

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO**

**Sandilla Santana de Oliveira**

**INFLUÊNCIA DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE GRAFENO EM  
COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM FIBRAS POLIMÉRICAS DE MÁSCARAS  
FACIAIS**

Juiz de Fora

2024

**Sandilla Santana de Oliveira**

**INFLUÊNCIA DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE GRAFENO EM  
COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM FIBRAS POLIMÉRICAS DE MÁSCARAS  
FACIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído.

Orientador: Doutora Maria Teresa Gomes Barbosa

Coorientador: Doutora Dayana Cristina Silva Garcia

Juiz de Fora

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Santana de Oliveira, Sandilla.

Influência de nanopartículas de óxido de grafeno em compósitos cimentícios com fibras poliméricas de máscaras faciais / Sandilla Santana de Oliveira. -- 2024.

71 p. : il.

Orientadora: Maria Teresa Gomes Barbosa

Coorientadora: Dayana Cristina Silva Garcia

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2024.

1. Reaproveitamento de rejeitos. 2. Inovação. 3. Sustentabilidade. 4. Máscara N-95. 5. Óxido de grafeno. I. Gomes Barbosa, Maria Teresa, orient. II. Silva Garcia, Dayana Cristina, coorient. III. Título

**Sandilla Santana de Oliveira**

**INFLUÊNCIA DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE GRAFENO EM  
COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM FIBRAS POLIMÉRICAS DE MÁSCARAS  
FACIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído.

Aprovada em 01 de março de 2024.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **MARIA TERESA GOMES BARBOSA**  
Data: 11/03/2024 14:00:50-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Maria Teresa Gomes Barbosa, D. Sc. - Orientador**  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Documento assinado digitalmente  
 **DAYANA CRISTINA SILVA GARCIA**  
Data: 12/03/2024 08:56:31-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Dayana Cristina Silva Garcia, D. Sc. – Coorientadora**  
Universidade Federal de Minas Gerais

Documento assinado digitalmente  
 **ZELIA MARIA DA COSTA LUDWIG**  
Data: 13/03/2024 08:08:16-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Zélia Maria da Costa Ludwig**  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Documento assinado digitalmente  
 **FERNANDO DO COUTO ROSA ALMEIDA**  
Data: 12/03/2024 10:41:36-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Fernando do Couto Rosa Almeida**  
Universidade Federal de Minas Gerais

## RESUMO

O volume produzido e o descarte incorreto de máscaras N-95 geram resíduos não biodegradáveis e se tornam um problema de proporção global. Logo necessita de soluções ecologicamente corretas, possibilitando, assim, o seu estudo como fibras sintéticas na produção de materiais para a construção civil. Nesse sentido, em análise anterior sobre a adição de fibras de máscaras N-95 em um traço predefinido de argamassa produzida com adição de pó de mármore e sílica ativa, observou-se diminuição de 30% na resistência à compressão e 17% na resistência à tração, além de aumento da taxa de absorção em cerca de 50%, o que prejudica a durabilidade e limita a aplicação do produto obtido. Sendo assim, essa pesquisa teve o objetivo de investigar as propriedades do traço predefinido ao se adicionar nanopartículas óxido de grafeno (NOG) à mistura. Para o programa experimental, foram confeccionadas 4 novas amostras, contendo 0%; 0,7%; 1,4% e 2,0% de fibras de máscaras N-95 e 0,02% de NOG (ambos em relação à quantidade de aglomerante), que foram avaliados em suas propriedades físicas, mecânicas e químicas. Os resultados encontrados permitem indicar uma possibilidade para o reaproveitamento das máscaras N-95 como fibras sintéticas para reforço em argamassas. Tendo por base a amostra de referência e considerando a resistência à compressão, nas amostras contendo fibras secas e NOG, a redução de resistência chegou a 26% e, nas amostras com adição de fibras umedecidas e NOG, a diminuição foi de 28%. Quanto à resistência à tração, houve aumento de 4,5% nas amostras com adição de fibras secas e NOG e aumento de 1,1% nas amostras contendo fibras umedecidas e NOG. As taxas de absorção também foram influenciadas pela adição do óxido de grafeno, com reduções de até 58% nas amostras contendo NOG e fibras secas e de até 73% nas amostras contendo NOG e fibras umedecidas, em relação aos resultados obtidos anteriormente. Assim, pode-se concluir que o óxido de grafeno beneficia argamassas com adição de fibras poliméricas, melhorando suas propriedades físicas e mecânicas e viabilizando o reaproveitamento de materiais. Destaca-se, ainda, com base nas análises realizadas até o momento, que adições de até 0,7% de fibras poliméricas reaproveitadas e 0,02% de NOG são ideais para, considerando resistência e permeabilidade, promover o reaproveitamento das máscaras N-95 para a produção de fibras poliméricas. Este estudo também abre possibilidades para que novas

análises sejam desenvolvidas, aprimorando os resultados encontrados até este momento. Por fim, evidencia-se que esta pesquisa colabora com a pauta nacional brasileira no contexto do progresso sustentável, pois analisa a adição de fibras poliméricas oriundas de rejeitos em misturas cimentícias, produzidas com diferentes rejeitos, para obter ganhos nas propriedades mecânicas e na durabilidade do compósito, favorecendo os indicadores ambientais, sociais, econômicos e a inovação tecnológica para o setor.

Palavras-chave: Reaproveitamento de rejeitos, Inovação, Sustentabilidade, Máscara N-95, Óxido de grafeno.

## ABSTRACT

The volume produced and incorrect disposal of N-95 masks generates non-biodegradable waste and becomes a problem of global proportions. Therefore, it requires ecologically correct solutions, thus enabling its study as synthetic fibers in the production of materials for civil construction. In this sense, in a previous analysis on the addition of N-95 mask fibers in a predefined mix of mortar produced with the addition of marble powder and silica fume, a 50% decrease in compressive strength and a 30% decrease in compressive strength were observed. traction, in addition to increasing the absorption rate by around 50%, which impairs durability and limits the application of the product obtained. Therefore, this research aimed to investigate the properties of the predefined trace when adding graphene oxide nanoparticles (NOG) to the mixture. For the experimental program, 4 new samples were made, containing 0%; 0.7%; 1.4% and 2.0% N-95 mask fibers and 0.02% NOG (both in relation to the amount of binder), which were evaluated for their physical, mechanical and chemical properties. The results found indicate a possibility for reusing N-95 masks as synthetic fibers for reinforcement in mortars. Based on the reference sample and considering compressive strength, in samples containing dry fibers and NOG, the loss of resistance reached 33% and, in samples with the addition of moistened fibers and NOG, the reduction was 36.8%. As for tensile strength, there was an increase of 4.5% in samples with the addition of dry fibers and NOG and an increase of 1.1% in samples containing moistened fibers and NOG. Absorption rates were also influenced by the addition of graphene oxide, with reductions of up to 58% in samples containing NOG and dry fibers and up to 73% in samples containing NOG and moist fibers. Thus, it can be concluded that graphene oxide benefits mortars with the addition of polymeric fibers, improving their physical and mechanical properties and enabling the reuse of materials. It is also noteworthy, based on the analyzes carried out to date, that additions of up to 0.7% of reused polymeric fibers and 0.02% of NOG are ideal for, considering resistance and permeability, promoting the reuse of N-masks. 95 to produce polymer fibers. This study also opens possibilities for new analyzes to be developed, improving the results found so far. Finally, this research contributes to the Brazilian national agenda in the context of sustainable progress, as it analyzes the addition of polymer fibers from waste into cement mixtures, produced with different

waste, to obtain gains in the mechanical properties and durability of the composite, favoring environmental, social, economic indicators and technological innovation.

Keywords: Waste reuse, Innovation, Sustainability, N-95 face mask, Graphene oxide.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
EPI	Equipamento de Proteção Individual
NBR	Norma Brasileira
7 R's	7 R's da sustentabilidade: Repensar, Recusar, Reduzir, Reaproveitar, Reutilizar, Reciclar e Recuperar
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
EMMA	<i>Elkem Materiais Mixture Analyzer</i>
PP	Polipropileno
PE	Polietileno
PA	Poliamida
TNT	Tecido Não Tecido
IDEC	Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de Cálcio
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de Alumínio
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de Silício
CaO	Óxido de Cálcio
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de Ferro III

MgO	Óxido de Magnésio
SO <sub>2</sub>	Óxido de Enxofre
K <sub>2</sub> O	Óxido de Potássio
Na <sub>2</sub> O	Óxido de Sódio
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de Cálcio
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
NOG	Nanopartículas de Óxido de Grafeno
RCC	Resíduos de Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
C-S-H	Silicato de Cálcio Hidratado

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\text{kg/dm}^3$	Quilograma por decímetro cúbico
$\gamma_u$	Yoctometro
nm	Nanometro
$\mu\text{m}$	Micrometro
$\text{m}^2/\text{kg}$	Metro quadrado por quilo
$\text{kg/l}$	Quilograma por litro
$\text{g/m}^2$	Grama por metro quadrado
$\text{g/cm}^2$	Grama por centímetro quadrado
$f_c$	<i>Feature Compression</i> (resistência à compressão)
$f_{ct}$	Resistência à tração direta
A	Absorção por imersão
$A_t$	Absorção por capilaridade

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	Objetivos.....	15
1.1.1	Objetivo geral.....	15
1.1.2	Objetivos específicos.....	15
1.2	Justificativa.....	15
1.3	Limitações do estudo.....	17
1.4	Estrutura do trabalho.....	17
<b>2</b>	<b>REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....</b>	<b>19</b>
2.1	Contextualização.....	19
2.2	Reaproveitamento e reciclagem de resíduos pela construção civil.....	21
2.2.1	Rejeito de mármore .....	23
2.2.2	Sílica ativa.....	25
2.2.3	Fibras de máscaras N-95.....	28
2.2.4	Nanopartículas de óxido de grafeno.....	32
<b>3</b>	<b>PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>34</b>
3.1	Materiais.....	34
3.2	Preparo dos materiais.....	35
3.3	Métodos.....	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>39</b>
4.1	Índice de consistência.....	39
4.2	Propriedades mecânicas.....	40
4.3	Estanqueidade.....	46
4.4	Análise química.....	50
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>
--------------------------	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil representa um dos principais utilizadores de recursos naturais e energéticos, chegando-se a estimativas de que, sozinho, seja responsável, direta e indiretamente, por um volume de 30 a 50% do consumo total de destes recursos (MARINHO, 2019). Entretanto, também deve-se considerar a capacidade da construção civil em absorver resíduos, através do reaproveitamento e da incorporação de rejeitos de diferentes setores em suas diversas atividades. Tal fato, não apenas se relaciona às questões ambientais, como também pode aprimorar algumas características do novo produto, como um custo-benefício atrativo economicamente (CINTRA; PAIVA; BALDO, 2014).

No Brasil, com a promulgação da Resolução nº 307, de 05/07/2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), ficou estabelecido que todos os órgãos municipais seriam responsáveis pelo desenvolvimento e implementação de Planos Integrados de Gerenciamento dos Resíduos. Desta maneira, ergue-se a necessidade de adequação da construção civil, atendendo a normativa vigente e garantindo a sustentabilidade. Sendo assim, diversas pesquisas se desenvolvem, no sentido de analisar as possibilidades de reaproveitamento de resíduos pela indústria da construção civil.

