

Estudo da adição de fibras de máscaras faciais N95, sílica ativa e pó de mármore em argamassa de alto desempenho

Research of addition of N95 facial mask fibers, silica fume and marble powder in high performance mortar

Sandilla Oliveira¹, Laura Soranço¹, Thales Pereira¹, Bernardo Games¹,
Clarisse Ferreira¹, Maria Teresa Barbosa¹ 

¹Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, Juiz de Fora, MG, Brasil.

e-mail: sandilla.oliveira@estudante.ufjf.br, laura.soranço@estudante.ufjf.br, thalessilva.pereira@estudante.ufjf.br, debossan.bernardo@estudante.ufjf.br, clarisse.roman@estudante.ufjf.br, teresa.barbosa@ufjf.br

RESUMO

A pandemia do coronavírus além da crise de saúde global evidencia prejuízos ao meio ambiente devido ao elevado número de máscaras faciais descartadas, tornando necessário o desenvolvimento de pesquisas para minimizar os riscos ambientais associados aos de equipamentos de proteção individual utilizados pela população. Este estudo visa reduzir os resíduos gerados pela pandemia, aproveitando as máscaras faciais, inserindo-as na confecção de argamassas. Efetuou-se processamento (tritamento) das máscaras e sua inclusão em teores de 1,4% e 2,0% em relação ao consumo de cimento. Os produtos foram comparados com um traço de referência e avaliados quanto às propriedades físicas e mecânicas. Como resultado, constatou-se que a adição do fibras da máscara interfere nas propriedades ocasionando um incremento na taxa de absorção de água, bem como reduções na resistência à tração e à compressão, respectivamente 30% e 50%, em decorrência de falhas na interação matriz/fibra, o que poderá limitar o emprego da mistura. Entretanto, o presente estudo contribui para a agenda brasileira no que se refere ao desenvolvimento sustentável urbano, regional e nacional, através de uma abordagem inovadora, possibilitando a redução da degradação ambiental pelo descarte das máscaras e a confecção de novos materiais a serem empregados no setor da construção civil.

Palavras-chave: Materiais e componentes de construção; inovação; sustentabilidade; reaproveitamento de máscara de proteção.

ABSTRACT

The coronavirus pandemic, in addition to the global health crisis, shows damage to the environment due to the high number of disposable face masks, making it necessary to develop research to minimize the environmental risks associated with personal protective equipment used by the population. This research aims to reduce the waste generated by the pandemic, taking advantage of face masks, inserting them in the manufacture of mortars. Processing (grinding) of the masks was carried out and their inclusion in contents of 1.4% and 2.0% in relation to the cement consumption. The products were compared to a reference mix and evaluated for physical and mechanical properties. As a result, it was found that the addition of mask fibers resulting an increase in the water absorption rate, as well as reductions in diametral compression strength and compressive strength, respectively 30% and 50%, due to failures in the matrix/fiber interaction, which may limit the use of the mixture. However, this research contributes to the Brazilian agenda regarding sustainable urban, regional, and national development, through multidisciplinary and innovative approaches, enabling the reduction of environmental degradation by discarding masks and the making of new materials to be employees in the construction sector.

Keywords: Building materials and components; innovation; sustainability; reuse of face masks.

1. INTRODUÇÃO

Durante a pandemia de coronavírus (COVID-19) o uso de equipamentos de proteção individual como máscaras faciais e luvas de plástico aumentou significativamente [1–3] em conformidade com os requisitos implementados para reduzir a disseminação do vírus. Estima-se que 6,88 bilhões de máscaras faciais foram geradas em todo mundo/dia [4]. No Brasil, estima-se que mais de 12 bilhões de máscaras já foram descartadas, até o presente momento [5], consequentemente, houve um aumento considerável na geração de resíduos sólidos ocasionando sérios problemas ao meio ambiente [6].

Sendo assim, o gerenciamento ineficiente e o descarte inadequado das máscaras faciais resultam em prejuízos significativos ao meio ambiente [7, 8], agravando ônus ambientais, sociais e econômicos. Destaca-se, ainda, que a pandemia do COVID-19 causou vários impactos sobre o sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil, afetando os avanços no desenvolvimento sustentável [9]. Portanto, uma colaboração para assegurar a redução dos riscos ambientais associados ao descarte de EPIs usados é de suma importância.

Estudos que viabilizam a incorporação de rejeitos têxteis na produção de materiais e componentes para a construção [10, 11] relacionam competitividade e desenvolvimento sustentável na indústria da construção civil, principalmente quando associado a produtos cimentícios. Esses estudos tendem a minimizar o impacto ambiental negativo causado pelos resíduos, trazendo meios e possibilidades de reciclar e reutilizar resíduos em aplicações para confecção de materiais e componentes a serem empregados na construção civil sendo, portanto, uma forma eficaz de abordar os problemas de gestão de resíduos causados pela pandemia [12].

Embora existam variações entre os fabricantes, normalmente as máscaras N-95 possuem cinco camadas de material não tecido, sendo o polipropileno (PP) e o polietileno (PE) utilizados para as camadas dos filtros; a poliamida (PA) usada para confecção das alças elásticas e, por último, o suporte para o nariz, que é feito de material metálico. A literatura sobre o reaproveitamento de resíduos de máscaras N-95 ainda é recente, entretanto, promissor quanto ao reaproveitamento de seus resíduos na construção civil para a produção de diferentes produtos [13, 14].

Diante do exposto, essa pesquisa se destaca, em resumo, no fato que a pandemia da COVID-19 criou não apenas um problema de saúde global e crise financeira, mas também, um impacto sem precedentes ao meio ambiente. A elevada quantidade de EPIs produzida e utilizada mundialmente e, até o momento, poucos estudos realizados para tratar os resíduos gerados pelo descarte destes. Sendo assim, aqui propõe-se uma forma inovadora de reduzir os resíduos gerados por meio da reciclagem e reutilização da máscara facial triturada e adição em produtos cimentícios a serem empregados na construção civil.

