

Piso intertravado sustentável com reaproveitamento de resíduo de gesso

Rian Henrique Santos Silva ¹, Samilly Santos de Sá ¹, Wesla Santos Souza ¹, Carlos Mariano Melo Júnior ¹, Fernanda Martins Cavalcante de Melo ¹, Cochiran Pereira dos Santos ², Herbet Alves de Oliveira ^{1*}

¹ Departamento de Construção Civil, Instituto Federal de Sergipe, 49260-000, Estância, Sergipe, Brasil

² Departamento de Física, Universidade Federal de Sergipe, 49000-000, São Cristóvão, Sergipe, Brasil

*e-mail: herbetalves148@gmail.com

Resumo:

Esse trabalho estuda o aproveitamento de rejeito de gesso descartado na construção civil, em substituição ao cimento e à areia em piso intertravado. Foram produzidas formulações a partir de um padrão em massa de 1:1:1,5:0,5 para cimento: areia: pedrisco: brita de 6,3 mm e (a/c) de 0,50. As formulações elaboradas foram três com substituição parcial do cimento pelo resíduo de gesso em 5, 10 e 20%, identificadas como GC5, GC10 e GC20, além de três com substituição parcial da areia pelo resíduo de gesso, denominadas GA5, GA10 e GA20. As formulações foram conformadas em fôrmas de 20 × 10 × 8 cm, sob vibração de 8 Hz em 10 segundos. Por conclusão, observou-se que apenas a dosagem de referência e com GC5 alcançaram as exigências de resistência à compressão mínima de 35 MPa conforme NBR 9781. Assim, o gesso pode ser reaproveitado em até 5% da substituição do cimento, reduzindo o impacto ambiental devido ao descarte aleatório.

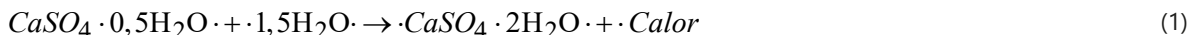
Palavras-chave: Rejeito, gesso, argamassa, piso intertravado.

1. INTRODUÇÃO:

A construção civil desempenha um papel significativo na extração de matérias-primas da natureza para a produção de componentes de construção civil [1]. Como resultado direto desse processo, ocorre a geração de resíduos, principalmente em nações como o Brasil, onde os processos produtivos ainda são manuais [2]. Dentre os resíduos gerados na construção civil, destaca-se o gesso, utilizado como revestimento diretamente sobre a alvenaria, que gera grande quantidade de resíduos, especialmente devido à sua rápida velocidade de endurecimento, associada à aplicação manual por mão de obra frequentemente de baixa qualificação [3].

Estima-se que a perda típica de desperdício de gesso na construção civil seja de 45% [4]. Segundo Ahmed et al. [5], são gerados 15 milhões de t/ano de resíduo de gesso no mundo. Devido à sua composição, em que estão presentes os sulfatos, o gesso descartado de forma incorreta, ao entrar em contato com umidade, material orgânico e água, pode levar à contaminação do solo e do lençol freático, bem como à produção de gases tóxicos e inflamáveis, como o sulfídrico (H₂S). De acordo com a Resolução CONAMA nº 307/2002, alterada pela Resolução CONAMA nº 431/2011, o gesso pertence à classe B, podendo ser reciclado para outras destinações [6].

Segundo Geraldo (2017) [7], uma vez que o gesso entra em contato com a água, dá-se início a uma reação que transforma o hemidrato em di-hidrato. Essa reação pode ser descrita pela Eq.1.



Um dos fatores que mais influenciam a reação de hidratação do gesso e, consequentemente, o tempo de pega é a relação água/gesso. Quanto maior for essa relação, menor será a cinética da reação de hidratação e maior o tempo de pega, devido à grande quantidade de água, que causa o aumento do tempo necessário para saturar a solução. O resíduo, uma vez calcinado em temperaturas acima de 130 a 350 °C, perde a água que adquiriu na hidratação e retoma a trabalhabilidade inicial. As misturas de água e gesso comercial apresentam um aspecto líquido, enquanto as misturas de água e gesso reciclado têm uma consistência pastosa. Por sua vez, se seco até a temperatura máxima de 100 °C, o gesso apresenta-se sem propriedade aglomerante [8]. Os resíduos de gesso apresentam-se geralmente na forma de pó ou placas de cor branca, compostos principalmente por SO₃ e CaO e são considerados não inertes. Além disso, são provenientes da construção civil e representam uma grande fração do total de resíduos de construção e demolição gerados pela sociedade, podendo contaminar o solo e os recursos hídricos [9].

O gesso é econômico, resistente ao fogo, versátil e possui boas propriedades térmicas e acústicas [10]. Após reciclado, o gesso é uma opção sustentável para o reuso. Seu uso é indicado na agricultura, onde atua na recuperação de solos sódicos, como fertilizante, por ser fonte de enxofre e cálcio. Na construção civil, o gesso reciclado é utilizado em revestimento de paredes e tetos, na produção de blocos e telhas cerâmicas e incorporado na fabricação de materiais cimentícios como argamassa de assentamento e revestimento, substituindo parcialmente o aglomerante (cimento) ou o agregado miúdo (areia) [11].

Segundo Wansom et al. (2019) [12] e Yao (2014) [13], nos últimos anos, pesquisadores têm proposto a utilização de resíduos e subprodutos de gesso como regulador do tempo de pega do cimento Portland, podendo atuar como substituto do gesso natural, bem como substituto parcial tanto do cimento [14][15] quanto da areia [16][17]. Contudo, não há relatos na literatura sobre o reaproveitamento do gesso na produção de blocos de piso intertravado de concreto (pavers).