Como exemplo de rejeitos com potencial de incorporação e reaproveitamento na construção civil, pode-se citar o pó de mármore, rejeito produzido no processo de manufatura do mármore ornamental e a sílica ativa, resíduo da fabricação do silício metálico, que é decomposto em dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ). Ambos podem ser usados como adição em concretos e argamassas visando a diminuição dos vazios internos, promovendo ganhos de resistência mecânica (OLIVEIRA *et al.*, 2023).

Pesquisas comprovam que rejeito de mármore tende a aumentar o ciclo de vida útil e a durabilidade do produto uma vez que, quando adicionado em misturas de argamassas, em forma de pó, resulta numa mistura mais compacta, com redução dos poros internos. No ano de 2002, cerca de 240.000 toneladas deste rejeito foram produzidas no Brasil e, atualmente, estima-se que mais de 1Mt deste resíduo seja produzida anualmente no país, uma vez que não existem dados precisos que abranjam todos os produtores nacionais (MOURA *et al.*, 2002; LOPES *et al.*, 2006; KUMAYAMA *et al.*, 2015).

Por sua vez, a sílica ativa quando adicionada em argamassas proporciona misturas mais uniformes, evitando o deslocamento dos agregados, melhorando a coesão dos materiais e a exsudação do produto. Assim, obtém-se produtos com maior resistência mecânica e, além disso, a alta reatividade da sílica melhora a resistência da zona de transição pasta de cimento-agregado, proporcionando um produto mais denso e durável (SOTO *et al.*, 2022).

Considerando o exposto, destaca-se, recentemente, o estudo realizado por Oliveira *et al.* (2023) onde em argamassas cimentícias, além da adição do rejeito de mármore e sílica ativa, houve a inclusão de fibras poliméricas. As fibras obtidas por meio do trituração de máscaras faciais do tipo N-95, onde buscou-se minimizar o elevado volume de descarte desse material em decorrência da pandemia COVID-19 (desencadeada pela disseminação do SARS-CoV-2) e que contribuiu para minimizar a degradação do meio ambiente (NZEDIEGWU e CHANG, 2020; ILYAS, SRIVASTAVA e KIM, 2020).

Cabe mencionar que o reaproveitamento de rejeitos têxteis pela construção civil (MOURA, REIS e MAY, 2018; STOTUKA e BERTOLDI, 2019) e, sua incorporação em argamassas se mostra, também, uma alternativa para a indústria têxtil, uma vez que este setor também causa danos ambientais em suas etapas produtivas, destacando-se o alto consumo de água, o uso de produtos químicos e energia, além do volume de resíduos gerados (CHAPMAN, 2010; WRAP, 2017).

Considerando o exposto, a incorporação de rejeitos na produção de argamassas vem se mostrando uma maneira eficaz de promover o desenvolvimento sustentável e aumentar a eficiência ecológica do material, contribuindo para a diminuição de rejeitos que poderiam ser descartados de maneira incorreta.

Neste cenário, este estudo se trata do prosseguimento ao trabalho desenvolvido por Oliveira *et al.*, (2023) onde se foi investigado a viabilidade do reaproveitamento de máscaras faciais do tipo N-95 como fonte de obtenção de fibras poliméricas para adição e reforço de argamassas. Salienta-se que nos estudos iniciais observou-se deficiências na interação fibra/matriz do compósito que comprometeram as propriedades mecânicas do e a durabilidade devido a elevada taxa de absorção de água. Sendo assim, este trabalho investiga uma alternativa para este cenário, em prol das melhorias nas características do material analisado, ao se adicionar nanopartículas de óxido de grafeno (NOG).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é investigar a influência da adição de nanopartículas de óxido de grafeno em argamassas de alto desempenho produzidas com pó de mármore, sílica ativa e fibras poliméricas resultantes do trituração de máscaras N-95.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Para alcançar o objetivo proposto, os objetivos específicos a seguir podem ser relacionados:

- i)** Avaliar o comportamento físico, mecânico e químico das amostras com adições de diferentes teores de fibras poliméricas;
- iii)** Analisar como a adição de nanopartículas de óxido de grafeno atua nas propriedades físicas, químicas e mecânicas das amostras;
- iv)** Analisar o comportamento da adição de diferentes teores de fibras secas e de fibras umedecidas.

## **1.2 Justificativa**

Embora com bastante resultados promissores, em laboratório, muitos materiais que poderiam ser reutilizados e valorizados economicamente, ainda não são reaproveitados, na prática. Os principais estudos sobre a reutilização de resíduos na construção civil ainda se detêm, em sua maioria, sobre o possível reaproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD) (PERINA e TRANNIN, 2019; MEZECH e FREITAS, 2021; PINTO e GONZÁLES, 2023).

Considerando o fato de a engenharia civil estar a serviço da sociedade, no sentido de garantir empreendimentos capazes de suportar as condições de uso a que são submetidos, atendendo as exigências preconizadas no projeto, esta dissertação investiga a possibilidade do aperfeiçoamento de materiais, tornando-os capazes de garantir suas propriedades físicas, mecânicas e químicas, ao mesmo tempo em que se garante a sustentabilidade e se diminui os impactos ambientais decorrentes do volume de rejeitos produzidos por diferentes setores produtivos.

Tanto os rejeitos resultantes do processo de fabricação do mármore quanto a sílica ativa, caso sejam descartados inadequadamente, oferecem riscos de

contaminação ambiental e, conseqüentemente, à saúde da população. Aliado a isso, ambos têm potencial de reuso na construção civil como adição em materiais cimentícios, favorecendo a conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável. Cabe ainda ressaltar que o estado de Minas Gerais é conhecido pela proeminente indústria metalúrgica e, conseqüentemente, produtor de muitos resíduos ligados a este setor, como a sílica ativa, favorecendo o desenvolvimento de estudos que viabilizem o reaproveitamento destes resíduos (ANDRADE *et al.*, 2019; ROSSONI, A.; ROSSONI, H.; e RODRIGUES, 2021).

Somado ao exposto, o grande volume de EPIs produzidos durante o período da pandemia da Covid-19, em especial de máscaras de proteção facial do tipo N-95, também acarretou um considerável volume de resíduos e, devido à situação ter ocorrido muito recentemente, são poucos os estudos acerca do seu reaproveitamento, bem como de outros produtos hospitalares similares (NZEDIEGWU e CHANG, 2020; RHEE, 2020; ZAND e HEIR, 2020).

Sabendo ser a construção civil um setor capaz de absorver e reaproveitar resíduos de outros setores produtivos, desenvolver pesquisas que investiguem as possibilidades e as potencialidades dos resíduos vai ao encontro das demandas da sociedade atual no que tange o desenvolvimento sustentável, a consciência ambiental e o desenvolvimento de materiais e alternativas ecoeficientes que diminuam os danos causados pelos processos produtivos. Aliado a isso, as argamassas produzidas com materiais reaproveitados apresentam um viés sustentável pois utilizam, na construção civil, resíduos que de outra maneira seriam dispensados no ambiente, sendo alocados em aterros sanitários inadequados (KATZ; KULISCH, 2017).

Ademais, investigar o reaproveitamento de rejeitos, como a sílica ativa e o pó de mármore também atende às demandas por desenvolvimento sustentável e conscientização ambiental, uma vez que o processo de beneficiamento de materiais para a construção civil utiliza, além de diferentes recursos naturais, energia elétrica para o funcionamento do maquinário e iluminação, conseqüentemente, consumindo um grande volume de recursos durante toda a cadeia produtiva. Além disso, a queima de combustíveis colabora para o aumento do lançamento de gases na atmosfera, especialmente o CO<sub>2</sub>. Estima-se que em torno de 1,34 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> poderiam deixar de ser lançadas na atmosfera se parte dos agregados miúdos nas argamassas fosse substituída por agregados reaproveitados (MALTA, SILVA e GONÇALVES, 2013; LONG *et al.*, 2018).

Nesse sentido, esse trabalho propõe uma investigação sobre a melhoria do desempenho de argamassas produzidas com pó de mármore, sílica ativa e fibras de máscaras faciais N-95, mediante a adição de NOG ao traço pré-definido.

### **1.3 Limitações do estudo**

Por questões de exequibilidade, a pesquisa foi restrita às argamassas compostas por cimento e areia, desconsiderando-se outros tipos. Além disso, foram usados apenas máscaras do tipo N-95 para a obtenção das fibras. As fibras poliméricas podem ser obtidas de outras fontes, entretanto, para isso, outros tipos de procedimentos se fazem necessários e fogem ao escopo desta investigação.

Também houve limitações quanto à obtenção das fibras das máscaras N-95 (processo de trituração) que conferiu características únicas ao material e que interferiram nas propriedades do produto obtido.

### **1.4 Estrutura do trabalho**

Todo o trabalho está organizado em cinco capítulos, onde o capítulo 1 corresponde à introdução, onde se apresenta o tema da pesquisa, os objetivos desenvolvidos, a justificativa e relevância do tema desenvolvido bem como suas restrições e, por último, a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 está a revisão de literatura sobre o tema onde, através da pesquisa em estudos de autores que investigaram previamente a temática, buscou-se apoio para a tomada de decisões durante a execução da pesquisa. Uma análise de conceitos e uma descrição dos materiais aqui utilizados, apoiadas na literatura recente, de maneira a ajudar na compreensão da dimensão da proposta de trabalho aqui desenvolvida. Em simultâneo, são citadas considerações presentes na literatura quanto às propriedades de argamassas desenvolvidas com reaproveitamento de resíduos, de maneira que facilite a compreensão do trabalho como um todo.

Por sua vez, no capítulo 3 tem-se a descrição do programa experimental da pesquisa, relacionando os materiais utilizados, contextualizando a pesquisa como um todo e os procedimentos adotados nos testes realizados. Além disso, descreve o método experimental, desde a fabricação dos corpos de prova até os testes de absorção.

No capítulo 4 encontram-se os resultados encontrados e as ponderações sobre estes, com base na literatura pesquisada e nos desdobramentos do programa experimental, fornecendo as possíveis explicações para eles.

Por último, o capítulo 5 apresenta as considerações finais sobre a pesquisa e as recomendações que se mostram convenientes sobre possíveis desdobramentos em pesquisas futuras.

## 2 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

### 2.1. Contextualização

O desenvolvimento sustentável engloba a satisfação das necessidades humanas atuais, conservando o meio ambiente de modo que as gerações futuras tenham suas necessidades supridas com qualidade. Devido ao árduo trabalho de diversos órgãos, sejam governamentais ou não, a sustentabilidade, na atualidade, pode ser alcançada em todas as etapas de um empreendimento, atravessando a concepção, o projeto, a construção e a manutenção e estendendo-se até a demolição, sempre considerando as dimensões social, ambiental e econômica (CORRÊA, 2009; ALMEIDA *et al.*, 2022).