A incorporação de resíduos em argamassas e outros produtos cimentícios é alvo de estudos em diferentes frentes, pois apresenta possibilidades de redução de impactos ambientais e sociais, uma vez que promove a ciclicidade de materiais que seriam descartados. Dentre estes materiais, cita-se, por exemplo, o pó de mármore, resultante do processo de beneficiamento do mármore comercial e que possui alto teor de carbonato de cálcio (CaCO_3). Destacam-se diversos estudos que comprovam seus benefícios nas propriedades mecânicas de argamassas e concretos [15–17].

Outro importante rejeito é a sílica ativa, material pozzolânico gerado durante a obtenção do ferro-silício e do silício metálico, suas partículas possuem formato esférico com cerca de 200 nm-1 μm de diâmetro médio e possui alta reatividade com o hidróxido de cálcio, funcionando como um microfiller, diminuindo o espaço para água e formando pontos de nucleação. Estas características fazem com que misturas de sílica ativa em argamassas e concretos proporcionam misturas mais coesas, evitando a segregação dos outros componentes e a movimentação dos agregados. Ademais, devido a seu tamanho reduzido, promovem um aumento de finos na mistura final, aumentando seu teor de exsudação. Quando em estado endurecido, as argamassas com adições de sílica ativa apresentam bons resultados propiciando misturas cimentícias de alto desempenho e resistência mecânica [18, 19].

Diante do exposto, esta pesquisa concentrou-se na investigação da adição das fibras de máscara N-95 trituradas em uma mistura de argamassa nas proporções de 1,4% e 2,0% em relação a quantidade de cimento; de maneira a se obter uma mistura homogênea com menos poros, devido ao possível “encolhimento plástico” do material, aumentando assim sua resistência ao estilhaçamento. Observa-se que adições de fibras em maiores concentrações tendem a ter um efeito contrário ao esperado, pois não é possível controlar sua distribuição dentro da argamassa e há a possibilidade de ocorrer o entrelaçamento entre as fibras [20, 21].

Sendo assim, o objetivo principal do presente trabalho consiste na confecção de argamassas produzidas com areia normal, pó de mármore e sílica ativa, onde adicionou, máscaras faciais trituradas (tipo: N-95) nos teores de 1,4% e 2,0% a uma mistura de referência, de forma a obter um material com propriedades adequadas ao emprego na construção civil e possibilitar a fabricação de produtos como, blocos de concreto, pavers, dentre outros. Para tanto, as misturas foram avaliadas em suas propriedades físicas e mecânicas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Os materiais empregados na produção das misturas priorizaram o comércio local, sendo assim, destaca-se:

- i) Cimento CP V da marca CSN;
- ii) Areia normal produzida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (NBR 7214 [22]);
- iii) Sílica ativa da marca Tecnosil (% SiO₂ > 90%, superfície específica: 20.000 m²/ kg, massa específica: 2220 kg/m³, diâmetro da partícula 200 nm-1 µm);
- iv) Pó de mármore ($\gamma_R = 2,90 \text{ kg/ dm}^3$ e $\gamma_U = 1,70 \text{ kg/ dm}^3$, diâmetro da partícula 116, 9 1 µm);
- v) Água potável;
- vi) Aditivo superplastificante de pega normal MC-PowerFlow 4001 da marca MC-Bauchemie (densidade 1,12 kg/l);
- vii) Fibras de máscaras tipo N95 trituradas (conforme ilustrado na Figura 1), confeccionado com polipropileno, TNT, cloreto de polivinilo (Gramatura = 20 g/m²).

Neste estudo, visando a segurança da equipe envolvida, foram utilizadas máscaras novas, ou seja, sem uso prévio, sendo extraídas as partes metálicas e as tiras elásticas e, posteriormente, realizou-se a trituração do material restante. Embora hoje se conheça melhor o ciclo de vida do SARS-CoV-2, salienta-se a necessidade de investigação de processos eficientes de desinfecção quando se reutilizam máscaras já usadas, uma vez que se busca reduzir ao máximo possíveis índices de contaminação, tanto no manuseio quanto no material resultante. Estudos recentes indicam que a disposição das máscaras usadas durante 72 horas é suficiente, uma vez que a sobrevivência do vírus em superfícies plásticas não ultrapassa este período. Há também que se considerar, neste sentido, a alcalinidade dos produtos a base de cimento, o que por si, tornaria este ambiente desfavorável à sobrevivência do vírus [13, 23–25].

O processo de trituração das máscaras N-95 foi realizado em um triturador de alimentos convencional a fim de facilitar o processamento para futuros empregos das mesmas o que resultou em fibras de dimensões variadas, dificultando a definição do comprimento médio. Por se tratar de um estudo preliminar, a opção pelos procedimentos adotados baseou-se na redução de custos e facilitação do processo.

A definição da melhor proporção dos materiais a serem empregados no traço da argamassa, ou seja, aquela que para dadas distribuições granulométricas dos constituintes da mistura produz o melhor empacotamento dos grãos, utilizou-se a ferramenta computacional *Elkem Materiais Mixture Analyzer* (EMMA), onde os dados acerca da granulometria dos materiais constituintes foram obtidos por análise de difração a laser. O *software* utilizado permite o empacotamento das partículas dos materiais constituintes, que pode ser definido como uma correta seleção de proporção e tamanho das partículas, fazendo com que as menores preencham os espaços vazios deixados pelas maiores, reduzindo de forma considerável o volume de vazios na estrutura do compósito [26].