Segundo a NBR 9781 [18], o piso intertravado é um pavimento flexível no qual a estrutura é constituída por uma camada de base, acompanhada por outra de revestimento composta por peças de concreto sobrepostas a uma base assentada, as quais podem ser coloridas com pigmentos, e em que as juntas são preenchidas por material de rejuntamento.

Segundo Costa et al. [2], os principais benefícios da aplicação do pavimento intertravado com pavers de concreto, tanto para o tráfego de pessoas como para veículos pesados, são: permeabilidade e conforto térmico; utilização imediata com liberação do tráfego logo após sua aplicação; facilidade de manutenção, remoção e reutilização; segurança, uma vez que sua superfície é antiderrapante; versatilidade arquitetônica, apresentando vários tipos, cores e combinações; fácil assentamento e alta durabilidade. O piso intertravado é uma boa oportunidade para reaproveitar resíduos de diversos segmentos.

Os estudos se baseiam na NBR 9781 (2013) [18], a qual exige que a absorção de água dos pisos intertravados para pavimentação seja inferior ou igual a 6%, permitindo uma variação de 1%. Além disso, essa mesma norma exige que a resistência à compressão seja superior a 35 MPa; entretanto Scott (2006) [19] cita que, para aplicações com pouca solicitação de carga, pisos de 25 MPa são comercializados.

Pisos intertravados são objetos de estudos para reaproveitamento de resíduo, como Awoyera et al. (2021) [20] e Anele et al. (2023) [21], que estudaram o reaproveitamento de resíduos de cerâmica e fibra plástica, e chegaram à conclusão que se pode reaproveitar até 2% de fibra e 20% de resíduo cerâmico sem alteração das propriedades. Oliveira (2022) [22] incorporou resíduo de borracha de pneu, de 2 a 10%, em substituição à areia e concluiu que ocorreu perda de resistência mecânica, porém houve ganho de até 26% na redução da densidade. Além disso, as composições com substituição de resíduos apresentaram menor percentual de absorção de água e menores índices de vazios, quando comparadas à mistura sem adição de resíduo.

Nesse estudo pretende-se reaproveitar o gesso reciclado em piso intertravado e espera-se, além de melhorar as propriedades do piso, contribuir como uma opção para uma destinação sustentável desse tipo de resíduo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS:

Nesta pesquisa, foram produzidos pisos intertravados de concreto contendo diferentes teores de resíduos de gesso e seus resultados foram comparados com pisos intertravados de concreto sem adição de resíduos, denominados padrão. Os pisos foram submetidos a ensaios para a determinação da resistência à compressão, absorção de água, permeabilidade e análise da microestrutura. Os resultados foram validados pela comparação com dados encontrados na literatura.

2.1. Caracterização tecnológica das matérias-primas:

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o cimento Portland composto com filler e classe de resistência à compressão de 32 MPa (CPII F 32), submetido aos seguintes ensaios de caracterização: consistência normal NBR 16606 (ABNT, 2018) [24], tempo de pega NBR 16607 (ABNT, 2018) [25], massa específica ASTM 854 [26] e resistência à compressão, NBR 7215 (ABNT, 2019) [27]. Os resultados da caracterização do cimento são mostrados na Tab.1.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização do cimento Portland CPV

Características	Unidade	Resultado	Requisitos normativos	Normas ABNT NBR
Consistência normal	%	31	-	16606:2018 [24]
Tempo de pega	min	165	≥ 60	16607:2018 [25]
Massa específica	g/cm ³	3,02	-	ASTM 854 [26]
Resistência à compressão (28 dias)	MPa	35	≥ 34	7215:2019 [27]

A areia (agregado miúdo) foi proveniente de uma jazida localizada na cidade de Estância (SE), seca em estufa e, em seguida, passada na peneira no 4 (4,8 mm). O gesso foi obtido a partir do resíduo gerado por uma fábrica de placas, promovendo o reaproveitamento do material. Após a secagem em estufa a 60 ± 5 °C por 24 horas, o resíduo de gesso foi moído em um moinho de bolas com capacidade de 5 kg. Foram utilizadas bolas de 25 mm, cujo volume ocupado representou 50% da capacidade do moinho. Além disso a carga de resíduo foi de 2 kg. O material passou por moagem durante 1 hora e, em seguida, foi peneirado em uma peneira de nº 40 (0,355 mm).

A massa unitária do cimento, resíduo de gesso, granito e agregado miúdo foi determinada pela média de três amostras vertidas em um recipiente cilíndrico com diâmetro de 10 cm e altura de 13 cm, que foram pesadas em balança com resolução de 0,01 g. O peso foi dividido pelo volume do recipiente. A massa específica real das matérias-primas foi determinada utilizando picnômetro, segundo NBR NM 16916:2021 [28]. Por sua vez, a análise granulométrica por peneiramento do agregado miúdo e granitos foi realizada conforme a NBR 7181: 2016) [29]. A difratometria de raios X (DRX) das matérias-primas foi realizada após serem devidamente secas e passadas na peneira de malha no 100 (0,150 mm). Foi utilizado o equipamento D8 Advance Bruker, que aplica radiação Cu K_{α1} (λ = 1,5418 Å) em modo de varredura contínua, em intervalo angular de 5 a 70° (2θ) e velocidade de varredura de 1°/min. As fases cristalinas foram identificadas usando a base de dados da ICSD (Inorganic Crystal Structure Database). Para a análise e quantificação das fases, foi utilizado o software *Match! Phase Analysis using Powder Diffraction*, na versão demo.

