were performed. Furthermore, to analyze the effects of pigments on the porosity of the blocks, Scanning Electron Microscopy (SEM) tests were carried out, which indicated a denser microstructure for the blocks that showed lower total water absorption. It was also found that the effect of adding pigments varies according to the shape of the grains and the percentage of pigment. The blocks that had the best mechanical performance were those with 5% of yellow pigment, 10% and 15% of green pigment and 15% of red pigment, all of which performed better than the reference blocks without pigment.

* Contato com os autores:

Publicado em 12 de maio de 2023

¹ e-mail: edgar@ufg.br (E. Bacarji)

Eng. Civil, doutor, professor, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás (UFG).

² e-mail: fabiollla_lima@ufg.br (F. X. R. Ferreira)

Arquiteta, Doutora, professora, Escola de Agronomia – Engenharia de Biosistemas, Universidade Federal de Goiás (UFG).

³ e-mail: slarissa@discente.ufg.br (L. A. Souza)

Graduanda em engenharia civil, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás (UFG).

⁴ e-mail: henrique_camargo@discente.ufg.br (H. S. Camargo)

Químico industrial, doutor, Laboratório de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) de Bioprodutos – Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Goiás (UFG).

1. INTRODUÇÃO

A alvenaria com blocos modulares de solo cimento caracteriza-se como um sistema construtivo atraente em função da economia com materiais, posto que dispensa o uso da madeira para fôrmas, ferragens, concretos etc. Economiza-se também com a mão de obra e prazos de execução, em função da redução com as etapas executivas. O estudo do solo cimento como material de construção não é recente. Como exemplo, citam-se os trabalhos de Prusi (1942) e Enos (1948). O primeiro autor demonstrou que a durabilidade deste material deveria ser bem estudada. Na década de 1970, Jackson (1974) desenvolveu seu trabalho com o foco sobre a lixiviação do material; Wang et al. (1977), testaram o uso de aditivos químicos no material. Daí em diante, em função das particularidades de cada região e país, os estudos envolvendo o solo cimento se multiplicaram. No Brasil, por exemplo, podem-se citar: Moraes (1982), que estudou o surgimento de trincas em paredes de alvenaria autoportante de tijolos ou blocos de solo-cimento; sua ênfase foi no estudo das variações volumétricas em função das variações de umidade a que está sujeito o material, como a principal causa do surgimento de trincas nestes tipos de paredes; D'Amico (1983), que contribuiu no desenvolvimento de uma metodologia de dosagem para várias misturas de solo-cimento aplicadas à fabricação de tijolos e Santos (2002), que deu enfoque no estudo da viabilidade de construções com terra crua para edificações de interesse social.

A técnica utilizada para a produção de blocos modulares com solo cimento, além das vantagens como o baixo custo de produção apresenta, como consequência, a possibilidade de resgate da cidadania e dignidade de moradores de bairros carentes, como mostrado por Lima e Alexandre (2006). Sobre a falta de moradias no Brasil, o relatório sobre a Região Metropolitana de Goiânia (OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES, 2005) expôs alguns problemas urbanos que afetam a vida dos moradores. Um dos problemas apresentados no relatório foi a baixa infraestrutura de muitas moradias, em sua maioria, situadas nas periferias das cidades que compõem a região metropolitana, que mal possuem iluminação, água tratada e instalações sanitárias. Periferias semelhantes às de Goiânia existem por todo o país e poderiam ser urbanizadas, a começar com a construção de casas com materiais eficientes e mais atraentes.

A construção com blocos ou tijolos de solo-cimento, apesar de viável no aspecto de economia, segurança e de beleza arquitetônica, tem o inconveniente de possuir baixa durabilidade, quando exposta às intempéries ou ambientes úmidos. Isto se deve a alta absorção de água do produto, que pode variar entre 15% e 20%, a depender das proporções e qualidade dos materiais, conforme visto em Miranda (2007) e Lima (2007). A fim de reduzir a alta absorção de água destes tijolos, pode-se incorporar novas matérias primas, bem como incorporar pigmentos inorgânicos coloridos, o que agrega valor ao produto.

Quanto ao estudo da influência dos pigmentos coloridos em concretos e argamassas aparentes, este tem sido extensivo, principalmente entre os anos 2000 e 2015. Podem-se citar: Lee et al. (2003), que estudaram as propriedades de blocos intertravados de concreto com adição de pigmentos, Lee et al. (2005), que estudaram a influência dos pigmentos amarelo, vermelho e verde sobre a fluidez de argamassas; neste caso, o pigmento verde foi o que proveu melhores resultados. Aguiar (2006), avaliou a influência do teor de adição de pigmentos na resistência à compressão dos concretos de cimento Portland branco. Foram utilizados os pigmentos amarelo, vermelho e verde. Como resultados, a autora observou queda na resistência à compressão, bem como redução da trabalhabilidade, para todos os concretos contendo os pigmentos. Piovesan (2009), analisou a influência dos pigmentos coloridos na durabilidade e na cromacidade de concretos de cimento Portland branco. A autora concluiu que os pigmentos não alteraram de forma significativa as propriedades de durabilidade. Quanto à cromacidade, apenas os teores mais elevados, entre 6% e 10% em relação ao cimento, proporcionaram tonalidades próximas às dos próprios pigmentos. Corinaldesi et al. (2012), estudaram a influência de duas cores de pigmento (azul e vermelho) sobre as propriedades de concreto autoadensável colorido. Como conclusões, as autoras