Entretanto, o que se observa é que a construção civil é também um dos setores da sociedade que mais produz resíduos e consome recursos e energia, seja na manufatura de seus insumos ou na execução e utilização das obras construídas. Sendo assim, considerando que o setor acompanha as demandas da sociedade atual, pode-se afirmar que uma maior necessidade de empreendimentos construídos também acarreta um maior volume de resíduos produzidos (ROQUE e PIERRE, 2018).

De uma maneira geral, pode-se afirmar que o montante de resíduos produzidos mundialmente supera a quantidade ~~que é~~ reaproveitada ou reciclada. Este cenário não possui uma causa única, não sendo possível assim, determinar uma única solução para que se resolva a questão ambiental desencadeada. Pensando então na questão do reaproveitamento de rejeitos, a análise bibliográfica deste trabalho aponta diferentes possibilidades dentro da construção civil. Como exemplo o aperfeiçoamento de produtos derivados do cimento, produção concretos e argamassas de alto desempenho e utilização de agregados e adições reaproveitados, o que diminuiria o consumo de recursos e energias (ROQUE e PIERRE, 2018; ALMEIDA *et al.*, 2022).

As concepções de desenvolvimento sustentável vêm ganhando cada vez mais espaço na indústria da construção civil. Isso através de ações que priorizam minimizar impactos ambientais ao mesmo tempo em que potencializam a viabilidade econômica, além de garantir qualidade de vida para a geração atual e as futuras. Neste cenário, surgiu o conceito dos 7 R's (repensar, responsabilizar-se, recusar, reduzir, reintegrar, reciclar e reaproveitar) com o objetivo de trazer a conscientização da população ao

mesmo tempo em que trabalham a redução dos impactos causados pelo setor, promovendo um consumo mais consciente (IDEC, 2019).

Associado ao exposto acima, a Organização das Nações Unidas (ONU) destaca dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) prioritários a serem cumpridos até 2030, onde diversas iniciativas conduzem às temáticas relevantes relacionadas à sustentabilidade nas cidades. Destaque especial, ao item 12 que se refere a “consumo e produção responsáveis” onde se insere a importância do reaproveitamento de rejeitos. Salienta-se que ao atender, aparentemente, um único ODS, outros estarão associados, por exemplo, o reaproveitamento de rejeitos contribuirá para: saúde e bem-estar da população, trabalho eficiente e crescimento econômico, ação contra a mudança global do clima, vida na água, vida terrestre e parcerias e meios de implementação.

Neste cenário, pensar práticas de reutilização de resíduos e reaproveitamento de materiais que seriam descartados pode trazer benefícios para além dos ambientais, atingindo as esferas social, econômica e cultural, uma vez que também se trabalha aspectos de educação ambiental, inclusão social, capacitação de mão de obra e geração de trabalho, além de promover a redução de custos operacionais de produção e a diminuição da exploração de recursos naturais e energia (ROQUE *et al.*, 2020).

Dentro da construção civil, os resíduos são oriundos de diferentes fontes, desde a etapa de projeto até as etapas de manutenção e uso dos edifícios. Há também os resíduos provenientes das atividades paralelas à construção civil, como o beneficiamento do mármore e da produção de aço. Esse montante de resíduos, muitas vezes, é descartado sem o cuidado específico e desconsiderando seu potencial econômico, gerando problemas à sociedade.

A Resolução n.º 307/2002 do CONAMA (BRASIL, 2002), menciona os resíduos produzidos em meio urbano devido aos problemas gerados, uma vez que o poder público e os órgãos responsáveis arcam com os custos e logísticas de remoção e tratamento dos resíduos, no caso de falha dos responsáveis. Estima-se que cerca de 50% de todo o montante de resíduos produzidos nos centros urbanos brasileiros é descartado de maneiras inadequadas, levando a um custo mensal estimado de cerca de 2 milhões de reais, com gerenciamento e logística de resíduos (MEZECH e FREITAS, 2021). As estimativas não são exatas pois, além de se considerar apenas o meio urbano, muitas atividades produtivas são realizadas de maneira à margem da

fiscalização, dificultando que se chegue a números precisos, podendo aumentar a quantidade de resíduos produzidos (COSTA *et al.*, 2006).

Conforme Albuquerque e Santana (2018) mencionam, parte considerável dos resíduos produzidos pelas atividades da construção civil são depositados de maneira irregular em terrenos baldios, enterrados, depositados em várzeas, taludes e próximo a cursos d'água. Essa situação pode gerar contaminações graves nos solos e lençóis freáticos, levando ao adoecimento da população e impactando, diretamente, a flora e fauna local. Outra forma de descarte de resíduos é a através da queima do material. Esta é especialmente nociva, uma vez que lança gases tóxicos e material particulado na atmosfera, contribuindo para a elevação da temperatura nos centros urbanos. Por fim, quando o resíduo não é reaproveitado, exigem a retirada de mais matéria-prima do ambiente, aumentando a exploração dos recursos naturais (FERNANDES e FILHO, 2016; ALBUQUERQUE e SANTANA, 2018).

Consoante, Zeule (2017) aponta que a gestão de resíduos é importante para a sociedade, uma vez que lida com o manejo adequado de materiais que são utilizados durante as etapas de produção de um bem. O processo de fabricação de um bem gera vários tipos de resíduos que devem ser descartados corretamente e que podem ser incorporados à indústria, sob a forma de outros materiais ou para o aperfeiçoamento deles.

## **2.2 Reaproveitamento e reciclagem de resíduos pela construção civil**

A Resolução Conama nº 307/2002 classifica e determina os procedimentos para o reaproveitamento e a reciclagem de resíduos, conforme apresentado no Quadro 1 e define, ainda, que a reutilização é o processo de reuso de um resíduo, sem que este passe por algum processo de beneficiamento. Ao mesmo tempo, o processo de reaproveitamento de um resíduo que tenha passado por algum processo de transformação é denominado de reciclagem. Nesse sentido, o reaproveitamento de resíduos na construção pode ser realizado em todas as etapas dos empreendimentos, desde a gestão ambiental no projeto até a destinação final da obra (MEZECH e FREITAS, 2021).

Quadro 1: Classificação e diretrizes para reaproveitamento de resíduos sólidos conforme o tipo do resíduo.

<b>Caracterização e diretrizes para o reaproveitamento de resíduos – CONAMA</b>		
<b>Classe do resíduo</b>	<b>Características</b>	<b>Reaproveitamento/ reciclagem</b>
<b>Classe A</b>	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: <b>a)</b> de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; <b>b)</b> de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; <b>c)</b> de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de preservação de material para usos futuros.
<b>Classe B</b>	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
<b>Classe C</b>	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação	deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
<b>Classe D</b>	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte: Adaptada de Resolução Conama nº 307/2002.

Quanto a classificação dos resíduos, a NBR 10004 (ABNT, 2004) define duas classes para classificação: classe I) resíduos perigosos, ou seja, resíduos que apresentam algum grau de periculosidade, seja para a população ou para o meio ambiente; e classe II) resíduos não perigosos. Estes últimos se dividem em classe II A - não inertes, que são aqueles resíduos que reagem com elementos da natureza com propriedades de combustibilidade, solubilidade ou biodegradabilidade e classe II B - inertes, que são aqueles materiais que não reagem com elementos da natureza, não liberando reações ou produtos que possam prejudicar o meio ambiente.

Considerando a perspectiva do reaproveitamento e da reutilização de materiais e as possibilidades da reciclagem de resíduos pela construção civil, deve-se ter especial atenção para se garantir a sustentabilidade evitando gerar maiores gastos

com energia, transportes ou exploração de matérias primas (PINTO e GONZÁLEZ, 2005).

Diferentes resíduos possuem potencial de reaproveitamento e reciclagem na construção civil, com propriedades físicas e químicas interessantes para sua incorporação em materiais de construção e produtos, como argamassas e concretos, dentre estes, serão objetos do estudo realizado neste trabalho o pó de mármore, resíduo obtido da britagem dos pedaços restantes do beneficiamento do mármore comercial; sílica ativa obtida do processo de produção da indústria metalúrgica; fibras de máscaras N-95 obtidas por processo de trituração do material.

### 2.2.1 Rejeito de mármore

O pó de mármore é constituído, predominantemente, por alumina ( $Al_2O_3$ ), sílica ( $SiO_2$ ), óxido de cálcio ( $CaO$ ) e óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ) e possui partículas pequenas dimensões, a maioria menor do que 75  $\mu m$ . Existem, ainda, outros elementos químicos minoritários em sua composição, como o  $MgO$ ,  $SO_2$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $N_2O$ . No geral, a sua massa específica é menor que do cimento Portland e maior que da areia. Em geral, não há grandes variações entre a massa específica deste rejeito, salvo em situações em que há maior presença de ferro e derivados do ferro em sua composição, provenientes do processo de serragem dos blocos de matéria-prima (SOUZA e BRANCO, 2017).

Quanto à normativa brasileira, a NBR 10005 e a NBR 10007 (ABNT, 1987) possibilitam a classificação do pó de mármore como um resíduo de classe II, ou seja, é um resíduo não inerte. Observa-se que esse rejeito é danoso ao meio ambiente e pode oferecer perigos à saúde humana, tendo potencial de contaminação para solos e corpos d'água, especialmente se contaminado por outros resíduos orgânicos durante seu processo de manejo, o que poderá influenciar em seu reaproveitamento (RAHANGDALE e QURESHI, 2019; WANG *et al.*, 2022).

Ademais, o pó de mármore apresenta baixa reatividade pozolânica com hidróxido de cálcio e cimento, por causa da alta quantidade de compostos cristalinos. Quando o pó de mármore é adicionado em argamassas, o rejeito atua como um *filler*, reduzindo o índice de porosidade e adicionando densidade ao compósito cimentício, além de acelerar o processo de hidratação do cimento. O resíduo não interfere significativamente na absorção de água (SOUZA e BRANCO, 2017).