Nesse sentido a proporção entre os materiais constituintes compreende 1:1:0,25:0,55:0,37:0,02 (cimento: areia: sílica ativa: pó de mármore: água: aditivo hiperplastificante). Salienta-se que o elevado consumo de cimento decorre da granulometria do pó de mármore.

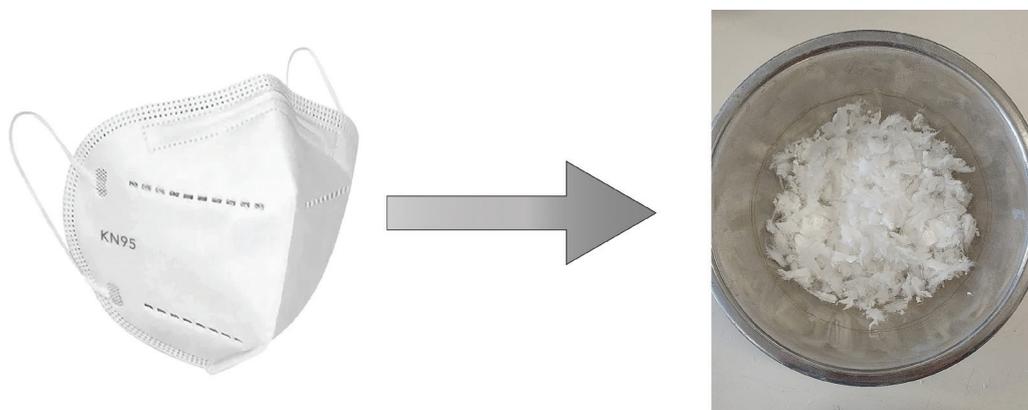


Figura 1: Fibra de máscara triturada adicionada à mistura.

Nesse contexto, avaliou-se as propriedades de argamassas confeccionadas com adição de fibras de máscaras N-95 trituradas (nas proporções 1,4% e 2,0% em relação a quantidade de cimento) que foram comparadas com a argamassa de referência, sem adição de fibra de máscara triturada. Sendo assim, adotou-se a seguinte nomenclatura para as misturas estudadas: REF (sem adição de fibra de máscara), REF 14 e REF 20 (com adição de 1,4% e 2,0% de fibra de máscara triturada, respectivamente). As proporções de fibras aqui analisadas seguiram os padrões propostos em estudos da mesma temática, onde os autores analisaram diferentes quantidades de adições em seus experimentos [24, 25]. Por se tratar de um estudo brasileiro preliminar optou-se por testar proporções de 1,4% e 2,0% que se apresentaram como mais favoráveis.

2.2. Métodos

O programa experimental consistiu na avaliação das propriedades das misturas conforme descrito a seguir:

Físicas: índice de consistência na mesa de espalhamento *flow table* [27].

Mecânicas (vide Tabela 1) [28–33].

Em resumo, foram produzidos um total de 72 corpos de prova cilíndricos, considerando todas as amostras (REF, REF 14 e REF 20). Para o processo de cura dos mesmos, optou-se pelo método tradicional em câmara úmida e tanques para cura de corpos de prova de argamassa e concreto, conforme NBR 9479 [33].

3. RESULTADOS

No ensaio de consistência e trabalhabilidade [27] obteve-se os resultados apresentados na Tabela 2, onde se verifica que, em relação à amostra referência, a adição de 1,4% de fibras de N-95 reduziu em 9,9% a trabalhabilidade da argamassa, enquanto para a mistura REF 20 (adição de 2,0% de fibras) a redução da trabalhabilidade foi de 20,4%. Outro aspecto observado está relacionado com o modo de espalhamento entre amostras, ou seja, a amostra REF 20 apresentou uma diminuição da fluidez (consistência) devido a maior concentração de fibras da máscara. Em nenhuma das misturas foi observado processos de exsudação significativos, conforme ilustrado na Figura 2.

Tabela 1: Programa experimental.

TESTES	IDADE (DIAS)	Nº DE CORPOS DE PROVA/IDADE
Resistência à compressão (f_c) (MPa)	3, 7, 28	4/idade
Resistência à compressão diametral ($f_{ct,sd}$) (MPa)	3, 7, 28	4/idade
Velocidade de pulso ultrassônico (VP) (m/s)	28	4/idade
Absorção por imersão (A) (%)	28	4/idade
Absorção por capilaridade (A_c) (g/cm ²)	28	4/idade

Tabela 2: Índices de consistência obtidos na mesa de espalhamento *flow table*.

REF	REF 14	REF 20
182,3 mm	164,3 mm	145,2 mm



Figura 2: Consistência das misturas (referência à esquerda, com adição de 1,4% de fibra de N-95 ao centro e 2,0% à direita).

As Tabelas 3 e 4 e Figuras 3 e 4 apresentam os resultados referentes às propriedades mecânicas das amostras analisadas. É possível notar que o coeficiente de variação (CV) das amostras foi calculado para os resultados apresentados em cada propriedade avaliada onde se verifica um $CV \leq 25\%$, o que indica uma baixa variabilidade dos dados em relação ao valor médio.

Analisando as Figuras 3 e 4, referente às propriedades mecânicas das misturas investigadas é possível constatar:

- i) Em idades maiores há uma perda da resistência à compressão de cerca 32,56% e 46,04%. para a adição de 1,4% e 2,0% de fibra de máscara, respectivamente. Apesar do estudo do empacotamento dos grãos ter propiciado uma mistura adequada (com maior resistência à compressão) e com redução no índice de vazios, conforme ilustrado na Figura 3, a inclusão da fibra de máscara resultou em “vazios internos” que poderá limitar o emprego da mistura na fabricação de produtos cimentícios ao se considerar somente essa propriedade mecânica. Tal fato é comprovado inclusive pela VP (m/s) vide Tabela 4 onde há redução da velocidade identificando a maior heterogeneidade da mistura;

Tabela 3: Média dos resultados nos ensaios de resistência mecânica (MPa).