observaram que os pigmentos não alteraram as propriedades de durabilidade; que houve redução do risco de fendilhamento do concreto e contribuíram positivamente na resistência à compressão. Ares et al. (2014), propuseram um método para a determinação dos teores de pigmentos minerais em argamassas coloridas, o que possibilitou uma determinação mais confiável quanto ao custo de produção de tais argamassas. Li et al. (2014), avaliaram a viabilidade técnica da aplicação de lamas de galvanoplastia compostas secas (CEPS) na preparação de argamassa decorativa à base de cimento com pigmento verde. Das análises das propriedades, os autores concluíram que o uso deste material reciclado é tecnicamente viável, é seguro para a saúde humana; que coopera na preservação ambiental e que as CEPS podem ser utilizadas como pigmentos verdes para produzir cimento para uso em elementos decorativos. Já Horgnies et al. (2015) propuseram um protocolo para avaliar a adesão dos pigmentos em argamassas coloridas transferidos do molde, relacionando a quantidade de pigmentos e as coordenadas medidas no espaço de cores antes e depois de um teste de lavagem das amostras.

Quanto ao estudo da influência da adição de pigmentos em blocos modulares como sistema construtivo, as pesquisas são escassas. Como exemplo, cita-se Bacarji et al. (2014), que apresentou um estudo do efeito da substituição parcial do filler utilizado pelo pigmento verde em blocos modulares para alvenaria estrutural e Conceição (2015) que propôs uma aplicação de pigmentos coloridos em habitações de interesse social. Na revisão bibliográfica realizada, nada mais se encontrou a respeito do uso de pigmentos coloridos em blocos modulares. Os trabalhos mais recentes encontrados são relativos à aplicação de pigmentos em tijolos cerâmicos queimados, como exemplos, citam-se Stolboushkin et al. (2018), Pavlova, Sapozhnikova e Farafontova (2019), Gupta et al. (2021) e Marin, Arce e Arce (2021). Assim, a pouca bibliografia sobre o assunto e a carência por sistemas construtivos mais econômicos, seguros e duráveis, mostram a necessidade da continuidade destes estudos, o que motivou o desenvolvimento do presente trabalho.

Tendo em vista a economia, a sustentabilidade e a preservação ambiental, os blocos modulares para alvenaria podem ser confeccionados com diversos subprodutos, dentre eles, aqueles advindos do processo da britagem de rochas e com vantagens técnicas em relação aos blocos modulares de solo cimento. O fato destes subprodutos não possuírem matéria orgânica, como a presente no solo, pode contribuir tanto no ganho de propriedades mecânicas, como na durabilidade. Estes produtos são a areia artificial e o filler, comumente denominado de pó de brita. Ao material ainda mais fino, acumulado na parte superior na lagoa de decantação da empresa de onde foi retirado este material, foi denominado no presente trabalho de microfíler. Estes materiais, quando obtidos da rocha de granito, têm uma coloração cinza clara, apropriada para a utilização em concretos e artefatos coloridos, uma vez que realça a tonalidade do pigmento. A Figura 1 simula algumas possibilidades do uso de tais blocos em alguns ambientes. Na Figura 1a, pode-se notar o emprego de duas tonalidades de blocos, realçando com o estilo em alto padrão de uma sala de jantar; já na Figura 1b, observa-se parte de uma varanda de uma moradia popular, com o uso do bloco na cor cinza, *in natura*; na Figura 1c, ilustra-se a possibilidade do emprego dos blocos com duas cores, cinza e verde. Além de combinar aspecto rústico dos blocos com o acabamento em alto padrão convencional, a adição de pigmentos coloridos pode contribuir para que projetos de habitação popular se tornem ainda mais atraentes e eficientes por não requererem reboco nem pintura, e ainda colaborar com a diminuição do *déficit* de moradias para famílias carentes no Brasil.



FIGURA 1: Ilustração do uso dos blocos modulares em diversos ambientes.

FONTE: Autoria Própria.

Assim, o presente estudo avaliou a influência da adição de três teores dos pigmentos inorgânicos nas cores amarelo, verde e vermelho sobre a compactação, resistência à compressão e absorção de água nos blocos modulares fabricados com subprodutos de britagem.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

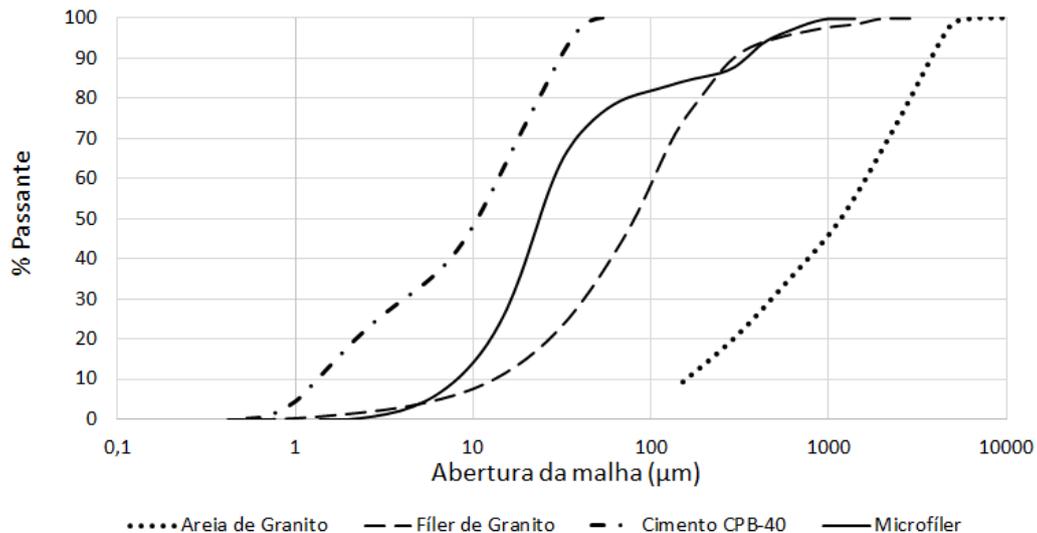
Os materiais utilizados nesta pesquisa foram: Cimento, filer, micro filer, areia artificial, pigmento verde, pigmento vermelho e pigmento amarelo, cujas caracterizações são dadas a seguir.