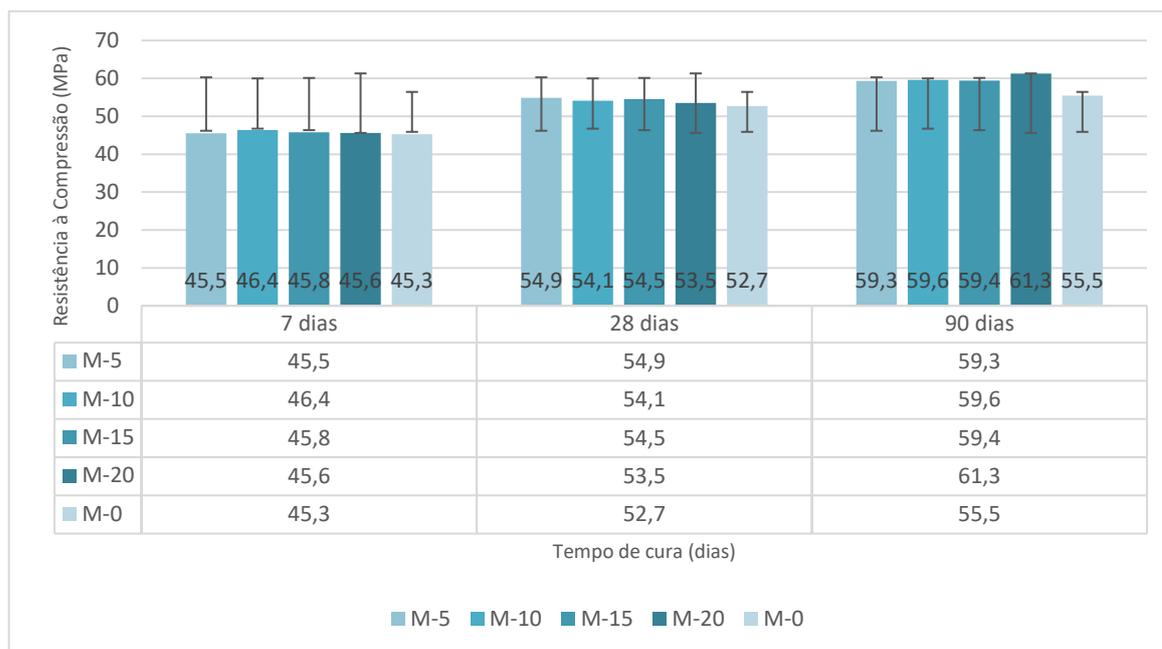
Quanto ao emprego do pó de mármore na construção civil, Singh *et al.* (2017) consideram que o pó de mármore pode ser incorporado em misturas de argamassas e concretos, funcionando como um preenchedor de poros e aumentando a vida útil do composto, devido ser um material rico em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Ilustrando a viabilidade do uso do pó de mármore em argamassas, El-Sayed, *et al.* (2016) testaram amostras deste material onde o volume de cimento foi substituído, em proporções de 0% (sem substituição), 3%, 4% e 5% por pó de mármore, respectivamente. Após o processo de endurecimento, observou-se que as amostras com 5% de pó de mármore mantiveram a resistência à compressão mecânica das amostras de referência, mesmo diminuindo a quantidade de cimento utilizada.

Ainda neste sentido, Yamanel *et al.* (2019) testaram amostras de argamassa com substituição de 0, 5, 10, 15 e 20% do cimento (amostras M-0, M-5, M-10, M-15 e M-20, respectivamente) por pó de mármore. Os autores concluíram que após 90 dias de cura, as amostras contendo pó de mármore tiveram um ganho maior em resistência a compressão do que as amostras onde não foi adicionado o rejeito, conforme pode ser observado no Gráfico 1.

Em suma, quando se analisa argamassas onde houve a substituição de parcelas do volume de cimento por pó de mármore, observa-se modificações das características das argamassas, fazendo com que seja necessário analisar a a proporção ideal do rejeito, com os demais materiais para que seja viável seu reaproveitamento. Outro fator importante a ser considerado é o fator água/cimento pois, quando a relação aumenta, a resistência mecânica das argamassas contendo pó de mármore diminui, já em quantidades inferiores a 0,5, a tendência é que a resistência aumente. Por fim, menciona-se que quando as amostras não são submetidas a um processo de cura adequado, a resistência final também é afetada (TOUBAL SEGHIR *et al.*, 2019; MORENO *et al.*, 2022).

Gráfico 1: Resistência à compressão (MPa).



Fonte: Adaptado pela autora de Yamanel *et al.* (2019).

### 2.2.2 Sílica ativa

Constituída majoritariamente de pequenas partículas esféricas ( $< 1 \mu\text{m}$ ) de sílica em estado amorfo, conforme a NBR 13956 (ANBT, 2012), a sílica ativa é um resíduo do processo de fabricação de ligas de ferrosilício ou do silício metálico, classificada como um material pozolânico de alta reatividade. Dados analisados no ano de 2019 trazem uma estimativa de que em torno de 1,5Mt de sílica ativa sejam produzidas, anualmente, no mundo. Devido suas propriedades, pode ser aplicada em argamassas e concretos de uso especial, ou seja, quando se deseja obter materiais mais duráveis e com desempenho majorado (SOTO *et al.*, 2022).

Ainda conforme consta na NBR 13956 (ABNT, 2012), a sílica ativa possui elevada área superficial, o que provoca reações favoráveis nas interações com produtos cimentícios, melhorando o aspecto reológico das misturas onde é adicionada. Este aspecto melhora a coesão dos materiais reduzindo o teor de exsudação e segregação entre os componentes e contribui para a retenção adequada da água. Além disso, a sílica ativa reage com o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , resultante do processo de hidratação do cimento Portland, e forma o silicato de cálcio hidratado que contribui para melhoria da durabilidade e das propriedades mecânicas do compósito resultante (LOTHENBACH, SCRIVENER e HOOTON, 2011; SCRIVENER *et al.*, 2015; YANG *et al.*, 2021).

Um outro ponto que cabe ressaltar é que, devido às características de elevado grau de amorfismo e partículas de tamanho bastante reduzidos, muitas das técnicas de caracterização possíveis de serem aplicadas aos outros materiais cimentícios suplementares não são aplicáveis à sílica ativa. Além do mais, as normativas brasileiras disponíveis e relacionadas a este material não estão atualizadas, o que torna necessário que se investigue processos de caracterização físico-química mais detalhados, que investiguem as possibilidades de aplicação do material como material cimentício suplementar para cada caso específico (SOTO *et al.*, 2022).

Em resumo, a sílica ativa é um material pozolânico e suas características amorfas, área específica, composição química e tamanho das partículas influenciam sua capacidade de preenchimento de vazios e de interação com produtos cimentícios. Assim, a NBR 12653 (ABNT, 2015) define materiais pozolânicos como “materiais silicosos ou silicoaluminosos que [...] na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes” e apresenta os parâmetros de uso para esses materiais, sejam eles naturais ou artificiais e a NBR 13956-1 (ABNT, 2012) indica as condições para o uso da sílica ativa em materiais cimentícios.

Conforme o Quadro 2, pode-se observar que existem diferenças entre a classificação de materiais pozolânicos e a sílica ativa. Este fato, aliado à desatualização das normas, dificulta a classificação deste último. É possível observar que as normas apresentam ensaios e parâmetros distintos, por exemplo, a classificação da atividade pozolânica de um material está diretamente relacionada à capacidade de resistência mecânica entre o cimento e a pozolana, porém, fatores como o tamanho da partícula e a finura do material irão influenciar diretamente no resultado obtido, ou seja, dificultando a classificação de um material como silicoso ou pozolana. Embora a sílica ativa seja classificada como um tipo de material pozolânico, muitos dos requisitos de classificação dos materiais pozolânicos não podem ser aplicados a este material (ABNT NBR 5751, 2015; ABNT NBR 5752, 2014; ABNT NBR 13956-1, 2012; ABNT NBR 12653, 2015; SOTO *et al.* 2022).

Uma possibilidade para o estudo dos materiais cimentícios complementares quando há divergências nas normativas, como no caso da sílica ativa, é a análise de suas combinações químicas, através de uma versão adaptada do Método Chapelle, descrito na NBR 15895 (ABNT 2010), que analisa a capacidade do material pozolânico de produzir o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

Quadro 2: Comparação das características normativas NBR 12653 e NBR 13956-1.

Características normativas		NBR 12653 Materiais pozolânicos	NBR 13956-1 Sílica ativa
Químicas	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\geq 70\%$	
	$\text{SiO}_2$		$\geq 85\%$
	$\text{SO}_3$	$\leq 4\%$	
	Teor de umidade	$\leq 3\%$	$\leq 3\%$
	Perda ao fogo	$\leq 10\%$	$\leq 6\%$
	Álcalis disponíveis ( $\text{Na}_2\text{O}$ )	$\leq 1,5\%$	
Físicas	Material retido em $45\mu\text{m}$	$\leq 20\%$	$\leq 10\%$
	Índice de desempenho (cimento 7 dias)		$\geq 105\%$
	Índice de desempenho (cimento 28 dias)	$\geq 90\%$	
	Índice de atividade pozolânica (cal 7 dias)	$\geq 6 \text{ MPa}$	
	Área específica B.E.T. (opcional)		$15 \geq \text{B.E.T.} \geq 30 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$

Fonte: Soto *et al.* (2022).

Por ser um material fino, a sílica ativa tende à aglomeração, pois as forças de ligação (Van der Waals, ligações químicas e forças eletrostáticas) têm módulos maiores que aquelas capazes de separar os aglomerantes (gravidade de cisalhamento). Neste caso, para a dispersão das partículas, pode-se utilizar algum agente dispersante combinado ao tratamento de ultrassom (agitação mecânica). Para a análise da distribuição das partículas, testes de granulometria por difração a laser e espalhamento dinâmico de luz têm sido bastante empregadas pois, para materiais particulados finos como a sílica ativa, ensaios de microscopia são menos indicados por conta de sua área amostral reduzida, o que causa grande variabilidade nos resultados (PIETSCH, 1997; DIAMOND e SAHU, 2006).

A sílica ativa possui variados usos no setor da construção civil e é comum seu emprego como adição em compósitos cimentícios podendo, também, substituir parte do volume do cimento utilizado. Estudos indicam que substituições nos teores de 5, 10, 15 e 20% de sílica ativa em proporção ao volume do cimento, podem aumentar em até 36% a resistência à compressão, em amostras com fator  $a/c$  de 0,40, e em até 11% em amostras com fator  $a/c$  de 0,60. A sílica melhora, ainda, a resistência a íons

de cloreto e à corrosão do aço, quando em contato com o produto cimentício final (SANJUÁN, ARGIZ e GÁLVEZ, 2015; SAHOO, SARKAR e DAVIS, 2019; BELINI, 2019; KHAN e ALI, 2019; KHAN, REHMAN e ALI, 2020; LUO, ZHOU e WANG, 2020).

A reatividade da sílica é caracterizada de duas maneiras: através da análise da quantidade de cal fixada através da adição pozolânica e por meio da análise da reatividade do próprio material, de acordo com o tamanho das partículas, área específica e tempo de cura, dentre outros. Observa-se, também, que tanto a reatividade quanto a capacidade de aprimorar as características físicas e mecânicas dos produtos cimentícios podem ser influenciadas pela tendência à aglomeração da sílica ativa (CARNEIRO, GARCIA e COSTA, 2018; RAMANATHAN, MOON E CROLY, 2019; RÊGO, ROJAS E TERRADES, 2019).

Ademais, a sílica ativa também aumenta a resistência da zona de transição cimento-agregado, reduzindo o índice de porosidade e melhorando a qualidade da hidratação nesta região (ROSSIGNOLO, 2007; JUENGER e SIDDIQUE, 2015; NEŽERKA, BÍLÝ e HRBEK, 2019). Nesse sentido, quanto menores forem suas partículas, maior será o ganho de resistência das argamassas e concretos. Em pastas cimentícias onde foi adicionada sílica ativa com partículas com tamanhos de até 10 µm, os ganhos de resistência foram maiores do que em pastas onde foram adicionadas partículas com diâmetro de 250 µm. Isso implica afirmar que quanto a dimensão do material, maior será a tendência de aglomeração entre as partículas e as propriedades como trabalhabilidade, índice de porosidade e a resistência poderão ser afetadas diretamente (SANJUÁN, ARGIZ e GÁLVEZ, 2015; WANG, HUANG e DAI, 2019; AMARAL, MACIOSKI e MEDEIROS, 2021).