IDADE	REF			REF 14			REF 20		
	3	7	28	3	7	28	3	7	28
f_c (MPa)	44,65 (CV = 0,10)	66,94 (CV = 0,02)	102,65 (CV = 0,01)	52,54 (CV = 0,05)	66,87 (CV = 0,03)	69,23 (CV = 0,06)	46,84 (CV = 0,12)	63,95 (CV = 0,13)	55,39 (CV = 0,11)
$f_{ct,sd}$ (MPa)	4,84 (CV = 0,16)	9,09 (CV = 0,04)	8,24 (CV = 0,03)	4,88 (CV = 0,08)	5,21 (CV = 0,07)	5,62 (CV = 0,04)	4,38 (CV = 0,03)	6,11 (CV = 0,20)	7,92 (CV = 0,20)

Tabela 4: Média dos resultados dos testes de VP e absorção realizados aos 28 dias de idade.

PROPRIEDADE	REF	REF 14	REF 20
VP (m/s)	4210 (CV = 0,2%)	4330 (CV = 0,9%)	4170 (CV = 0,1%)
A (%)	0,98 (CV = 0,57)	2,0 (CV = 0,36)	1,6 (CV = 0,28)
A_i (g/cm ²)	0,15 (CV = 0,24)	0,11 (CV = 0,26)	0,30 (CV = 0,15)
Coefficiente de capilaridade	0,24 (CV = 0,34)	0,04 (CV = 0,22)	0,32 (CV = 0,12)

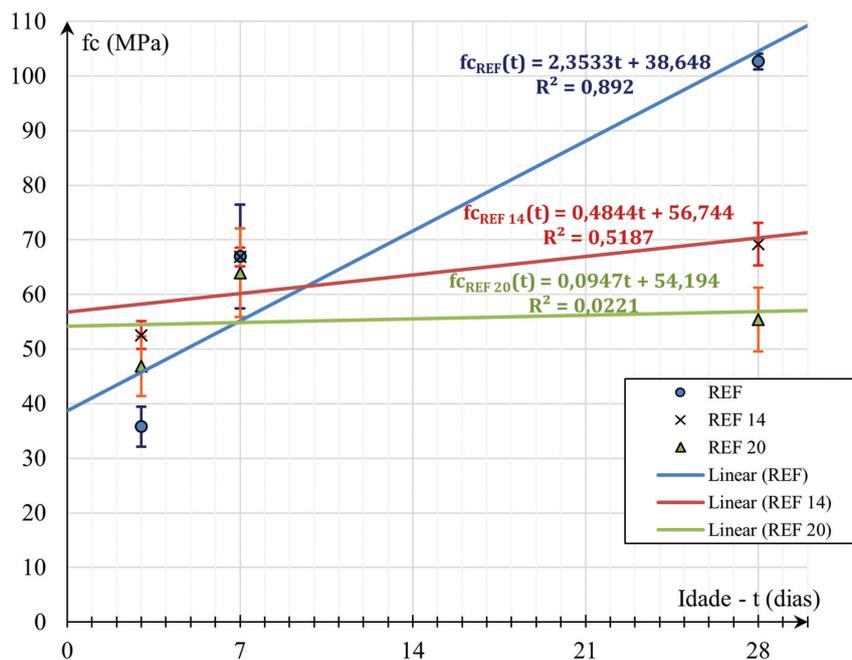


Figura 3: Resistência à compressão (MPa) x idade.

- ii) É possível verificar um comportamento similar ao da resistência à compressão quando se analisa resistência à compressão diametral, onde se verifica uma redução de cerca 50%, para as misturas REF14 e REF 20. Nesse caso, a adição de fibras em maiores teores é mais benéfica;
- iii) No que se refere aos testes realizados nos ensaios de absorção (A e A_t), vide na Tabela 4 e Figuras 5 e 6, a adição das fibras de máscaras proporcionou um pequeno incremento no comportamento da argamassa quanto a absorção de água tanto por imersão quanto capilaridade. O comprometimento que ocorre nessas propriedades com o aumento no teor das fibras é resultado da deficiência da interação fibra-matriz da argamassa decorrente absorção de água pelo material constituinte das máscaras, prejudicando essa propriedade.