2.1.1 Cimento

O cimento utilizado foi o Cimento Portland Branco (CPB-40). As resistências à compressão aos três, sete, 21 e 28 dias foram: 30,13 MPa; 33,94 MPa; 41,72 MPa e 46,44 MPa, respectivamente. Foi realizada a Difração de Raios X deste material, sendo observados os principais compostos: o Silicato Dicálcico, C2S e Silicato Tricálcico, C3S. Outros componentes foram: Dolomita, vaterita, gesso e sílica. A caracterização dos principais compostos químicos do cimento é dada na Tabela 1, sua curva granulométrica e dos demais materiais são dadas no gráfico da Figura 2.

TABELA 1: Caracterização química do cimento (%)		
	Trióxido de enxofre (SO ₃)	4,16
	Óxido de magnésio (MgO)	0,72
	Dióxido de silício (SiO ₂)	21,48
	Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	0,2
	Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	4,6
	Óxido de cálcio (CaO)	65,18
	Óxido de cálcio livre (CaO)	2,23
Álcalis Totais	Óxido de sódio (Na ₂ O)	0,13
	Óxido de potássio (K ₂ O)	0,14
	Equiv. alcalino	0,22
Álcalis Solúveis em Água	Óxido de sódio (Na ₂ O)	0,01
	Óxido de potássio (K ₂ O)	0,06
	Equiv. alcalino	0,05
	Sulfato de cálcio (CaSO ₄)	7,07

FONTE: Eletrobrás FURNAS-GO.

**FIGURA 2:** Curvas granulométricas dos materiais.**FONTE:** Autoria Própria.

2.1.2 Fíler e Micro Fíler

Os materiais em questão, subprodutos da britagem, foram utilizados para fornecer maior coesão e compacidade à mistura. A massa específica desses materiais foi de $2,71 \text{ g/cm}^3$ e sua difratometria de Raios X é dada na Figura 3 e os seus principais compostos químicos são dados na Tabela 2.

TABELA 2: Composição química do fíler e microfíler

COMPOSTOS	(%)
SiO ₂	64,36
Al ₂ O ₃	22,47
Fe ₂ O ₃	3,31
K ₂ O	5,18
CaO	2,36
SO ₃	1,50
TiO ₂	0,44
BaO	0,14
MnO	0,04
Outros	0,20

FONTE: Eletrobrás FURNAS-GO.

2.1.3. Areia Artificial

Como agregado foi utilizada areia artificial de granito, também subproduto do processo de britagem. Tal material teve o diâmetro máximo de 6,3 mm, módulo de finura de 3,16, massa específica de $2,7 \text{ g/cm}^3$ e massa unitária de $1,6 \text{ g/cm}^3$. Sua curva granulométrica também é dada na Figura 2.