Quanto à análise química, os percentuais dos óxidos constituintes das amostras foram determinados por meio da técnica de fluorescência de raios X (FRX). As medidas foram realizadas em vácuo, utilizando um equipamento Bruker S8 Tiger 4 kW, modelo S4 Pioneer. Foram usadas amostras com massa em torno de 10 g, prensadas no formato de corpos cilíndricos com diâmetro 20 mm e espessura de 3 mm, aproximadamente.

Os eventos térmicos apresentados pela amostra no intervalo de temperaturas entre 25 e 800 °C foram registrados em medidas simultâneas de TG (análise termogravimétrica) e sua primeira derivada (DTG). As medições foram realizadas em um equipamento da TA Instruments, modelo SDT 2960. As amostras foram analisadas em cadinho de platina, sob fluxo de ar sintético com vazão de 100 ml/min e taxa de aquecimento de 10 °C/min.

2.2. Produção dos pisos intertravados de concreto:

O processo produtivo é apresentado na Fig.1. As matérias-primas foram pesadas em balança com capacidade de carga de 30 kg e resolução de 0,1 g. Nesse experimento, os pisos intertravados foram produzidos utilizando-se uma betoneira de eixo vertical com capacidade de 200 L (Fig.1(a)). Após homogeneização por 2 min, as misturas foram descarregadas em bandejas, (Fig.1(b)) e avaliado o abatimento (Fig.1(c)). Posteriormente, foram moldados cerca de 10 corpos de prova (Fig.1(e)) para cada formulação, de dimensões (20×10×6) cm em fôrmas metálicas sob vibração de 8 Hz por 10 s (Fig.1(d)), os quais foram mantidos em cura por 28 dias em água.

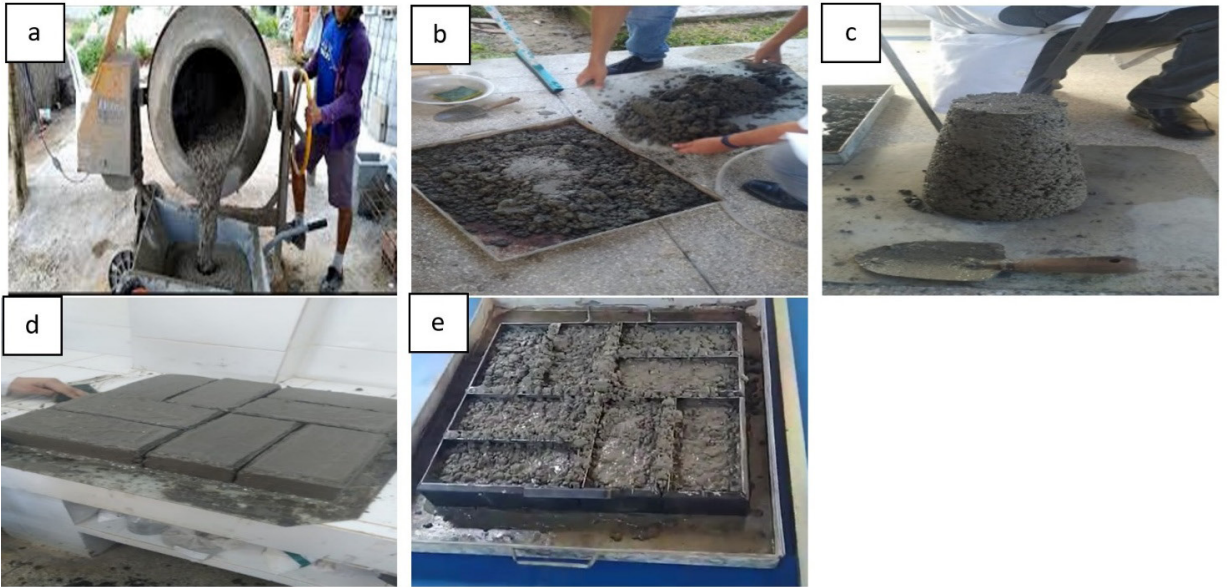


Figura 1. Processo produção do piso intertravado: (a) mistura; (b) descarga; (c) abatimento; (d) moldagem; e (e) cura

Para a produção dos pisos intertravados de concreto foi desenvolvido um traço padrão definido em massa, igual a (1:1:1,5:0,5: 0,50) (cimento: areia: pó de pedra: brita: a/c). A partir do traço de referência foram calculados outros traços apresentados na Tab.2. O resíduo de gesso substituiu parcialmente o cimento nas proporções: 5, 10, e 20%, os quais foram codificados especificamente por GC5, GC10, GC20 e aqueles em que o resíduo substituiu a areia foram codificados como GA5, GA10 e GA20, mantendo-se constante a relação água cimento (a/c) de 0,5. Quando necessário, foi ajustada.

Tabela 2. Traços adotados para a produção dos pisos intertravados

Traço	Material substituído	(%) Resíduo	Descrição
1:1:1,5:0,5		-	STD
1:1:1,5:0,5	Cimento	5	GC5
1:1:1,5:0,5	Cimento	10	GC10
1:1:1,5:0,5	Cimento	20	GC20
1:1:1,5:0,5	Areia	5	GA5
1:1:1,5:0,6	Areia	10	GA10

A consistência dos concretos foi medida segundo o ensaio de abatimento pelo tronco de cone de acordo com a NBR: 67 [30], sendo obtido abatimento zero para as misturas. Os resultados médios e os desvios padrões obtidos dos ensaios de laboratório foram analisados por meio do método estatístico ‘One way ANOVA’, o qual consiste em uma técnica de análise de variância entre

os grupos de resultados, utilizando-se índice de significância de 95% (p < 0,05) para comprovar se essas diferenças são significantes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Nesse capítulo são apresentados os resultados da caracterização física, da análise química e da difratometria de raios X das matérias-primas, assim como a caracterização dos blocos para pisos intertravados, após cura.