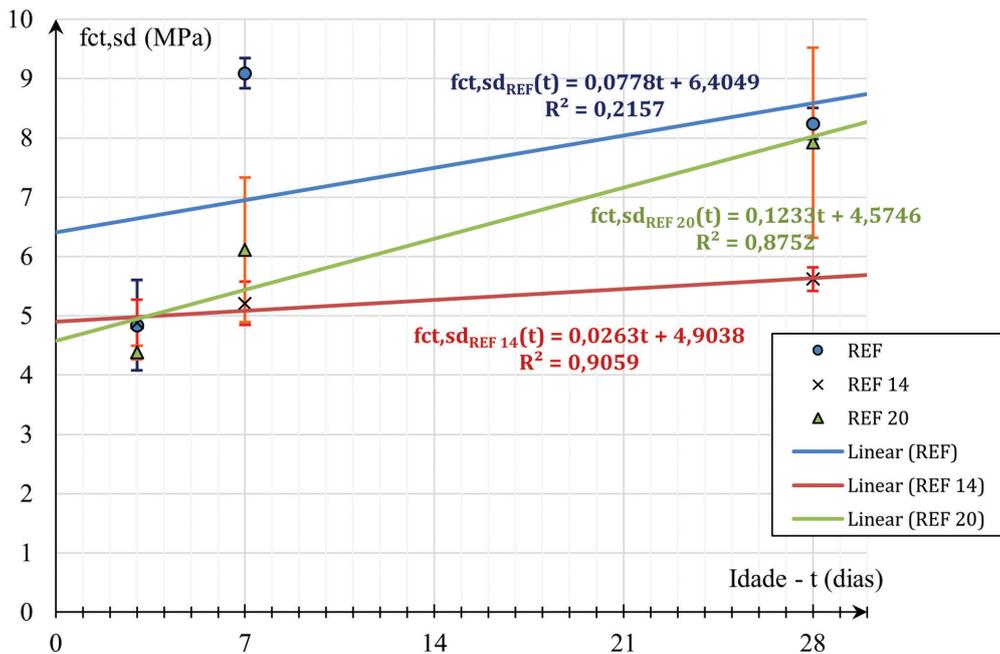


Figura 4: Resistência à compressão diametral (MPa) x idade.

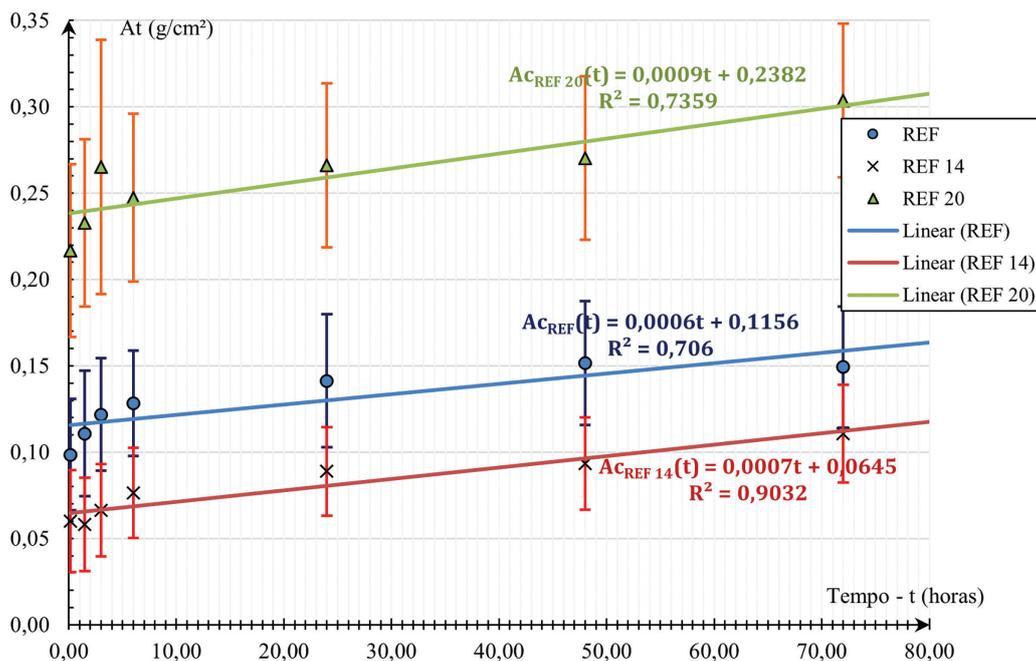


Figura 5: Absorção por capilaridade (A_t).

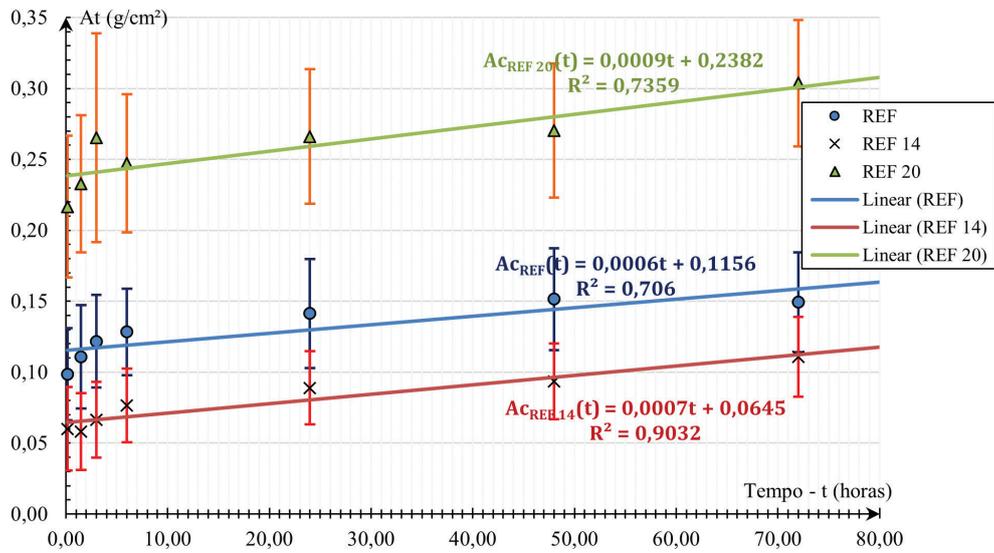


Figura 6: Absorção por imersão (A).