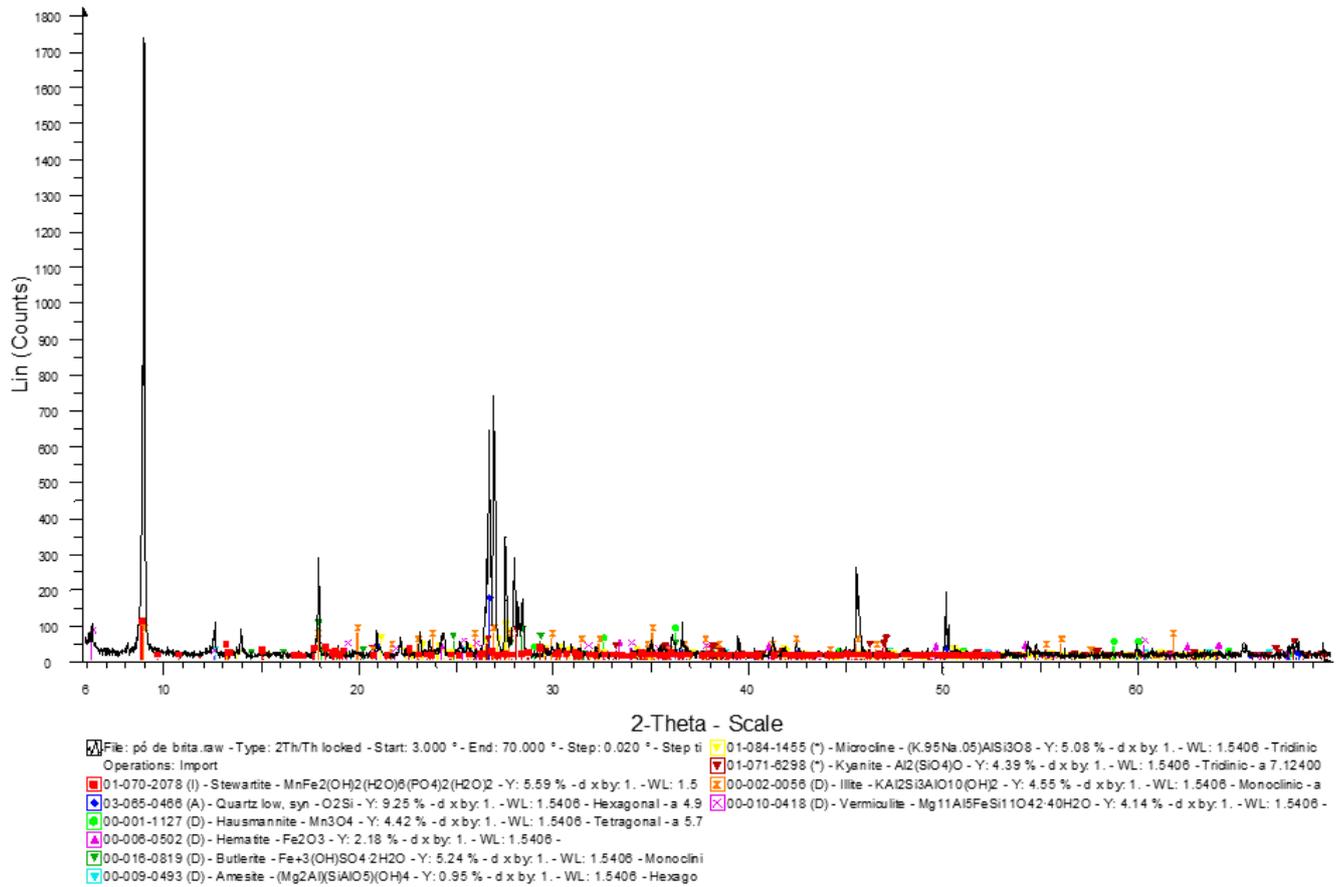


FIGURA 3: Difratoograma do Filer e microfiler.

FONTE: Eletrobrás FURNAS-GO.

2.1.4 Pigmentos

Foram utilizados os pigmentos nas cores amarelo, verde e vermelho, os quais são os óxidos de cromo, óxido de ferro e hidróxido de ferro, respectivamente. Na Figura 4 estão as imagens dos ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) realizados com os pigmentos.

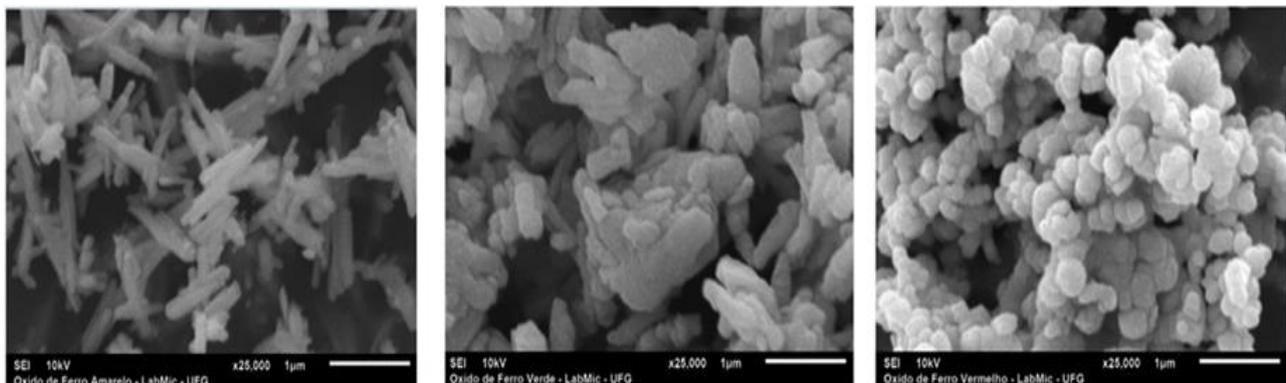


FIGURA 4: Ensaios de MEV. Da esquerda para a direita, respectivamente: óxido de ferro amarelo, óxido de ferro verde e hidróxido de ferro vermelho.

FONTE: LabMic-UFG.

2.2 PRODUÇÃO DOS BLOCOS E ENSAIOS

2.2.1 Obtenção dos Traços e Confeção dos Blocos

Foi adotada a relação cimento: agregados totais de 1:5,0, em massa. As proporções entre o microfíler, fíler e areia artificial foi obtida de forma experimental. O ajuste nestas proporções considerou a capacidade de prensagem do equipamento e a retirada do bloco prensado sem que houvesse dano ao produto (trincas, deformações ou desintegração). Desse procedimento obteve-se o proporcionamento: 1 : 0,15 : 0,85 : 4,0 (cim : microfiler : filer : areia).

Com esses dados, foi realizado o ensaio de compactação, que determinou a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca das misturas quando compactadas na energia normal. Os procedimentos do ensaio seguiram a NBR 12023 (1992). Isso feito, obteve-se a densidade de 1,98 g/cm³ e umidade de 9,0%.