3.1. Caracterização física das matérias-primas:

Os resultados da caracterização física dos agregados são apresentados na Tab.3.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados

Table with 5 columns: Material, Massa unitária (g.cm⁻³), Norma ABNT NBR, Massa específica real (g.cm⁻³), and Norma ASTM. It lists data for Areia, Pedrisco, Pedra 6,3 mm, and Gesso.

A análise granulométrica das matérias-primas é apresentada na Fig.2. De acordo com a Fig.2(a), que apresenta a DTP dos aglomerantes, o gesso tem 10% das partículas passantes na abertura de 0,1 mm, enquanto o cimento tem 50% passantes nesta malha, portanto o cimento é mais fino. Em relação aos agregados, a Fig.2(b) indica que a areia é mais fina, pois 80% de suas partículas são passantes na abertura de 1 mm, enquanto o pedrisco tem 50% passantes. Com relação ao grau de uniformidade e concavidade, conforme NBR 6502/2022 [31], todas as matérias-primas apresentam muita uniformidade, ou seja, partículas de tamanhos próximos e bem graduados, exceto o solo e o agregado de 6,3 mm, que foram classificados com uniformidade média.

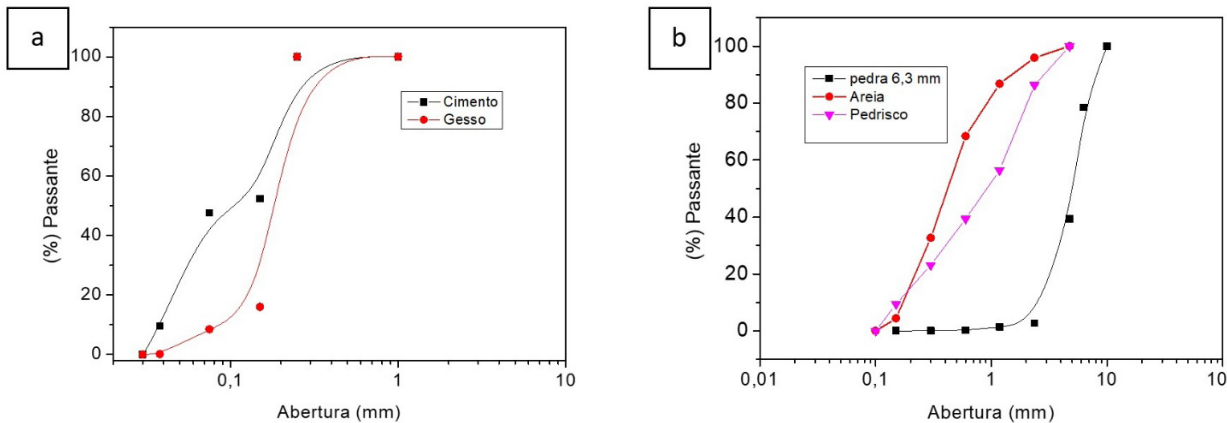


Figura 2. Análise granulométrica dos aglomerantes (a) e dos agregados (b)

A análise termogravimétrica (TG) e sua primeira derivada (DTG) do gesso é apresentada na Fig.3. Pode-se observar que a cerca de 120 °C ocorreu reação endotérmica de perda de água correspondente a meia molécula de água, que corresponde a uma perda de 18%, conforme também observado em outros trabalhos [10]. O gesso reciclado apresenta as fases de desidratação quando submetido a diferentes temperaturas. O gesso não pode ser seco nas temperaturas acima de 100 °C sob o risco de perder água mudando suas propriedades, alterando de dihidratado para hemihidratado, no intervalo de temperatura entre 120 e 180 °C [9].

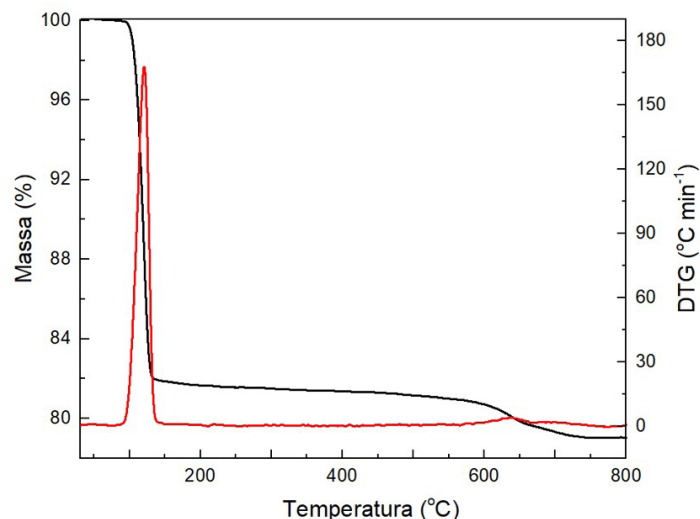


Figura 3. Análise termogravimétrica e sua primeira derivada do gesso

3.2. Análise química das matérias-primas:

Os dados obtidos por meio da análise química estão apresentados na Tab.4. Pode-se observar que o resíduo de gesso é composto majoritariamente por óxido sulfúrico (SO_3 : 70,1%) e óxido de cálcio (CaO : 23,2%), de acordo com outros trabalhos [32][33]. Já o granito, fonte do pedregulho e pedrisco, apresentou análise química similar aos estudos de [34]. O cimento apresenta como elemento principal o CaO proveniente do calcário, que garante a resistência sobretudo pela formação da etringita e aluminatos [35].