### **2.2.3 Fibras de máscaras N-95**

De grande relevância econômica mundial, a indústria têxtil tem significativo impacto social, uma vez que é responsável pela geração de empregos e influencia a vida, direta e indiretamente, de parte da população. Entretanto, como em todo setor produtivo, os resíduos gerados pelo setor têxtil são proporcionais à demanda de volume de fabricação e são denominados “limpos” quando provenientes do processo de manufatura e “domésticos” após seu consumo, ambos se enquadram-se na Classe II, segundo a normalização brasileira (ABNT NBR 10004, 2004); DISSANAYAKE *et al.*, 2018).

O reforço de materiais e componentes da construção com fibras têxteis tem se mostrado particularmente interessante, quando se analisa seções de espessura reduzida ou componentes sujeitos a solicitações ou deformações pontuais, como é o caso dos elementos de pavimentação. Também há estudos que analisam a incorporação de fibras têxteis como substituição de 15% do volume de areia, onde observa-se uma pequena perda de resistência à compressão dos produtos (REIS *et al.*, 2019).

Por fim, em concretos poliméricos e com adição de 10% do volume do material de fibras de tecidos, também houve diminuição da resistência mecânica. Uma possível causa para esta situação é a possibilidade de absorvência de água das fibras têxteis e, ao passar pelo processo de cura, ocorre a perda da aderência da matriz cimentícia/fibra favorecendo a perda de resistência (BENTUR e MINDNESS, 2007; REIS, 2009; PEREIRA *et al.*, 2012; HAQUE e SHARIF, 2014; ANDRADE, MACHADO e CARVALHO, 2015; ISQUIERDO, 2015).

Em seu estudo, Pinto *et al.* (2013) analisaram a adição fibras têxteis de composição mista (30% de lã e 70% de acrílico) em argamassas, adicionados em proporções de 1, 2, 3 e 4%, em relação à quantidade de cimento e com um fator *a/c* de 0,70. Os pesquisadores constataram a viabilidade do uso das fibras mistas bem como, entretanto, destacam que maiores quantidades de fibras resultam em perda de trabalhabilidade, dificultando o seu manuseio. Esse estudo reforça a necessidade de se ajustar o teor de fibras, conforme o objetivo pretendido.

Associado ao exposto, menciona-se o elevado consumo, e conseqüente descarte, de máscaras faciais do tipo N-95 durante o período de pandemia mundial causado pelo coronavírus SARS- CoV-2, no período de 2020-2022, resultando num novo desafio ambiental: a quantidade significativa de resíduos plásticos descartados de maneira inadequada no meio ambiente. Cabe mencionar que essas máscaras faciais são fabricadas de material não tecido de polipropileno (predominante polipropileno *spunbond* e polipropileno fundido), além de outros materiais, como fibras de poliamida, polietileno, poliuretano, poliacrilonitrila, poliéster e algodão (ARAGAW, 2020; SANGKHAM, 2020; AMMENDOLIA *et al.*, 2021; LUO *et al.*, 2021).

As máscaras faciais descartadas após o uso podem contaminar corpos d'água, solos, adicionar nano e microplásticos ao ambiente marinho. Apesar dessa pandemia ter sido declarada como superada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), ainda é comum de se encontrar restos de máscaras descartados nas ruas e praias, devido

ao desconhecimento de seu potencial de reaproveitamento e da má gestão de resíduos sólidos, problemas que afetam o meio ambiente em escala global (UNICEF, 2020; IDRESS *et al.*, 2022), além das usualmente utilizadas pela equipe multiprofissional atuante no setor da saúde (médicos, enfermeiros, fisioterapeutas etc.)

Estima-se que uma única máscara descartada incorretamente libere em torno de 1,5 milhão de partículas de microplásticos devido ao intemperismo. Além disso, o acúmulo de nutrientes e matéria orgânica em materiais plásticos pode levar a contaminações, especialmente em ambientes aquáticos, formando um ambiente favorável ao desenvolvimento de agentes patogênicos e contaminantes, como bactérias e fungos (FRÈRE *et al.*, 2018; TOUSSAINT *et al.*, 2019; DE-LA-TORRE *et al.*, 2021; RAKIB *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2021).

Uma das possibilidades mais promissoras têm sido o emprego das fibras das máscaras como adição em concretos e argamassas para reforço. As máscaras passam por processos de descontaminação, desfibramento e o material resultante é adicionado em proporção adequada, levando em conta o volume de cimento do traço. Além disso, o reaproveitamento de fibras de máscaras pode diminuir a exploração de matérias-primas, pois substituem as fibras naturais retiradas do meio ambiente (IDREES, 2020; IDREES *et al.*, 2020; AKBAR *et al.*, 2021).

Quando se trata do reaproveitamento de materiais poliméricos, um dos grandes desafios é desenvolver alternativas para materiais que são compostos por mais de um tipo de polímero. No caso das máscaras do tipo N-95, o material é composto de polipropileno (PP) e polietileno (PE) e diversos estudos têm sido empreendidos, no sentido de desenvolver alternativas que possibilitem seu reaproveitamento com ou sem separação prévia dos materiais. Na construção civil, fibras de polipropileno e polietileno são usadas como reforço para concretos e argamassas melhorando as propriedades mecânicas como resistência à tração, resistência à flexão, tenacidade e resistência a impactos (OLIVEIRA, 2001; OLIVEIRA, ALVES e DIAS, 2005; LUCENA 2017; CRESPO *et al.*, 2021).

Diante do exposto destacam os estudos a seguir que tratam do reaproveitamento de máscaras faciais, a saber:

Idrees *et al.* (2022) realizou testes em amostras de concreto com adição de 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0% de fibras de máscaras. Constatou-se que adições em torno de 1% de fibras de máscaras faciais são ideais quando se objetiva ganhos de resistência à

tração e à compressão. Conforme os autores, o teor de 0,5% de fibras de máscaras faciais seriam o teor ótimo, considerando assegurar boa permeabilidade e durabilidade dos produtos obtidos.

Oliveira *et al.* (2023) efetuaram trituração das máscaras em fibras e sua adição, em quantidades de 1,4% e 2,0% em relação ao volume de cimento, em misturas compostas por cimento Portland tipo V, conforme NBR 5733 (ABNT, 1991), sílica ativa, areia normal NBR 7214 (ABNT, 2015), pó de mármore, água e aditivo hiperplastificante na proporção 1: 0,25 :1: 0,55: 0,375: 0,02. Os resultados foram comparados às amostras de referência e classificados quanto às suas propriedades mecânicas e físicas, constatou-se que as fibras influenciam nas propriedades analisadas, resultando em aumentos na absorção de água e redução das resistências à tração e à compressão, devido às deficiências na interação matriz/fibra, o que pode limitar o uso da mistura.

A nível de informação, no caso do uso de máscaras N-95 para a obtenção das fibras literatura recente (MORIYAMA, HUGENTOBLE, e IWASAKI, 2020; SUMAN *et al.*, 2020; KARANI *et al.*, 2021) indica duas possíveis maneiras para se fazer a descontaminação, a saber:

- i) disposição das máscaras no ambiente, sem coberturas, durante um período de pelo menos 72 horas para que haja a diminuição de possíveis chances de contaminação. Esse período é indicado, especialmente, devido ao período de sobrevivência do SARS-CoV-2 em superfícies plásticas;
- ii) descontaminação em estufa de calor seco, capazes de inativar microrganismos restantes no material das máscaras.

Reitera-se que neste trabalho foram usadas apenas máscaras N-95 para a obtenção das fibras. Para outras fontes, pode ser necessário o emprego de outros meios de descontaminação, a depender do material e de sua utilização prévia.

Sendo assim, constata-se que a literatura, ainda recente, aponta caminhos para o reaproveitamento de fibras de máscaras N-95 já que ao reutilizar os resíduos das máscaras faciais, a economia circular e a sustentabilidade são alcançadas, juntamente com o gerenciamento eficiente de resíduos (CRESPO *et al.*, 2021; MOHAN, JAYANARAYANAN e MINI, 2021; IDREES *et al.*, 2022).

#### 2.2.4 Nanopartículas de óxido de grafeno

A literatura recente indica que adições de NOG (produzido através de processos de oxidação químicos ou térmicos, que reduzem a presença de moléculas indesejadas) ou óxido de grafeno reduzido (obtido a partir do óxido de grafeno submetido a processos de esfoliação, deposição química ou outros métodos químicos) são capazes de interagir favoravelmente com a matriz cimentícia, interagindo com os produtos da hidratação do cimento, formando pontos de nucleação que favorecem a precipitação de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), de modo a melhorar as propriedades mecânicas, microestruturais, e o processo de hidratação do material, conferindo maior resistência e durabilidade aos produtos cimentícios quando em estado endurecido (BARBOSA, 2015; CAIRES, 2019; LU e OUYANG, 2017; LONG *et al.*, 2018; CAIRES, 2019, CORSO *et al.*, 2019; KUDŽMA *et al.*, 2019).

Como exemplo de estudos relacionando a respeito do tema destaca-se as pesquisas: Lv *et al.* (2013) que pesquisaram adições de óxido de grafeno em teores de 0,01%, 0,02%, 0,03%, 0,04% e 0,05% em relação ao volume do traço. Após 28 dias de cura, houve aumentos na resistência à compressão, flexão e tração igual a 38,9%, 60,7% e 78,6%, respectivamente. Os autores concluíram que adições de NOG são capazes de promover modificações na microestrutura da matriz cimentícia, aumentando a formação de cristais de hidratação que levam a um maior entrelaçamento das moléculas.

Em consoante, Shang *et al.* (2015) estudaram amostras com adição de 0,02% até 0,08% de óxido de grafeno em amostras de argamassa cimentícias onde, também, houve inclusão de diferentes quantidades de sílica ativa, e observaram melhorias na resistência mecânica dos produtos obtidos, entretanto, também se observou uma redução na tensão de escoamento de até 39,6% e na viscosidade plástica de até 18,2%, devido ao aumento da viscosidade e diminuição de fluidez, causados pela adição de NOG em combinação com a sílica ativa.

Ainda com relação às adições de óxido de grafeno e o reaproveitamento de resíduos em produtos cimentícios, Fang *et al.* (2017) analisaram argamassa confeccionadas com areia reciclada, obtida através resíduos de construção civil (RCC), e com adições de 0,05%, 0,1% e 0,2%. Os autores concluíram que quanto menor as adições de NOG, menor a perda de trabalhabilidade e maior o ganho de resistência à tração, comparando com as amostras onde não houve adição de óxido de grafeno: em torno de 41,3% aos 28 dias de cura, o que contribui para a fragilidade

dos agregados reciclados. Também foi percebido, que o material resultante estava mais denso, ou seja, o índice de porosidade do produto foi reduzido.