Ao traço obtido, foram incorporados 0% (traço de referência), 5%, 10% e 15% dos pigmentos Vermelho, amarelo e verde, em relação à massa do cimento e em substituição parcial ao fíler.

A seguir, foram produzidos os blocos, nas dimensões 25,0cm (comprimento) x 12,5cm (largura) x 8,0cm (altura aproximada), para avaliação das propriedades mecânicas e de durabilidade para todas as misturas de blocos. Para tanto, foi utilizada uma prensa hidráulica com capacidade de prensagem de 8,0 tf.

Após a prensagem dos blocos, todos foram medidos com um paquímetro e pesados em uma balança semi-analítica com precisão de 0,1g. Com os dados obtidos, foram calculadas as densidades médias dos blocos.

2.2.2 Procedimentos de Cura

Após sua confecção, os blocos foram armazenados em local fresco, sem incidência de luz solar e sem corrente de ventos. Após 24 horas da confecção dos blocos, eles foram imersos em água por 20 minutos e em seguida hermeticamente lacrados em sacos plásticos onde ficaram até dois dias antes da data da realização dos ensaios.

2.2.3 Ensaio Realizados

Para a avaliação da propriedade mecânica, foi realizado o ensaio de resistência à compressão e para a avaliação indireta da durabilidade, o ensaio de absorção de água dos blocos aos 28 dias, seguindo-se as recomendações da NBR 12118 (ABNT, 2007) e NBR 6136 (ABNT, 2007). Para cada ensaio, foram utilizados três blocos. Esses ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Para a análise da microestrutura dos blocos pelo MEV, foi extraída uma amostra de 2,0 cm x 2,0 cm x 2,0 cm por bloco, para a mistura de referência, e, de cada cor, para o teor de pigmento que obteve as menores absorções totais de água (15% vermelho, 5% amarelo e 15% verde). Ao se escolherem as imagens, a fim de avaliar a porosidade da mistura, buscaram-se regiões sem a presença da areia artificial. Esta análise foi realizada no Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução (LabMic) da UFG.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Densidade dos Blocos

A média das densidades de cada mistura de blocos está representada na Figura 5. Para efeito de análise comparativa, apresentam-se, na Tabela 3, os valores mínimos e máximos das densidades para cada

traço dos blocos, considerando-se os desvios padrões. Como pode ser visto, todos os valores das densidades dos blocos com pigmento verde não apresentaram faixa comum de valores com os blocos de referência, indicando, portanto, que tiveram maiores valores e, por inferência, uma maior densificação da sua estrutura. O formato dos grãos do pigmento verde (Figura 3), intermediário entre a forma cilíndrica e alongada dos grãos do pigmento amarelo e a forma esférica dos grãos do pigmento vermelho, associado às suas dimensões, podem ter promovido o melhor empacotamento de todos os grãos da mistura. Ainda da Figura 3, pode-se estimar os diâmetros médios dos pigmentos; o vermelho entre 0,2 μm e 0,3 μm , o verde entre 0,6 μm e 0,8 μm e o amarelo entre 0,7 μm e 0,9 μm . Quanto aos resultados para os pigmentos amarelo e vermelho, ficaram na mesma ordem de grandeza dos blocos de referência.

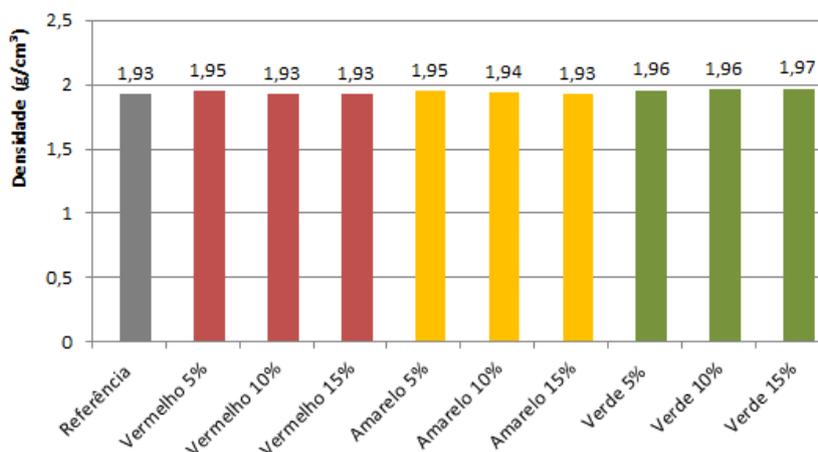


FIGURA 5: Densidade dos blocos.

FONTE: autoria própria.

Blocos	Ref	Vermelho			Amarelo			Verde		
		5%	10%	15%	5%	10%	15%	5%	10%	15%
Min.	1,92	1,94	1,91	1,91	1,94	1,92	1,92	1,95	1,95	1,96
Máx.	1,94	1,96	1,94	1,95	1,96	1,95	1,94	1,97	1,97	1,98

FONTE: autoria própria.

3.2. ABSORÇÃO TOTAL DE ÁGUA

Apresentam-se, na Figura 6, os valores médios obtidos da absorção total de água. Representam-se, também, os desvios padrões obtidos.