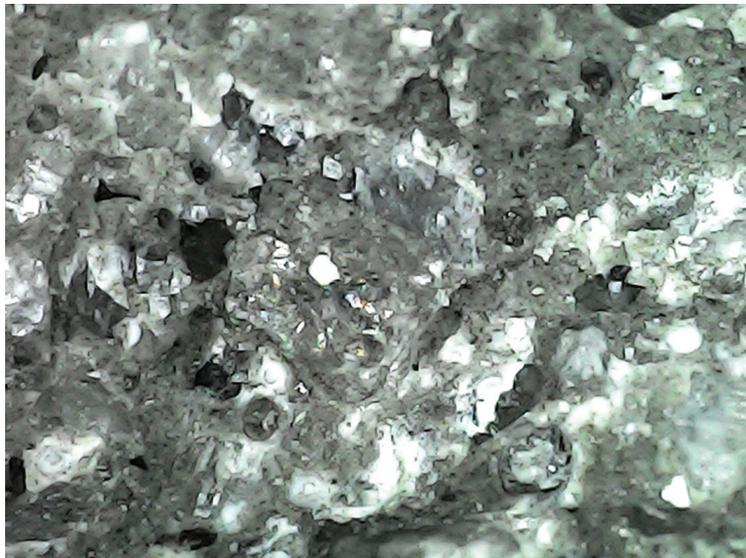


Figura 7: Amostra de referência (REF).

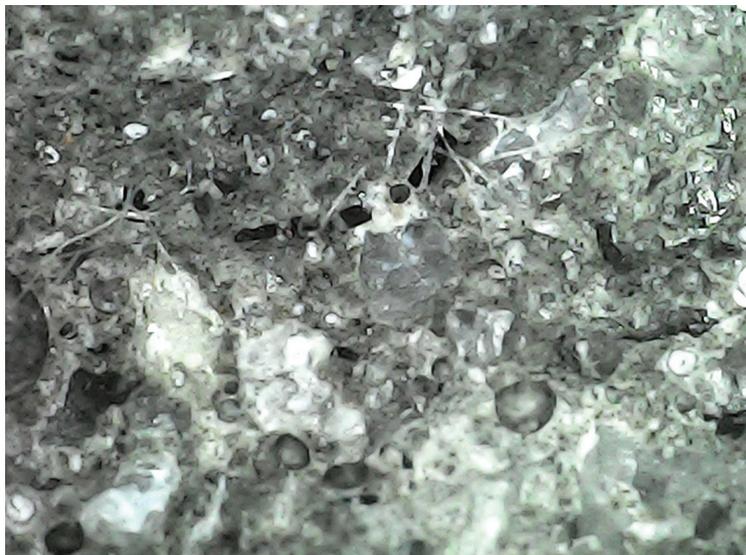


Figura 8: Amostra com 1,4% de fibra N-95 (REF 14).

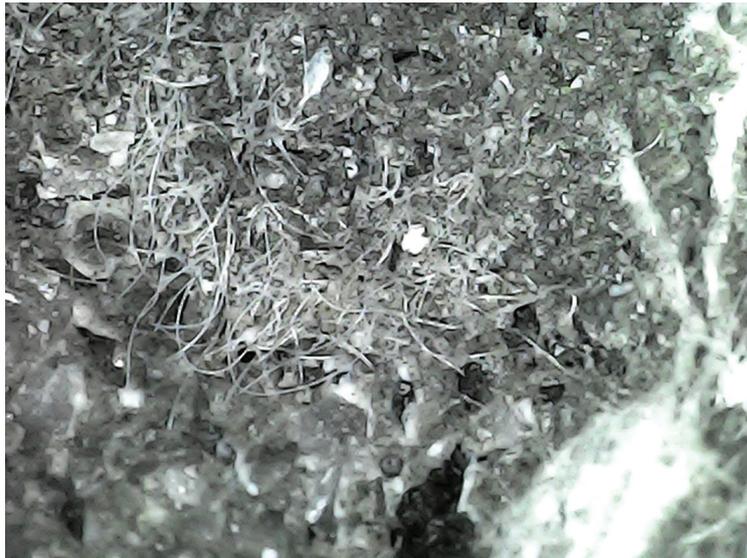


Figura 9: Amostra com 2,0% de fibra N-95 (REF 20).

Para auxiliar as análises acima mencionadas e aprimorar o conhecimento da matriz formada pela incorporação das fibras de máscaras tipo N-95 foi empregado um microscópio digital com aumento de até 1600× (Figuras 7 a 9) nos corpos de prova rompidos no ensaio de compressão diametral que possuíam idade igual a 28 dias.

4. DISCUSSÃO

De acordo com os ensaios realizados, observa-se que ao se adicionar fibras de máscaras N-95, em produtos cimentícios ocorre certa perda de trabalhabilidade que é diretamente proporcional ao teor de fibras. Além disso, também é possível observar que para idades maiores, na argamassa com adição de fibras da máscara, ocorreram perdas na resistência à compressão, provavelmente em decorrência do surgimento de vazios internos na argamassa devido à adição das fibras de máscaras trituradas, o que poderá limitar o emprego deste material.

A falta de uniformidade no tamanho das fibras trituradas de máscaras N-95 utilizadas neste trabalho pode ter contribuído para a diminuição da resistência à tração e à compressão já que as fibras analisadas comportaram como fibras têxteis, observado, inclusive, no incremento dos índices de absorção de água do material. Percebe-se um aumento do volume das fibras devido à sua tendência de maior captura (absorção) de água e, durante o processo de cura do cimento, constata-se um incremento no índice de vazios da mistura, bem como comprometimento da interação matriz cimentícia/fibra e, conseqüentemente, prejuízos as propriedades das misturas [10, 34].

Diante do exposto, evidencia-se a necessidade de uma maior padronização no processo de desfibrilação das máscaras N-95 para seu reaproveitamento em produtos cimentícios, bem como o estudo de uma impermeabilização eficiente de forma a produzir resultados mais satisfatórios. Destaca-se que o aumento da absorção de água pode impactar a durabilidade do material final [35] já que o aumento do teor de fibras (REF 20) incrementa a taxa de absorção do produto pelo aumento de volume (“inchamento”) das fibras quando em presença de água.