Outros exemplos de resultados de pesquisas relacionando o óxido de grafeno reduzido e a confecção de materiais cimentícios:

i) Lv *et al.* (2013) empregaram adições de NOG em teores de 0,01%, 0,02%, 0,03%, 0,04% e 0,05%, em relação ao volume do traço e observaram, após 28 dias de cura, ganhos na resistência à compressão, à flexão e à tração igual a 38,9%, 60,7% e 78,6%, respectivamente, para o teor ideal igual a 0,03% já que maiores quantidades ocorre uma redução nas propriedades mecânicas.

ii) Shang *et al.* (2015) estudaram amostras com adição de 0,02% até 0,08% de nanopartículas de óxido de grafeno e apontam que adições de até 0,02% em volume podem promover ganhos de resistência mecânica sem prejudicar a trabalhabilidade da mistura, mantendo índices de consistência apropriados.

Outros autores também testaram a resistência de argamassas onde foram feitas adições de NOG reduzido e observaram aumentos positivos nas resistências do produto, especialmente após decorridos 28 dias de cura, bem como concluíram que quantidades menores de óxido de grafeno (até 0,03%) em relação ao volume tendem a melhorar a resistência mecânica sem comprometer a trabalhabilidade devido à tendência de aglomeração deste material (FANG *et al.*, 2017; GHOLAMPOUR *et al.* 2017; LU e OUYANG, 2017; ZHOU *et al.* 2017).

### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para o desenvolvimento da pesquisa aqui apresentada, foi elaborado um extenso programa experimental, sistematizado na Figura 1 e descrito a seguir:

Figura 1: Programa experimental.



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 3.1 Materiais

Priorizando a exequibilidade dos experimentos e materiais disponibilizados pelo comércio local, bem como garantir uma análise mais consistente com os estudos preliminares, foram usados os seguintes materiais na pesquisa:

- Cimento Portland CPV- ARI, marca CSN (NBR 5733, ABNT (1991));
- Sílica ativa marca Tecnosil (% SiO<sub>2</sub> > 90%, superfície específica: 20.000m<sup>2</sup>/kg, massa específica 2.220kg/m<sup>3</sup>, diâmetro da partícula 200 nm – 1 µm);
- Areia normal brasileira, produzidas pelo IPT, conforme NBR 7214 (ABNT, 2015);
- Pó de Mármore ( $\gamma_R = 2,90 \text{ kg/dm}^3$  e  $\gamma_U = 1,70 \text{ kg/dm}^3$ , diâmetro médio = 116, 91µm);
- Aditivo superplastificante de pega normal MC-PowerFlow 4001 da marca MC-Bauchemie (densidade 1,12 kg/l);

- Fibras poliméricas trituradas de máscaras tipo N95, confeccionadas com polipropileno, polietileno, poliamida, TNT, cloreto de polivinilo (gramatura = 20 g/m<sup>2</sup>);
- Nanopartículas de óxido de grafeno: ( $\gamma_R = 0,23 \text{ kg/dm}^3$ , diâmetro médio = 100  $\mu\text{m}$ ) proveniente da Amazonas Grafeno Ltda.

### 3.2 Preparo dos materiais

Considerando o potencial de emprego dos resíduos de máscaras faciais N-95 para obtenção de fibras poliméricas para uso na fabricação de produtos cimentícios (OLIVEIRA *et al.*, 2023), e devido às perdas de propriedades observadas, o presente trabalho visa avaliar procedimentos viáveis que possam minimizar a imperfeição das interações da matriz cimentícia e das fibras das máscaras.

Sendo assim, foi empregado a mesma proporção (traço) de materiais, conforme apresentados no estudo preliminar efetuado por Oliveira *et al.* (2023): 1:0,25:1:0,55:0,37:0,02 (cimento: sílica ativa: areia: pó de mármore: água: aditivo hiperplastificante) e, também, foi adotado 3 teores de adição de fibras, a saber: 0,7%, 1,4% e 2,0% baseado nos estudos efetuados por Idress *et al.* (2022).

Na Figura 2 pode-se observar os rejeitos utilizados nas amostras confeccionadas para este trabalho. A saber: (A) rejeito de mármore, proveniente da britagem dos cacos de mármore que restam após o processo de beneficiamento do mármore comercial; (B) sílica ativa proveniente da indústria metalúrgica e (C) fibras de máscaras faciais N-95.

Figura 2: Rejeitos usados na produção das amostras.



Fonte: Elaborado pela autora.

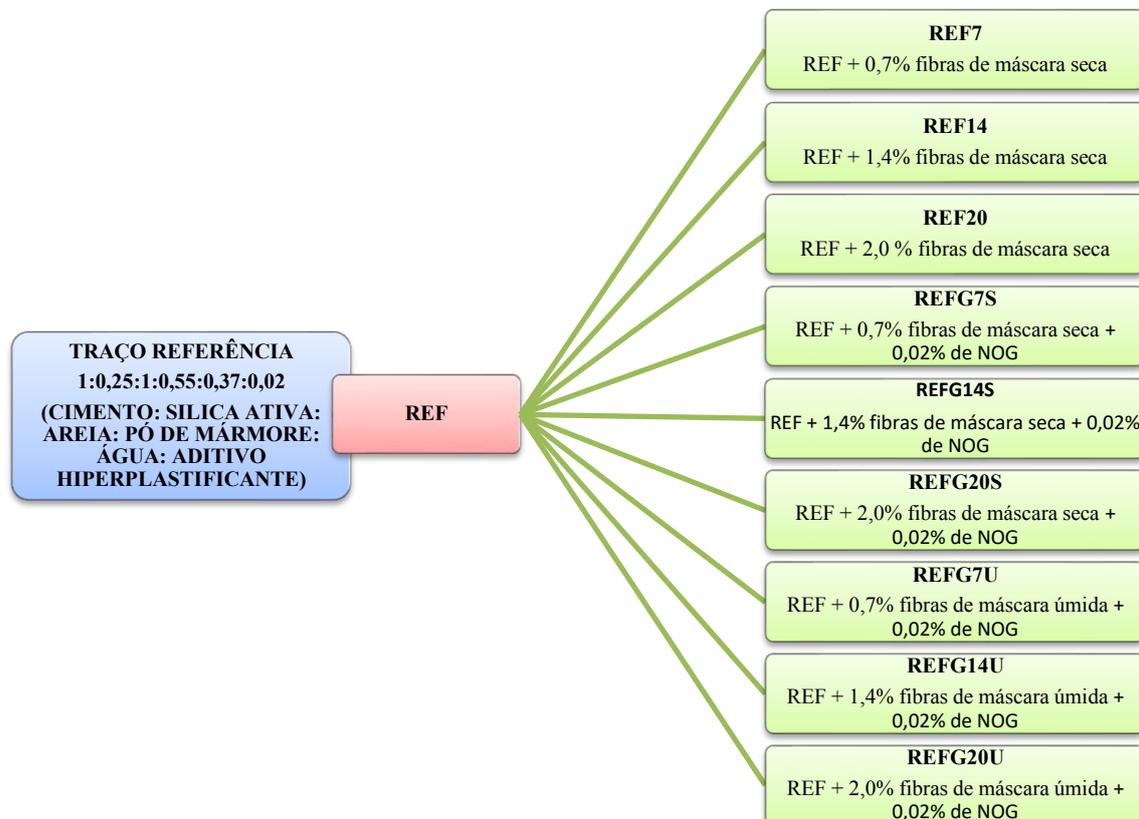
Na busca por possíveis alternativas para a redução dos volumes de absorção de água observados anteriormente (OLIVEIRA *et al.* 2023) as fibras obtidas foram divididas em dois grupos: em um deles as fibras foram umedecidas previamente à sua utilização e, no outro grupo, as fibras foram utilizadas secas. Tal medida foi tomada

para que se pudesse diminuir a quantidade de água do traço e, conseqüentemente, o volume de água com que as fibras teriam contato, de acordo com o descrito na Figura 3.

As fibras secas foram pesadas e, então, umedecidas por aspersão. Posteriormente ao umedecimento, foram novamente pesadas e a diferença de massa foi subtraída da quantidade de água adicionada ao traço, sempre considerando a proporção a/c como fixada em 0,5.

Para diminuir a taxa de absorção da argamassa, bem como promover ganhos nas propriedades mecânicas adicionou-se NOG na proporção 0,02% em relação a massa de cimento. Esse teor foi definido considerando pesquisas divulgadas nos meios científicos e mencionadas adiante (LV *et al.*, 2013; SHANG *et al.*, 2015; FANG *et al.*, 2017 e OLIVEIRA *et al.*, 2023).

Figura 3: Nomenclatura empregada nos corpos de prova.



Fonte: Elaborado pela autora.

Devido o estudo abordar o possível reaproveitamento de fibras poliméricas, oriundas de máscaras N-95, para adição em argamassas e priorizando tanto a

segurança da equipe de pesquisa quanto a agilidade na execução do programa experimental, optou-se pela utilização de máscaras novas, sem uso prévio, ou seja, que não necessitavam de passar por processos prévios de descontaminação.

No processo de triturar as máscaras, foram retirados os elásticos de suporte e a haste de ajuste no nariz. As máscaras foram, então, cortadas ao meio e picadas em um triturador de alimentos convencional até um tamanho adequado para o uso (vide Figura 2).

A opção pelo triturador de alimentos baseou-se na exequibilidade e agilidade do programa experimental. Além disso, por ser de fácil manuseio, diminuiu os custos do processo e facilitou que a equipe pudesse executá-lo. Entretanto, destaca-se a dificuldade em padronizar o tamanho das fibras, pois o material é triturado de maneira não uniforme, gerando uma quantidade diversa de fibras que possuem comprimentos variáveis compreendido entre 5mm e 15mm.

Por último, em todo o programa experimental, as amostras confeccionadas foram submetidas ao método de cura tradicional, em câmara úmida, conforme disposto na NBR 9479 (ABNT, 1994).

### 3.3. Métodos

O traço adotado foi definido com o auxílio do *software Elkem Materials Mixture Analyzer* (EMMA), uma ferramenta computacional que analisa a melhor combinação, em termos de quantidades, dos componentes do traço da argamassa, visando garantir condições ótimas do empacotamento de grãos, conforme a distribuição granulométrica dos materiais utilizados.

O *software* utiliza dados obtidos por difração a *laser*, fazendo o melhor arranjo para a distribuição dos componentes conforme o tamanho de suas partículas, de maneira que partículas menores possam ser incorporadas aos poros vazios das partículas maiores, diminuindo a quantidade de vazios presentes no compósito (SUNAYANA e BARAI, 2017).