Tabela 4. Composição química (% em massa)

Composto químico	Gesso	Pedregulho 6,3 mm	Pedrisco	Areia	Cimento
CaO	23,2	16,1	13,9	1,2	56,0
SiO_2	1,1	56,4	55,4	95,9	21,3
Al_2O_3	0,23	17,0	16,3	0,17	6,0
Fe_2O_3	0,03	5,1	-	0,29	4,0
SO_3	70,1	0,15	-	0,17	2,3
MgO	0,23	1,7	1,5	0,30	6,1
K_2O	0,10	2,3	2,2	0,03	1,4
PF	5,0	1,2	11,0	2,0	3,1

3.3. Difratometria de raios X:

Na Fig.4 está ilustrado o difratograma de raios X do resíduo do gesso, com respectivos números das fichas. A análise da amostra de gesso demonstra a presença de gesso, bassanita e carbonato de cálcio, típicos do gesso reciclado.

3.4. Caracterização dos blocos para pisos intertravados após cura:

Os resultados de resistência à compressão estão apresentados na Fig.5. Os corpos de prova foram ensaiados após 28 dias de cura na água. Os resultados de cada formulação foram comparados por meio da análise de variância ($F = 8,14$; $F_{\text{crítico}} = 2,92$ e valor $p = 8,44 \times 10^{-4}$) e teste Tukey. Foi observada diferença significativa entre os dados. Observou-se que somente a formulação padrão e a GC5 cumpriram as exigências normativas da NBR 9781 [18] de apresentar um valor mínimo de 35 MPa.

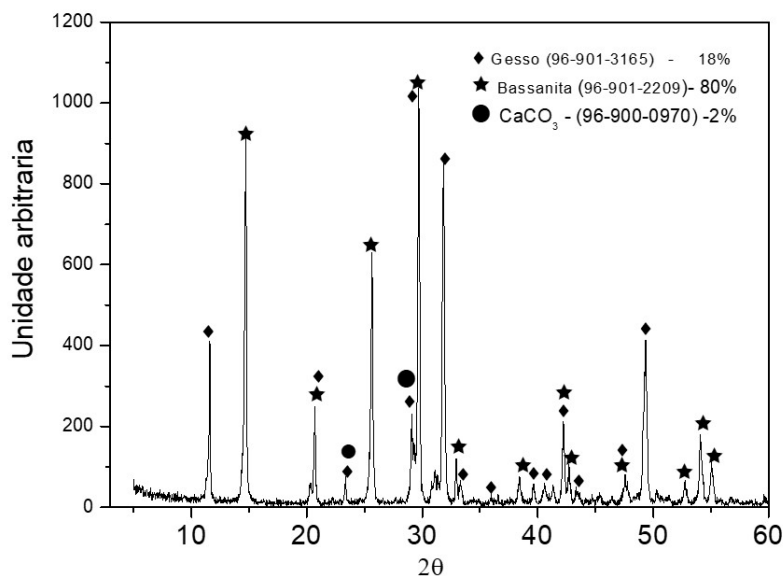


Figura 4. Padrão de difratometria de raios X do resíduo de gesso

Os blocos com substituição de cimento e areia pelo gesso apresentaram uma queda da resistência à compressão de cerca de 60%, o mesmo comportamento mecânico foi encontrado por Oliveira et al. [22], que quando acrescentou resíduo de demolição em piso intertravado, a resistência diminuiu. O fato pode ser explicado porque o gesso, sendo um material inerte e uma fonte de CaSO_4 , ao substituir o cimento, reduziu o material aglomerante responsável pela formação de etringita e desenvolvimento da resistência mecânica.

Adicionalmente, quando o gesso substituiu o agregado miúdo, reduziu acentuadamente o empacotamento, favorecendo a redução de resistência mecânica. Esse fato pode estar relacionado à redução do fator de empacotamento devido ao excesso de finos, que por sua vez necessitam maior quantidade de água para hidratação e favorecem a queda da resistência mecânica [36]. Por sua vez, de acordo com Hirsch [37], o gesso (CaSO_4) pode reagir com o CaO livre do cimento formando Ca(OH)_2 e este com os aluminatos formando a etringita, aumentando a resistência. Por sua vez, caso o CaO livre já tenha sido totalmente consumido, o gesso em excesso passa a reduzir a resistência, aumentar a absorção de água e reduzir a densidade.

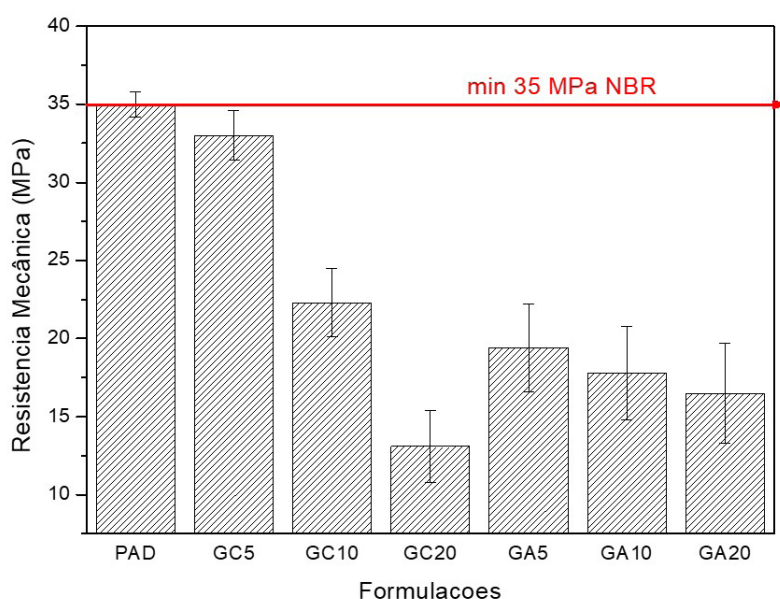


Figura 5. Resistência mecânica das formulações com resíduo de gesso incorporado

Na Fig.6 são apresentados os resultados de absorção de água de cada formulação e comparados por meio da análise de variância ($F = 3,92$; $F_{\text{crítico}} = 2,43$ e valor $p = 0,005$) e teste Tukey.