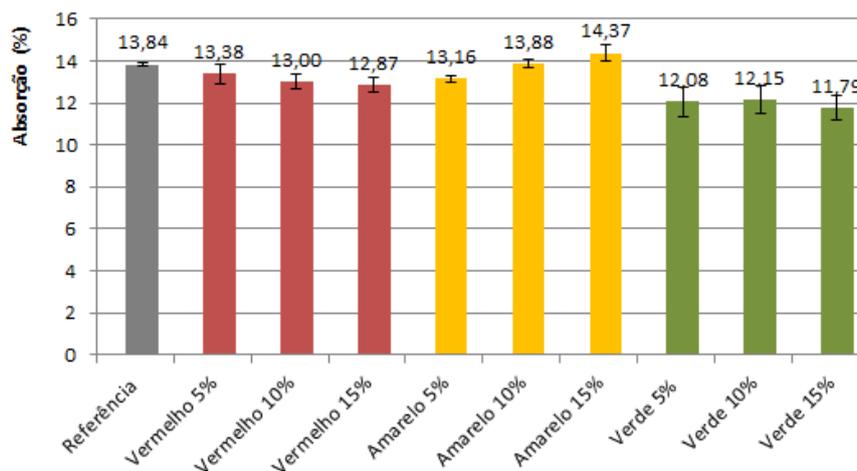


FIGURA 6: Absorção total de água (%).

FONTE: autoria própria.

Quanto aos blocos com pigmentos vermelhos, observa-se uma tendência de redução da absorção total de água à medida que se aumentou o teor de pigmento, de forma que o melhor resultado foi com 15% de pigmento, com redução de 7,0% em relação aos blocos de referência. Já nos blocos com pigmentos amarelos, houve aumento da absorção de água à medida que se aumentou o teor de pigmento. Veja-se que, para o teor de 15% de pigmento, a absorção foi quase 4% superior aos blocos de referência. Logo, o melhor resultado foi com 5% de pigmento, com uma tendência de redução de 4,0%, em relação ao bloco de referência. Já os blocos com pigmentos verdes foram os que apresentaram menores absorções de água, dentre todos os grupos. Veja-se que, ao se considerarem os desvios padrões, as três porcentagens de pigmentos não diferem entre si e, ao mesmo tempo, todos foram menores que o de referência. Para o teor de 15% de pigmento, por exemplo, obteve-se uma redução na absorção de 14,8% em relação à referência.

Uma possível explicação para o comportamento diferenciado dos blocos com o pigmento amarelo está no formato dos seus grãos, cilíndrico e alongado, o que também interfere na absorção de água. Isto ficou evidente para os blocos com os pigmentos verde e amarelo; veja-se que, quanto ao primeiro, todas as porcentagens resultaram em uma maior densidade, em relação aos blocos de referência (Figura 5), e a uma menor absorção de água (Figura 6); quanto ao segundo, o teor de 5% tendeu a uma maior densidade (Figura 5) e apresentou menor absorção de água, em relação aos de referência; à medida que se aumentou os teores de pigmento, houve uma tendência de redução da densidade e de aumento da absorção total de água.

3.3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Sendo a resistência à compressão inversamente proporcional à porosidade do material e sendo a absorção total de água uma medida indireta da porosidade, verifica-se, pela comparação dos resultados mostrados nas Figuras 6 e 7, a devida correspondência entre tais variáveis, como se discute a seguir.

Quanto às misturas com pigmentos vermelhos, para os teores de 5% e 10%, os resultados se apresentaram nos mesmos níveis de resistência em relação à mistura de referência, considerando-se os desvios padrões. Já a mistura com 15% de pigmento, apresentou um aumento da resistência à compressão de 19,6%. Observando-se a Figura 5, verifica-se que esse teor de pigmento foi o que apresentou menor absorção de água, dentro deste grupo.

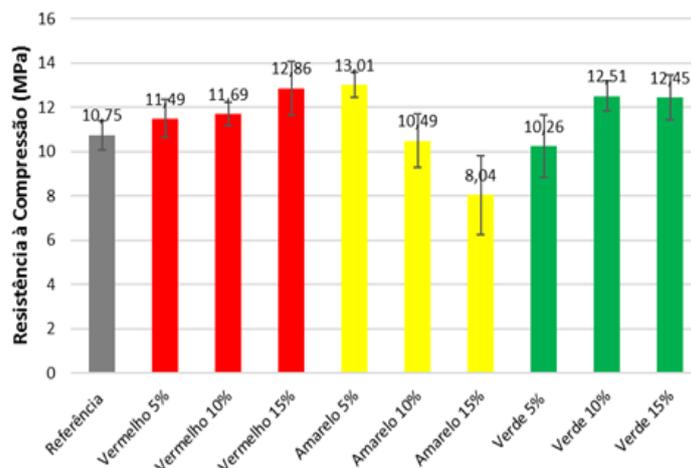


FIGURA 7: Resultado dos ensaios de resistência à compressão.

FONTE: autoria própria.

Quanto às misturas com pigmento amarelo, o melhor resultado foi obtido com a mistura com 5% de pigmento, apresentando um ganho de resistência de 21,0% em relação à mistura de referência e no mesmo patamar que a mistura com 15% de pigmento vermelho. Veja-se que, à medida em que se aumentou o teor de pigmento amarelo, houve uma tendência de redução da resistência à compressão, provavelmente devido ao aumento da porosidade do material, indiretamente observado pelo comportamento quanto à absorção de água (Figura 6).