As amostras foram analisadas, aos 28 dias de idade, para a investigação de suas propriedades físicas, mecânicas e microestruturais, conforme descrito na Figura 1, sendo confeccionados 4 (quatro) corpos cilíndricos, com dimensão de 5 x 10 cm, para cada mistura e executados os seguintes testes:

- Resistência à compressão ( $f_c$ ) (NBR 7215, ABNT (2011));
- Resistência à tração por compressão diametral ( $f_{ct,sd}$ ) (MPa) (NBR 7222, ABNT (2011));
- Velocidade de pulso ultrassônico (VP) (m/s) (NBR 16616, ABNT (2017));
- Absorção por imersão (A) (%) (NBR 9778, ABNT (2009));
- Absorção por capilaridade (C) ( $g/cm^2$ ) (NBR 9779, ABNT (2012));
- Análise Raman: Microscópio eletrônico de varredura (MEV) marca Hitachi Ltd modelo TM 3000, operando a 15 kV. Uma pequena seção de cada corpo de prova foi cuidadosamente extraída e colocada em fita de carbono. Posteriormente, a amostra foi metalizada com uma camada de filme de ouro com 10 nm de espessura.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Índice de consistência

Os ensaios aqui descritos foram realizados ao final de 28 dias de idade, sendo as amostras submetidas à cura em câmara úmida. Os resultados médios encontrado no ensaio de mesa de espalhamento (*flow table*) se encontram dispostos na Tabela 1, onde se pode observar o comportamento das amostras em estado fresco.

Tabela 1: Consistência das amostras de argamassa com fibras de máscaras N-95.

Amostra	Índice de consistência (mm)	CV (%)
REF	189,55	0,1
REF7	189,73	0,1
REF14	172,25	1,0
REF20	164,05	1,3
REFG7S	190,60	0,1
REFG14S	166,10	0,4
REFG20S	146,67	0,1
REFG7U	173,05	0,3
REFG14U	142,15	0,7
REFG20U	136,70	1,7

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando a Tabela 2 consta-se que uma maior quantidade de fibras (0,7% - 2,0%) resulta numa maior perda de consistência na ordem 13,5% para as misturas sem adição de NOG e, 23,0% e 21,0% para as demais. Nota-se, também, que nas amostras onde foram adicionadas fibras umedecidas a perda de consistência foi maior devido à aglomeração do material quando nesta condição, conforme ilustrado no Gráfico 2.

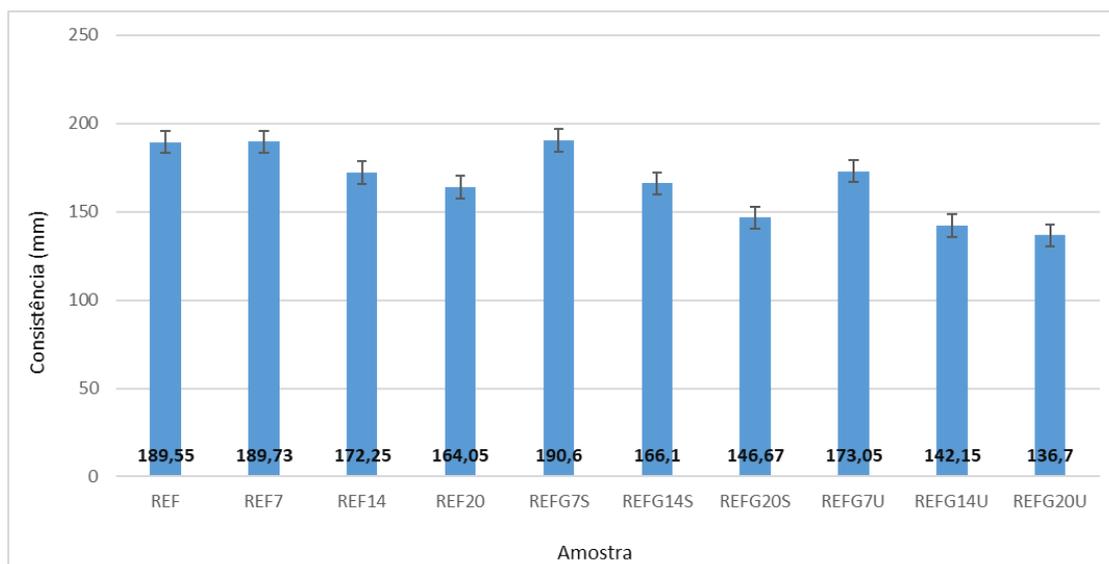
Cabe mencionar que os resultados obtidos reproduzem o mesmo comportamento apresentado por Shang *et al.* (2019) e Oliveira *et al.* (2023), ou seja, a adição de fibras sintéticas, sílica ativa e de NOG tende a comprometer a trabalhabilidade das misturas de argamassas.

Esse comportamento pode ser explicado pela tendência à aglomeração apresentada pelo NOG, somado às fibras que, em contato com a água, aderem umas

às outras e à sílica ativa já presentes anteriormente na mistura e que também tendem a aglomerar, levando à formação de “grumos” e comprometendo a fluidez da mistura.

Ainda quanto à aglomeração das fibras, as fibras úmidas apresentam maior tendência à aglomeração, pois não se desprendem umas das outras ao serem adicionadas já umedecidas à argamassa, diminuindo ainda mais a fluidez da mistura.

Gráfico 2: Consistência das amostras analisadas.



Fonte: Elaborado pela autora.

Argamassas com maiores consistências apresentam menor trabalhabilidade, o que poderá ser um limitador para emprego na fabricação de diferentes produtos. Embora exista uma boa coesão entre os componentes das amostras analisadas, naquelas com adição de 2,0 % fibras também se observou perda da plasticidade.

Salienta-se que em nenhuma das amostras observou-se processos de exsudação significativos, o que fortalece a coesão da mistura, uma vez que não ocorreu movimentação significativa das partículas finas devido à ascensão da água.

## 4.2 Propriedades mecânicas

Nos ensaios para verificação da resistência à compressão ( $f_c$  (MPa)) e à tração por compressão diametral ( $f_{ct,sd}$  (MPa)), os resultados médios obtidos encontram-se na Tabela 2 e Gráfico 3.

Na Tabela 2, pode-se observar o coeficiente de variação (CV), que se trata de uma análise estatística preliminar empregada para comparar a variabilidade dos

resultados encontrados com seu valor médio, considerando os dados das diferentes amostras dos experimentos realizados. Neste caso, considerou-se como aceitas as amostras cujo valor de CV é menor que 25%.

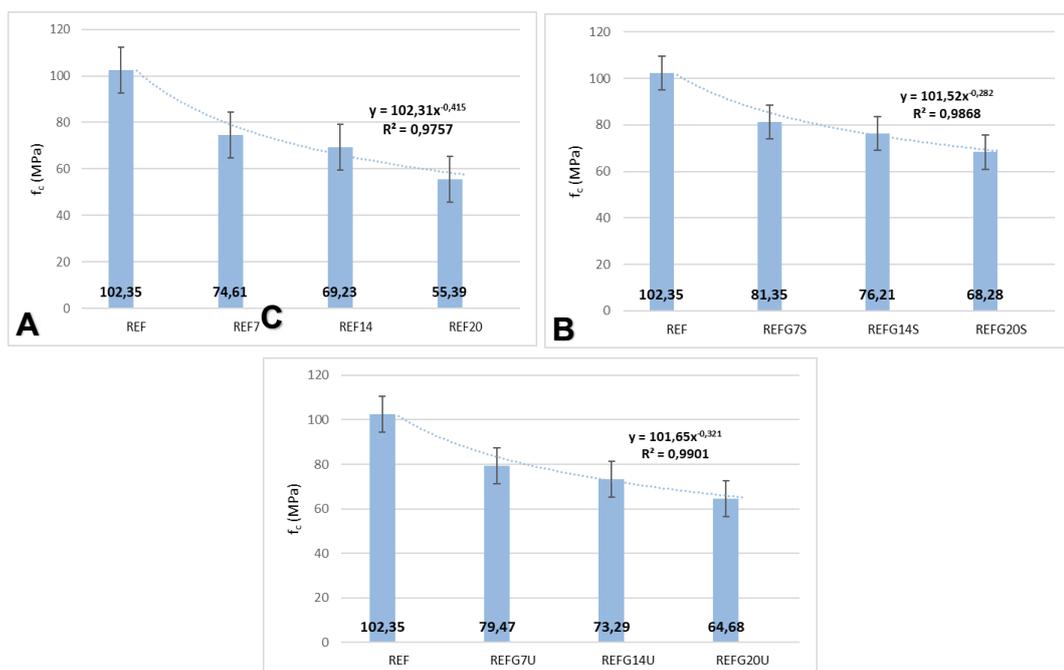
Ainda na Tabela 2, estão descritos os resultados médios referentes ao teste de velocidade de pulso ultrassônico (VPU (m/s)) e ao índice de vazios das amostras ( $I_v$  (%)); estes dados permitirão estabelecer uma correlação mais consistente entre as diferentes situações observadas.

Tabela 2: Resultados médios dos testes de resistência mecânica das amostras analisadas.

	REF	REF7	REF14	REF20	REFG7S	REFG14S	REFG20S	REFG7U	REFG14U	REFG20U
$f_c$ (MPa)	102,35 (CV=0,01)	74,61 (CV=0,02)	69,23 (CV=0,06)	55,39 (CV=0,11)	81,35 (CV=0,005)	76,21 (CV=0,01)	68,28 (CV=0,03)	79,47 (CV=0,03)	73,29 (CV=0,009)	64,68 (CV=0,02)
$f_{ct, sd}$ (MPa)	8,24 (CV=0,03)	6,71 (CV=0,01)	5,62 (CV= 0,04)	7,92 (CV=0,20)	7,75 (CV=0,02)	7,10 (CV=0,02)	8,61 (CV=0,009)	7,91 (CV=0,05)	7,73 (CV=0,09)	8,33 (CV=0,04)
VP (m/s)	4210	4111	4070	4010	4160	4095	4050	4230	4145	4095
$I_v$ (%)	1,82	2,68	3,63	2,95	1,63	3,11	2,51	1,02	2,32	1,81

Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 3: Resistência à compressão ( $f_c$  (MPa)) entre os grupos de amostras: **(A)** amostras sem adição de NOG e com fibras secas; **(B)** amostras com adição de NOG e fibras secas e **(C)** amostras com adição de NOG e fibras umedecidas.



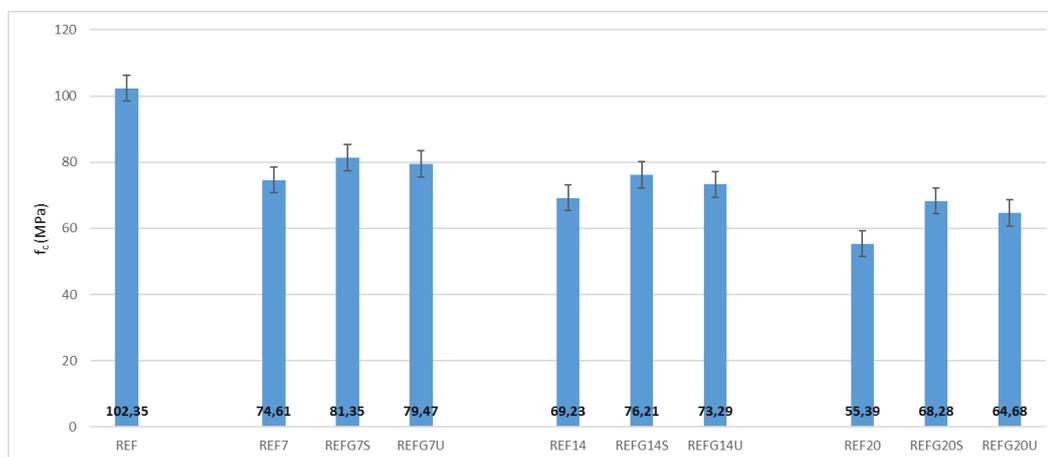
Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando o Gráfico 3 (A), onde encontra-se os dados médios referentes às amostras com fibras secas e sem adição de NOG, se observa uma diminuição da resistência à compressão de 25,4% para a amostra REF7; 32,4% para a amostra REF14 e 45,9% para a amostra REF20.