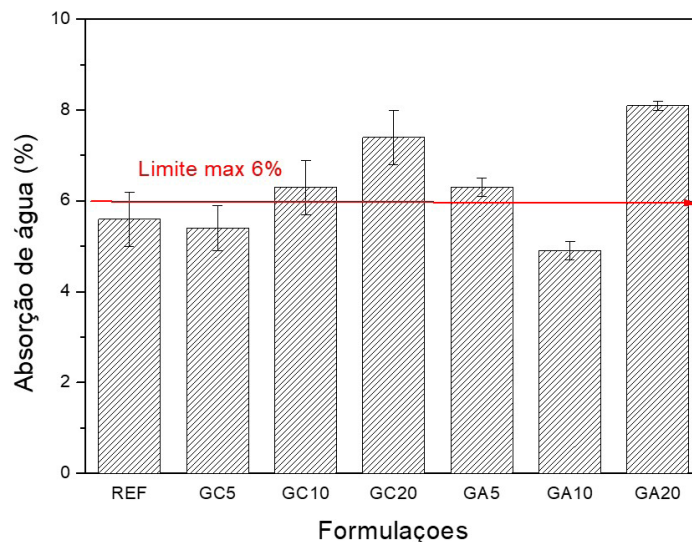


Figura 6. Absorção de água das formulações comparados por meio da análise de variância

Observam-se diferenças significativas entre os dados. A absorção de água foi inversamente proporcional à resistência mecânica, de modo que quanto maior a resistência, menor a absorção de água. As formulações padrão, GC5, GC10 e GA10 atenderam à especificação normativa (AA menor que 6%).

No entanto, ao realizar uma análise comparativa dos resultados obtidos por Hood [38], que registou uma absorção de 7,39% com a adição de 25% de RCD em blocos de concreto, é possível afirmar que a substituição do cimento por resíduos não apresentou impacto significativo nos resultados de absorção de água. Por outro lado, Poon e Chan [39], também utilizando RCD, observaram valores vantajosos superiores em blocos de concreto, com uma absorção de água de 13,7%, valor extremamente elevado, possivelmente associado à redução da densificação durante o processo de compactação.

Na Fig.7 são apresentados os resultados de densidade de cada formulação e comparados por meio da análise de variância e teste Tukey, sendo obtidos: $F = 21,0$; $F_{\text{crítico}} = 3,43$ e valor $p = 0,0005$). Como na resistência à compressão, foi observada diferença significativa entre os dados, de modo que a densidade apresentou ligeira queda em relação ao padrão em GC5 (7,2%) e GC10 (10%), GC20 (8%) e GA20 (10%).

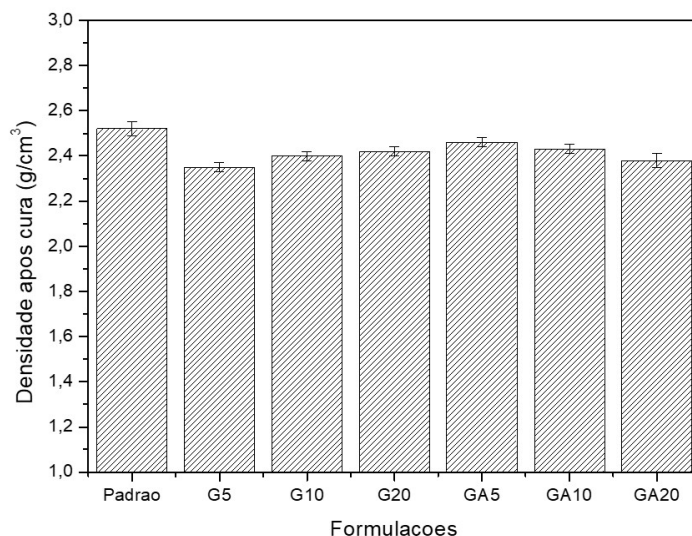


Figura 7. Densidade dos corpos após de cura de 28 dias

Na Fig.8 é apresentada a absorção por capilaridade. Esse ensaio não é comum em pisos intertravados, mas realizado em argamassas. De acordo com Mehta e Monteiro [40], o tamanho e a continuidade dos poros capilares determinam a permeabilidade de uma matriz cimentícia. Essa propriedade está diretamente ligada à durabilidade, pois a água, juntamente com íons agressivos, é responsável por alguns processos de deterioração da matriz.

A permeabilidade de uma argamassa pode ser determinada pelo ensaio de absorção de água por capilaridade. Segundo Mohomad et al [41], nesse ensaio é determinada a quantidade de água absorvida pelo corpo de prova por meio da ascensão capilar e essa propriedade pode classificar a argamassa quanto à sua capacidade de absorver a água do substrato.

De modo geral, a absorção por capilaridade aumentou em todas as formulações em relação ao padrão. À medida que o gesso substituiu o cimento, houve redução do aglomerante, reduzindo a resistência mecânica, favorecendo o aumento da absorção de água e aumento da capilaridade.