As misturas com o pigmento verde apresentaram comportamento distinto em relação às misturas com os pigmentos amarelos, ou seja, houve aumento de resistência à compressão à medida em que se aumentou o teor de pigmento de 5% para 10% e se estabilizando, quando se utilizou o teor de 15% de pigmento. O ganho de resistência observado para a mistura de 10% de pigmento foi de 16,4% em relação à mistura de referência. Pode-se observar que, ao se considerar os desvios padrões, a mistura com 15% de pigmento se manteve nos patamares em relação às demais misturas deste grupo. Isto se deve, provavelmente, ao bom empacotamento, apresentando baixas porosidades, como se infere pelos resultados de absorção total de água (Figura 6) e densidade (Figura 5).

Veja-se que os blocos com 5% de pigmento amarelo apresentaram o maior ganho de resistência à compressão em relação aos blocos de referência, dentre todas as porcentagens e tipos de pigmentos estudados. Contudo, não apresentaram ganho de densidade e nem redução da absorção total de água, em relação aos blocos de referência. Isto pode ter ocorrido devido ao fato de que finos que se afastam do formato esférico podem promover ganhos de resistência à tração aos concretos, em relação aos concretos contendo finos mais esféricos. Tais ganhos podem ser atribuídos ao maior intertravamento que estes finos proporcionam entre os componentes pasta-agregados. Logo, para o caso de 5% dos pigmentos amarelos, pelo fato de se tratar de uma mistura compactada e dado o formato mais fino e alongado do pigmento amarelo, este melhor intertravamento entre os compostos pode ter ocorrido, a ponto de influenciar positivamente nessa propriedade. Em outras palavras, ao serem solicitados à compressão, pode ter ocorrido uma maior restrição às deformações e crescimento de microfissuras transversais, implementando-se a resistência à tração na direção transversal, promovendo, assim, o ganho de resistência à compressão axial.

3.4. ENSAIOS DE MEV

A Figura 8 apresenta as imagens obtidas e ilustram os aspectos gerais da microestrutura de cada mistura que apresentou melhor comportamento dentro de cada grupo em relação à absorção total de água

(5% de pigmento amarelo, 15% de pigmento vermelho e verde), bem como da mistura de referência; ressalta ainda a presença de vazios não preenchidos pela compactação.

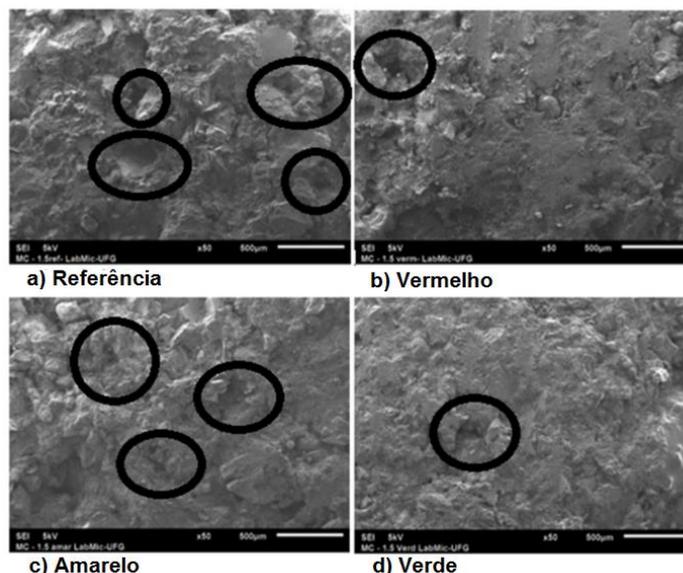


FIGURA 8: Microscopia Eletrônica de Varredura por elétrons secundários.
FONTE: LabMic-UFG.

Ao se observarem as imagens, percebe-se que a mistura de referência e a com 5% de pigmento amarelo (Figuras 8a e 8c) foram as que se mostraram mais rugosas e porosas, já a mistura com 15% de pigmento vermelho e a mistura com 15% de pigmento verde (Figuras 8b e 8d) se mostraram menos porosas e com menos rugosidade, evidenciando melhor compactidade e empacotamento entre as partículas. Tais evidências auxiliam na explicação dos outros resultados obtidos, especialmente os de absorção de água. Veja-se que os piores resultados desta propriedade foram para os blocos de referência e com o pigmento amarelo, cujo formato é mais alongado e cilíndrico e cujo tamanho é maior. Os melhores resultados foram para os blocos com o pigmento verde e vermelho, sendo o primeiro com formato e comprimento intermediários e o segundo, de formato mais esférico e de menor comprimento entre os demais pigmentos, como evidenciado na Figura 4.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou o efeito da adição de três diferentes cores de pigmentos nas propriedades de blocos modulares. As principais conclusões foram:

- A adição de pigmento verde, nas três proporções estudadas, aumentou a densidade dos blocos;
- para 5%, a adição dos pigmentos reduziu a absorção total de água dos blocos para todos os pigmentos estudados;
- para o pigmento amarelo, quando se aumentou o teor de pigmento, houve uma tendência de aumento da absorção total e diminuição da resistência à compressão dos blocos;
- 15% de pigmentos vermelho e verde proveram os menores valores de absorção total de água dos blocos;
- 15% de pigmento vermelho e 10% de pigmento verde promoveram os maiores valores de resistência à compressão;

- A adição de 5% de pigmento amarelo e de 15% de pigmentos vermelho e verde promoveram melhor compacidade destas misturas, reduzindo a porosidade e, conseqüentemente, aumentando a durabilidade dos blocos.