Por fim, os resultados apresentados neste trabalho pretendem se incluir como um passo na busca para se encontrar um possível nicho de reaproveitamento deste tipo de resíduo. Pretende-se melhorar a investigação aqui realizada, aperfeiçoando a mistura e testando novas adições que aperfeiçoem as propriedades do material compósito e possibilite a produção de outros produtos a serem empregados setor da construção civil.

5. CONCLUSÕES

O aumento do uso de máscaras N-95 durante o período pandêmico, causado pela disseminação da COVID-19, causou um aumento no volume de resíduos poliméricos descartados no meio ambiente. A desintegração de máscaras faciais em micro e nano resíduos contribui para o desenvolvimento sustentável, já que uma única máscara descartada de maneira inadequada, pode liberar cerca de 1,5 milhão de partículas microplásticas por ação do intemperismo [36]. Uma possível solução para esses problemas é reciclar as máscaras N95 usadas e reutilizá-las como reforço em materiais de construção.

As principais conclusões do presente trabalho são descritas, resumidamente, como segue:

- i) A adição de fibras de máscaras N-95 na produção de argamassas influencia as propriedades do produto, tanto as mecânicas quanto as taxas de absorção;
- ii) Houve uma maior perda de resistência à compressão em relação à resistência à tração, possivelmente devido a não uniformidade do tamanho das fibras e a seu entrelaçamento;
- iii) As fibras, embora compostas de materiais sintéticos (polipropileno), se comportaram como fibras naturais, exibindo características que possibilitam a comparação entre ambos;
- iv) Há necessidade de uma padronização no tamanho das fibras para que se possa analisar seu comportamento com maior precisão, conseqüentemente, deve-se investigar uma maneira mais eficaz de desfibração do material, visando uniformidade das dimensões do material;
- v) Devido às particularidades das fibras obtidas há, também, a necessidade de se investigar um método de cura mais eficiente que o utilizado (câmara úmida), proporcionando uma melhor observação do comportamento do material;
- vi) Para a reutilização de máscaras é necessário investigar um método de desinfecção que não aumente os custos de processamento das fibras.

O reaproveitamento de máscaras N-95 na forma de fibras fornece uma fonte mais barata de fibras de polipropileno (PP), podendo substituir, total ou parcialmente, as fibras virgens, se mostrando como uma solução parcial aos problemas ambientais e ecológicos decorrentes da utilização deste material. Além disso, sua utilização em materiais de construção poderá melhorar a microestrutura das argamassas, com conseqüente melhoria de suas características mecânicas e de durabilidade.

Destaca-se a necessidade de maiores análises que investiguem casos particulares de possíveis aplicações de produtos cimentícios com fibras de máscaras N-95, de modo a atender os parâmetros normativos. E, finalmente, esse estudo abre a possibilidade de investigação de oportunidades de aplicações do uso de resíduos de EPIs hospitalares, especialmente as máscaras de proteção N-95, no setor da construção civil.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] ZAND, A.D., HEIR, A., “Emerging challenges in urban waste management in Tehran, Iran during the COVID-19 pandemic”, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 162, pp. 105051, Nov. 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105051>. PubMed PMID: 32834485.
- [2] RHEE, S.W., “Management of used personal protective equipment and wastes related to COVID-19 in South Korea”, *Waste Management & Research*, v. 38, n. 8, pp. 820–824, Jun. 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X20933343>. PubMed PMID: 32517547.
- [3] ILYAS, S., SRIVASTAVA, R.R., KIM, H., “Disinfection technology and strategies for COVID-19 hospital and bio-medical waste management”, *The Science of the Total Environment*, v. 749, pp. 141652, Ago. 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141652>. PubMed PMID: 32822917.
- [4] NZEDIEGWU, C., CHANG, S.X., “Improper solid waste management increases potential for COVID-19 spread in developing countries”, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 161, pp. 104947, Out. 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104947>. PubMed PMID: 32412552.
- [5] CNN BRASIL, *Pandemia: mais de 12 bilhões de máscaras já foram descartadas no Brasil*, Jul. 2021. <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/pandemia-mais-de-12-bilhoes-de-mascaras-ja-foram-descartadas-no-brasil/>, acessado em novembro de 2021.
- [6] ALMULHIM, A.I., AHMAD, I., SARKAR, S., *et al.*, “Consequences of COVID-19 pandemic on solid waste management: Scenarios pertaining to developing countries”, *Remediation*, v. 31, n. 4, pp. 111–121, Jul. 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/rem.21692>. PubMed PMID: 34539158.
- [7] HIRSH, S., *Every month, 200 billion face masks and gloves are going into the environment*, 2020. <https://www.greenmatters.com/p/face-masks-gloves-litter-coronavirus>, acessado em setembro de 2022.