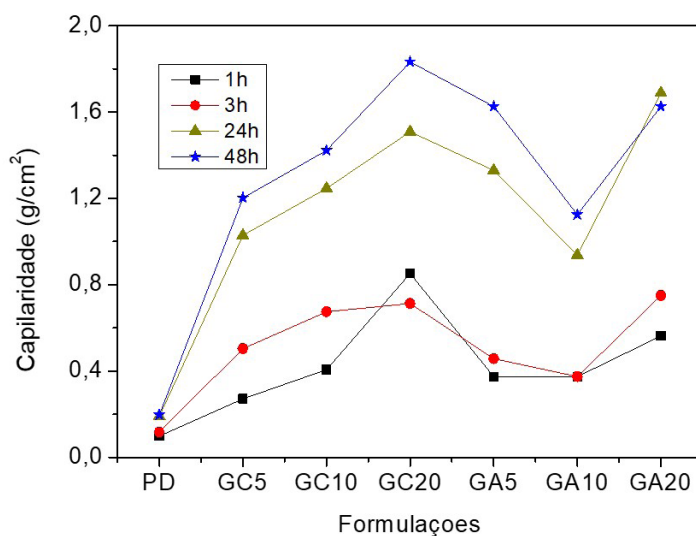


Figura 8. Absorção por capilaridade das formulações

Na Fig.9 são apresentados os blocos produzidos. Ele pode ser apresentado em cores diversas, mediante coloração, apresentando uma alternativa para decoração. O pigmento empregado foi do tipo inorgânico à base de óxidos de ferro e cromo de tonalidade azul. Nessa pesquisa foi empregado 5% de pigmento em relação à massa de cimento. Conforme a NBR 9781 [18], os pigmentos empregados na fabricação de peças de concreto devem ser de base inorgânica.



Figura 9. Piso intertravado

4. CONCLUSÃO:

A pesquisa teve como objetivo geral produzir blocos para pisos intertravados com reaproveitamento de resíduo de gesso e analisar suas propriedades de modo que possa ser utilizado como opção na arquitetura. As características dos materiais utilizados foram obtidas por meio de ensaios de caracterização física e química das matérias-primas, além de ensaio de difratometria por raios X. Os blocos para pisos intertravados foram submetidos a ensaios de resistência mecânica, absorção de água, absorção por capilaridade e densidade, após 28 dias de cura, também realizados em laboratório. Após a análise dos resultados, as seguintes conclusões foram obtidas:

Com relação à consistência, apesar do gesso ser mais leve do que o cimento e o agregado miúdo, houve uma discreta queda na consistência, não perceptível na análise do abatimento. Esse fato se deve ao gesso ser mais leve o que o cimento, devendo então ter cuidado no controle do abatimento;

O gesso, por ser mais fino, ou seja, apresentar maior superfície específica do que o cimento e areia requer maior quantidade de água para hidratação o que favorece a redução da resistência mecânica e aumento da absorção de água. A quantidade ideal para substituição foi 5% do cimento;

Com relação ao coeficiente de capilaridade, foi observado que à medida que se acrescentou o resíduo de gesso o coeficiente aumentou em todas as formulações em relação à referência. Assim, o gesso deve ser limitado até 5%;

Para os pisos intertravados de concreto com porcentagens acima de 5% de substituição do cimento pelo gesso, nota-se que resistências à compressão são inferiores em relação ao traço de referência, portanto esses pisos poderão ser indicados para aplicação em pavimentos para tráfego leve, atendendo às recomendações normativas brasileiras. A viabilidade da produção de blocos para pisos intertravados com substituição parcial do cimento pelo resíduo de gesso em 5% mostrou-se uma alternativa sustentável, e uma opção segura de reaproveitamento;

Com relação à absorção de água, as formulações GC5 e GC10, ou seja, com até 10% de substituição do cimento pelo gesso apresentaram resultados dentro do limite, ou seja, menor do que 6%.

Destaca-se que, após pesquisas realizadas em plataformas de pesquisa acadêmica, não foram encontrados estudos que abordem a incorporação de gesso reciclado em blocos para pisos intertravados. Tal ausência evidencia a inovação da proposta em explorar o reaproveitamento de um material exclusivamente. Além disso, pesquisas específicas ao desenvolvimento de produtos a partir de resíduos da construção civil são essenciais para promover soluções de reaproveitamento desses materiais. Essa abordagem contribui não apenas para a redução da geração de resíduos, mas também para a diminuição da remoção de recursos naturais, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade e fomentando práticas ambientais

REFERÊNCIAS:

- [1] Gautam L, Jain J K, Kalla P, Danish M, 2021. Sustainable utilization of granite waste in the production of green construction products: a review. *Materials Today: Proceedings* 44, 4196-4203. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.532>
- [2] Costa A V, Gumeri A G, Brandão P R G, 2014. Interlocking concrete blocks produced with sinter feed tailings. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais* 7, 244-259. <https://miguilim.ibict.br/handle/miguilim/4573>
- [3] John V M, Cincotto M A, 2003. Alternativas de gestão dos resíduos de gesso. São Paulo: Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [4] Agopyan V, 1998. Alternativas para redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras. São Paulo: ITQC, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [5] Ahmed K U, Kamei U A, 2011. Investigation of recycled gypsum in conjunction with waste plastic trays for ground improvement. *Construction and Building Materials* 25, 1, 208-217. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.036>
- [6] CONAMA, 2002. Resolução nº 307. <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=98303>
- [7] Geraldo R H, Pinheiro S M M, Silva J S, Andrade H M C, Dweck J, Gonçalves J P, Camarini G, 2017. Gypsum plaster waste recycling: A potential environmental and industrial solution. *Journal of Cleaner Production* 164, 288-300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.188>
- [8] Tavares Y V P, Lordsleem Jr A C, Schmitz I B T A, 2010. Reaproveitamento do resíduo de gesso na execução de revestimento interno de vedação vertical. *Ambiente Construído* 10, 103-119. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212010000100006>
- [9] Cipriano P B, Galdino T S G, Santos Sá C, Ferra A V, 2021. Avaliação dos parâmetros de calcinação do resíduo de gesso nas propriedades do gesso reciclado. *Matéria* 26, e13026. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13026>
- [10] Almeida K S, Soares R A L, Matos J M E, Almeida C D S, 2021. Incorporação de resíduo de gesso em formulação para adoquim cerâmico. *Cerâmica Industrial* 25, 1-11. <https://doi.org/10.4322/cerind.2020.005>