Assim, verificou-se que os efeitos de pigmentos inorgânicos em blocos modulares variam a depender do formato dos grãos do pigmento, das suas dimensões e das porcentagens de pigmentos. A depender destes fatores, pode-se ter ganhos ou perdas nas propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, C.A. **Concreto cimento Portland branco estrutural: análise da adição de pigmentos quanto à resistência à compressão**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2006.
- ARES, M.C.Z.; GONZÁLES, E.V.; GÓMES, A.I.T.; FERNÁNDES, J.M. **An easy method to estimate the concentration of mineral pigments in colored mortars**, *Dyes and pigments* v. 101, pp. 329-337, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12023. **Solo-cimento: ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. NBR 12118. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. NBR 6136. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.
- BACARJI, E.; SOUTO, S. L.; MENDES, L.M.N. **Blocos modulares para alvenaria com resíduos minerais: efeito da incorporação de pigmentos**. In: XXXVI Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural Montevideu, Uruguai, 2014.
- CONCEIÇÃO, L. B. **Estudo da tecnologia e aplicação do concreto colorido em habitações de interesse social**, Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015.
- CORINALDESI, V. MONOSI, S.; RUELLO, M.L. **Influence of inorganic pigments' addition on the performance of coloured SCC**. *Construction and Building Materials*, v. 30, pp. 289-293, 2012.
- D'AMICO, M.A. **Metodologia de dosagem de solo-cimento para a fabricação de tijolos**. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil, 1983.
- ENOS, D.E. **A problem study of soil-cement**. Monografia. Michigan State College of Agriculture and Applied Science, 1948.
- GUPTA, V.; PATHAK D.K.; KUMAR, R.; MIGLANI, A.; SIDDIQUE, S.; CHAUDHARY, S. **Production of colored bi-layered bricks from stone processing wastes: Structural and spectroscopic characterization**. *Construction and Building Materials*. 278, 122339, 2021.
- HORGNIÉS, M.; CERETTI, E.D.; GUEIT, E.; AUCOUTURIER, M. **Characterization of the variations of tint and adhesion of pigments onto the surface of mortar**. *Construction and Building Materials*, v. 94, pp. 380-386, 2015.
- JACKSON, J.O. **The effect of leaching on soil-cement**, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics*, v. 11, pp. 215-219, 1974.
- LEE, H.S.; LEE, J.Y.; YU, M.Y. **Influence of inorganic pigments on the fluidity of cement mortars**, *Cement and concrete Research*, v. 35, pp. 703-710, 2005.
- LEE, H.S.; LEE, J.Y.; YU, M.Y. **Influence of iron oxide pigments on the properties of concrete inter-locking blocks**, *Cement and concrete Research*, v. 33, pp. 1889-1896, 2003.
- LI, H.; YANG, X.; XU, W.; WU, J.; XU, J.; ZHANG, G.; XIA, Y. **Application of dry composite electro-plating sludge into preparation of cement-based decorative mortar as green pigment**. *Journal of cleaner Production*, v. 66, pp 101-106, 2014.

LIMA, F.X.R.F. **Estudo de aplicação de resíduo de argamassa de cimento em tijolos de solo-cimento e sua influência no desempenho térmico das edificações.** Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, Brasil, 2007.

LIMA, T.V.; ALEXANDRE, J. **Estabilização de três solos argilosos para a produção de blocos ecológicos (solo-cimento).** In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis, SC, Brasil, 2006.

MARIN, J. D. B.; ARCE, A. E.; ARCE, J. E. **Use of an industrial solid waste as a pigment in clay bricks and its effects on the mechanical properties.** Construction and Building Materials. 306, 124848, 2021.

MIRANDA, R.A.C. **Estudo da aplicação de resíduo de marmorarias em Tijolos de solo cimento.** Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, Brasil, 2007.

MORAES, M.B. **Estudo das trincas em paredes de alvenaria auto-portante de tijolos e blocos de solo-cimento.** Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil, 1982.

Observatório das Metrópoles. **Análise das regiões metropolitanas do Brasil.** Prof. Dr. Aristides Moysés (Coordenação Regional). Observatório das Metrópoles: núcleo Goiânia GEPUR-CO/UCG/SEPLAM. dez, 2005.

PAVLOVA, I. A.; SAPOZHNIKOVA, M. A.; FARAFONTOVA, E. P. **Lightening of ceramic bricks based on red-burning clay.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 687, 022021, 2019.

PIOVESAN, A.Z. **Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de durabilidade e na cromacidade do concreto de cimento Portland branco.** Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

PRUSI, G.A. **An experimental investigation of soil-cement as a building material.** Monografia. Michigan State College of Agriculture and Applied Science, 1942.

SANTOS, M.D. **Construção com terra crua: viabilidade tecnológica e energética em habitações sociais.** Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, 2002.

STOLBOUSHKIN, A.; AKST, D.; FOMINA, O.; IVANOV, A. **Structure and properties of ceramic brick colored by manganese-containing wastes.** MATEC Web of Conferences 143, 02009, 2018.

WANG, M. C.; MOULTROP, K.; NACCI, V.A. **Study of soil cement with chemical additives.** International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, v. 14(2), pp. 31-31, 1977.