- [8] PRATA, J.C., SILVA, A.L.P., WALKER, T.R., *et al.*, “COVID-19 pandemic repercussions on the use and management of plastics”, *Environmental Science & Technology*, v. 54, n. 13, pp. 7760–7765, Jun. 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.0c02178>. PubMed PMID: 32531154.
- [9] URBAN, R.C., NAKADA, L.Y., “COVID-19 pandemic: solid waste and environmental impacts in Brazil”, *The Science of the Total Environment*, v. 755, n. 1, pp. 142471, Fev. 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142471>. PubMed PMID: 33010498.
- [10] MOURA, J.M.B.M., REIS, R., MAY, S., *et al.*, “Placas cimentícias e pavers com incorporação de rejeitos da coleta seletiva do município de Blumenau, SC”, *Ambiente Construído*, v. 18, n. 1, pp. 345–359, Mar. 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100225>.
- [11] STOTUKA, F., BERTOLDI, C., “Desenvolvimento de compósito de fibra têxtil desfibrada advindas de uniformes e resina poliuretana vegetal de mamona”, In: *VII Encontro de Sustentabilidade em Projeto*, pp. 418–429, Florianópolis, Maio 2019.
- [12] TANG, C.S., PALEOLOGOS, E.K., VITONE, C., *et al.*, “Environmental geotechnics: challenges and opportunities in the post-COVID-19 world”, *Environmental Geotechnics*, v. 8, n. 3, pp. 172–192, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1680/jenge.20.00054>.
- [13] JUANG, P.S.C., TSAI, P., “N95 respirator cleaning and reuse methods proposed by the inventor of the N95 mask material”, *The Journal of Emergency Medicine*, v. 58, n. 5, pp. 817–820, Abr. 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jemermed.2020.04.036>. PubMed PMID: 32389433.
- [14] CRESPO, C., IBARZ, F., SÁENZ, C., *et al.*, “Study of recycling potential of FFP2 face masks and characterization of the plastic mix-material obtained. A way of reducing waste in time of Covid-19”, *Waste and Biomass Valorization*, v. 12, pp. 6423–6432, Mai. 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-021-01476-0>.
- [15] SINGH, M., CHOUDHARY, K., SRIVASTAVA, A., *et al.*, “A study on environmental and economic impacts of using waste marble powder in concrete”, *Journal of Building Engineering*, v. 13, pp. 87–95, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2017.07.009>.
- [16] EL-SAYED, H.A., FARAG, A.B., KANDEEL, A.M., *et al.*, “Characteristics of the marble processing powder waste at Shaq El-Thoaban industrial area, Egypt, and its suitability for cement manufacture”, *HBRC Journal*, v. 14, n. 2, pp. 171–179, Mai. 2019.
- [17] MORENO, A., PONCE, C., MÚZQUIZ, E., *et al.*, “Resíduos de mármore em materiais de construção: uma revisão do uso do pó de mármore em argamassas, concreto e tijolos”, *Revista ALCONPAT*, v. 12, n. 2, pp. 162–183, Mai. 2022.
- [18] DAL MOLIN, D., “Adições minerais para concreto estrutural”. In: Isaia, G. (ed), *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*, capítulo 12, Vol. 1, São Paulo, IBRACON, 2011.
- [19] RIGO, L., “*Estudo da sinergia entre nano sílica e micro sílica em argamassas para aplicação em concretos como proposta de melhoria de desempenho*”, Trabalho de conclusão de curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.
- [20] AKBAR, A., LIEW, K.M., “Assessing recycling potential of carbon fiber reinforced plastic waste in production of eco-efficient cement-based materials”, *Journal of Cleaner Production*, v. 274, pp. 123001, Nov. 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123001>.
- [21] XIE, C., CAO, M., KHAN, M., *et al.*, “Review on different testing methods and factors affecting fracture properties of fiber reinforced cementitious composites”, *Construction & Building Materials*, v. 273, pp. 121766, Mar. 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121766>.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 7214: areia normal para ensaio de cimento*, Rio de Janeiro, ABNT, 2015.
- [23] MORIYAMA, M., HUGENTOBLER, W.J., IWASAKI, A., “Seasonality of respiratory viral infections”, *Annual Review of Virology*, v. 7, n. 1, pp. 83–101, Set. 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-virology-012420-022445>. PubMed PMID: 32196426.
- [24] ALI, M., OPULENCIA, M.J.C., CHANDRA, T., *et al.*, “An environmentally friendly solution for waste facial masks recycled in construction materials”, *Sustainability*, v. 14, n. 14, pp. 8739, Jul. 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/su14148739>.
- [25] SABERIAN, M., LI, J., KILMARTIN-LYNCH, S., *et al.*, “Repurposing of COVID-19 single-use face masks for pavements base/subbase”, *Science of the Total Environment*, v. 769, pp. 145527, Mai. 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145527>.

- [26] SUNAYANA, S., BARAI, S., “Recycled aggregate concrete incorporating fly ash: comparative study on particle packing and conventional method”, *Construction & Building Materials*, v. 156, pp. 376–386, Dez. 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.132>.
- [27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 13276: argamassa para assentamento e revestimento: determinação do índice de consistência*, Rio de Janeiro, ABNT, 2016.
- [28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 5739: Argamassas e concretos endurecidos-Concreto-Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*, Rio de Janeiro, ABNT, 2018.
- [29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 9778: Argamassas e concretos: determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*, Rio de Janeiro, ABNT, 2005.
- [30] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento: determinação da resistência à tração e compressão*, Rio de Janeiro, ABNT, 2005.
- [31] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 15259: Argamassa e concretos: determinação da absorção de água por capilaridade*, Rio de Janeiro, ABNT, 2005.
- [32] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 16616: Ensaio não destrutivo: ultrassom convencional*, Rio de Janeiro, ABNT, 2017.
- [33] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 9479: Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto*, Rio de Janeiro, ABNT, 1994.
- [34] SHARMA, R., BANSAL, P., “Use of different forms of waste plastic in concrete - a review”, *Journal of Cleaner Production*, v. 112, pp. 473–482, Jan. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.042>.
- [35] SOTOTUKA, I., BERTOLDI, C., “Development of composite of defibered textile fiber from uniforms and castor polyurethane resin”, In: *VII Encontro de Sustentabilidade em Projeto*, pp. 419–429, Florianópolis, 2019.
- [36] WANG, Z., AN, C., CHEN, X., *et al.*, “Disposable masks release microplastics to the aqueous environment with exacerbation by natural weathering”, *Journal of Hazardous Materials*, v. 417, pp. 126036, Set. 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126036>. PubMed PMID: 34015713.