- [11] Silva B L, Cherene M G P, Castro X, Azevedo G, Vieira, C M F, 2023. Bibliometric study of the application of gypsum residues and by-products in Portland cement and mortar. *Construction and Building Materials* 409, 134072.
- [12] Wansom S, Chintasonkro P, Srijampan W, 2019. Water resistant blended cements containing flue-gas desulfurization gypsum, Portland cement and fly ash for structural applications. *Cement and Concrete Composites* 103, 134-148.
- [13] Yao Y, Yang D W, Tong H X, Zeng J L, Liu Y, 2011. Modification of waste fluorgypsum and its applications as a cement retarder. *Journal of Central South University* 18, 5, 1402-1407. <https://doi.org/10.1007/s11771-011-0853-9>
- [14] Hansen S, Sadeghian P, 2019. Application of recycled gypsum wallboards in cement mortar. Laval, Canada: 7th International Conference on Engineering Mechanics and Materials, Canadian Society for Civil Engineering. <http://hdl.Handle.net/10222/75926>
- [15] Thymotie A, Chang T, Nguyen H, 2020. Improving properties of high-volume fly ash cement paste blended with β -hemihydrate from flue gas desulfurization gypsum. *Construction and Building Materials* 261, 120494. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120494>
- [16] Ferreira E, Crunvinel K A, 2014. Utilização do gesso de entulho na produção de cimento. *Enciclopédia Biosfera* 10, 18.
- [17] Gesolglu M, Güneyisi E, Nahhab A H, Yazıcı H, 2026. The effect of aggregates with high gypsum content on the performance of ultra-high strength concretes and Portland cement mortars. *Construction and Building Materials* 110, 346-354. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.045>
- [18] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9781, 2013. Peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [19] Scott H R S, 2006. Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://hdl.handle.net/10183/12112>
- [20] Awoyera P O, Oladimeji B, Olalusi S I, Krishna P A, 2021. Water absorption, strength and microscale properties of interlocking concrete blocks made with plastic fiber and ceramic aggregates. *Case Studies in Construction Materials* 15, e00677. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00677>
- [21] Anele T C, Madumere E, Okere S S, 2023. Production of interlocking floor tiles using waste plastics. *Journal of Biodiversity and Environmental Research* 2, 2, 40-58. <https://ssaapublications.com/sjber/article/view/96>
- [22] Oliveira B, Arroyo G, Christoforo F N, Panzera A L, Silva T H, 2022. Análise de pisos intertravados com substituição do agregado miúdo por resíduo de construção e demolição. *Revista Principia* 59, 2, 427-444.
- [23] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16697, 2018. Cimento Portland: requisitos mínimos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [24] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16606, 2018. Cimento Portland: determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [25] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16607, 2018. Cimento Portland: determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [26] ASTM 854 D, 2014. Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- [27] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7215, 2019. Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [28] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16916, 2018. Agregado miúdo: determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [29] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181, 2016. Solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [30] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 67, 2020. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [31] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6502, 2022. Solos e rochas: Terminologia. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [32] An Q, Pan H, Zhao Q, Du S, Wang D, 2022. Strength development and microstructure of recycled gypsum-soda residue-GGBS based geopolymer. *Construction and Building Materials* 331, 127312.
- [33] Wu J, Liu L, Deng Y, Zhang G, Zhou A, Xiao H, 2022. Use of recycled gypsum in the cement-based stabilization of very soft clays and its micro-mechanism. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 14, 909-921. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.10.002>
- [34] Alexandre E, Luz C A, 2020. Substituição parcial do cimento CPV ARI por lodo de estação de tratamento de água (ETA). *Matéria* 25, e-12586.
- [35] Conceição P N, Vaz E C R, Vasconcelos R F L, Lima V M E, 2020. Reuso de rejeitos do granito para obtenção de compósitos utilizando materiais cimentícios. *Brazilian Journal of Development* 6, 9, 72244-72255.
- [36] Ferreira E, Crunvinel K A, 2014. Utilização do gesso de entulho na produção de cimento. *Enciclopédia Biosfera* 10, 18.
- [37] Hirsch T, Matschei T, Stephan D, 2023. The hydration of tricalcium aluminate ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$) in Portland cement-related systems: a review. *Cement and Concrete Research* 168, 107150.
- [38] Hood R S S, 2006. Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://hdl.handle.net/10183/12112>
- [39] Poon C S, Chan D, 2006. Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick. *Construction and Building Materials* 20, 8, 569-577. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.044>

- [40] Mehta P K, Monteiro P J M, 2014. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3ª ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON.
- [41] Mohamad G, Neto A D S, Pelisser F, Lourenço P, Roman H, 2009. Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural-previsão e modo de ruptura. *Matéria* 14, 824-844. <https://doi.org/10.1590/S1517-70762009000200006>