No Gráfico 3 (B), estão os dados das amostras com adição de fibras e secas e de NOG onde é possível verificar uma perda menos significativa da resistência a compressão, a saber: 20,6% para a amostra REFG7S; 25,5% para a amostras REFG14S e 33,2% para a amostra REFG20S. E no Gráfico 3 (C), verifica-se que o comportamento foi semelhante ao do Gráfico 3 (B), com percentuais que refletem as reduções são 22,3% para a amostra REFG7U; 28,3% para a amostra REFG14U e 36,8% para a amostra REFG20U.

Observa-se, também, que as menores perdas de resistência à compressão ocorreram nas amostras onde foram adicionadas fibras secas de máscaras N-95 e NOG; entretanto, a pequena diferença observada entre o Gráfico 3 (B) e o Gráfico 3 (C) permite concluir que a o emprego de das fibras secas ou umedecidas não interfere significativamente nestes resultados, conforme se verifica no Gráfico 4.

Gráfico 4: Resistência à compressão por percentual de fibras.

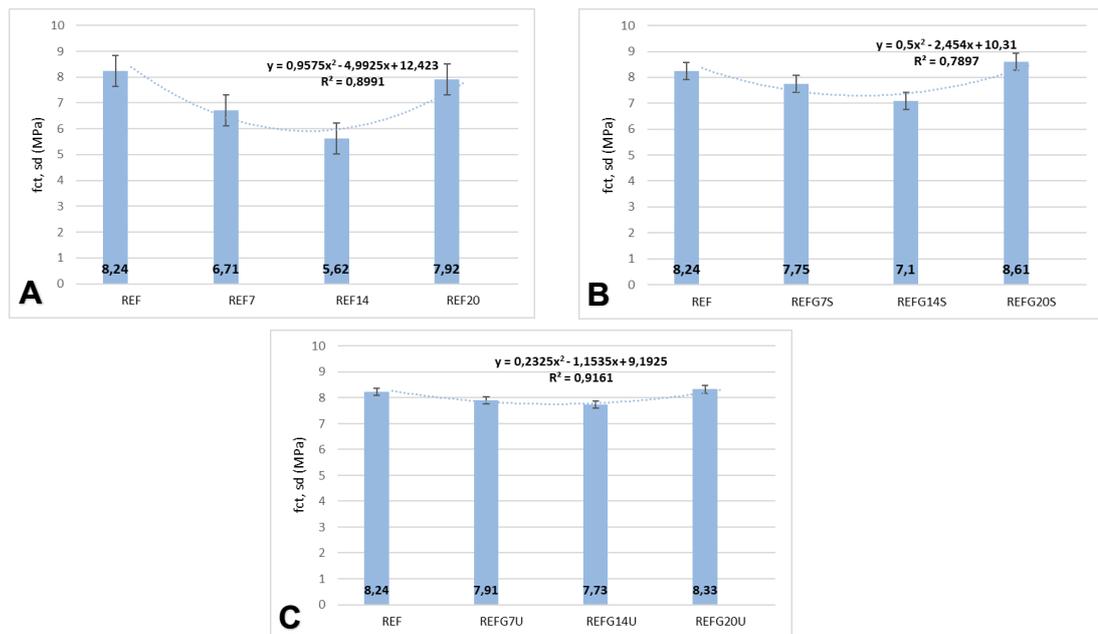


Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando a resistência à tração por compressão diametral, percebe-se um comportamento diferente, que pode ser mais bem analisado no Gráfico 5, onde as NOG possibilitaram ganhos na resistência evidenciando uma maior interação da fibra com a matriz.

Analisando o Gráfico 5 (A) é possível constatar que a adição da fibra em misturas sem as nanopartículas resultou numa redução dessa propriedade de 18,5% para a amostra REF7; 31,7% para a amostra REF14 e 3,88% para a amostra REF20.

Gráfico 5: Resistência à tração ( $f_{ct, sd}$  (MPa)) entre os grupos de amostras: (A) amostras sem adição de NOG e com fibras secas; (B) amostras com adição de NOG e fibras secas e (C) amostras com adição de NOG e fibras umedecidas.



Fonte: Elaborado pela autora.

Entretanto, conforme ilustrado nos Gráficos 5 (B) e (C) as nanopartículas aprimoram a interação fibra/matriz para maiores adições de fibra, onde se verifica para as fibras secas uma redução na resistência à tração de 5,9% para a amostra REFG7S e de 13,8% para a amostra REFG14S e um incremento de 4,5% para amostra REFG20S quando comparado com a amostra REF.

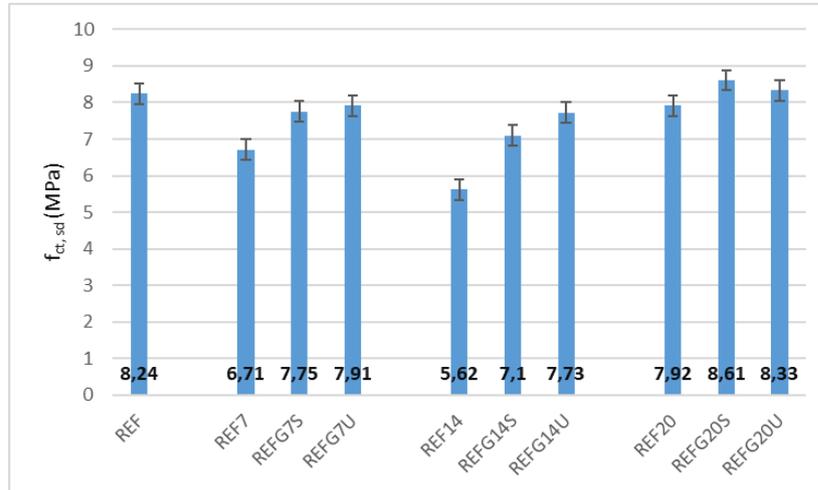
Enquanto para o caso das fibras úmidas ocorreu uma diminuição de 4% entre as amostras REF e REFG7U; diminuição de 6,2% entre as amostras REF e REFG14U e aumento na resistência à tração de 1,1% entre as amostras REF e REFG20U.

De modo a melhor visualizar o comportamento das amostras quanto à resistência a tração, o Gráfico 6 permite observar as diferentes resistências conforme os diferentes percentuais de adição de fibras.

Cabe mencionar que a ductilidade dos corpos de prova também foi melhor nas amostras com adição deste material, permitindo uma maior deformação antes do

rompimento definitivo, especialmente nas amostras com adição dos teores de 2,0% de fibras (REF20, REFG20S e REFG20U).

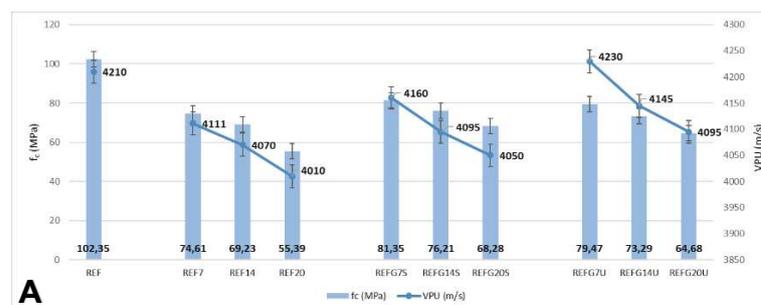
Gráfico 6: Resistência à tração por percentual de fibras.

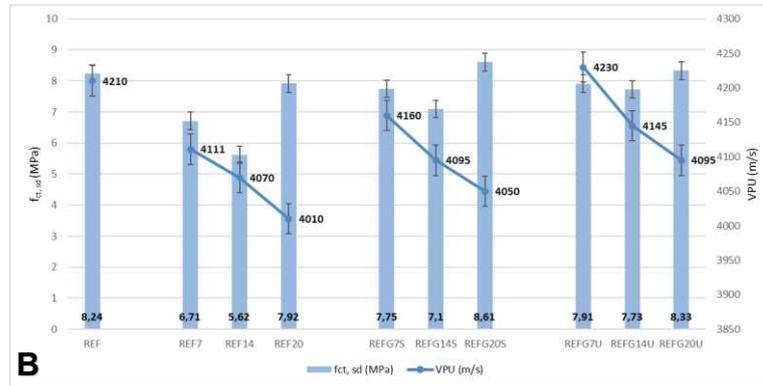


Fonte: Elaborado pela autora.

Diante do exposto, verifica-se, conforme Gráfico 7 que o comportamento mecânico, resistências à compressão e à tração, está correlacionado com a velocidade de pulso ultrassônico. Sabe-se que diferentes fatores podem interferir na propagação da velocidade de pulso ultrassônico e considerando um possível indicativo de uma maior índice de porosidade, devido à baixa coesão entre a matriz e as fibras de máscaras N-95, constata-se que quanto maior a quantidade de fibras adicionadas à mistura, maior a porosidade do compósito, menor a velocidade de propagação do pulso ultrassônico e, conseqüentemente, menor a resistência obtida.

Gráfico 7: Correlação entre (A) resistência à compressão e velocidade de pulso ultrassônico e (B) resistência à tração e velocidade de pulso ultrassônico.

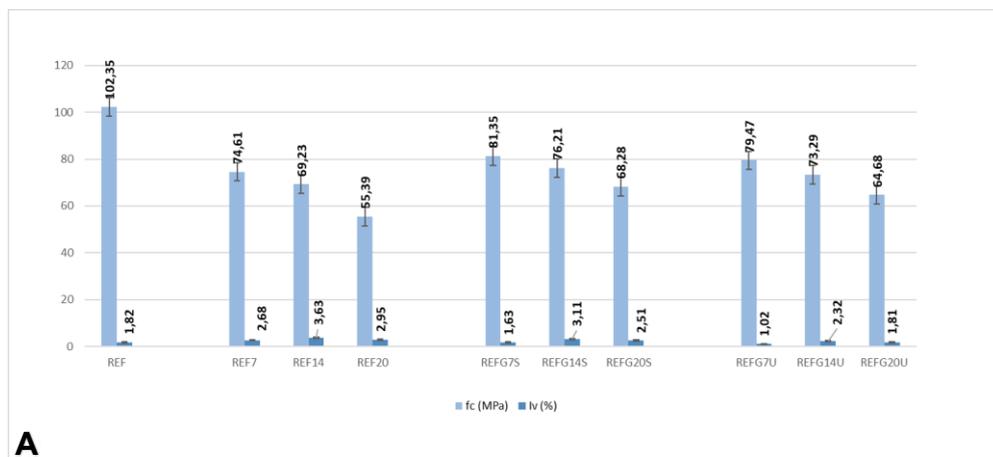




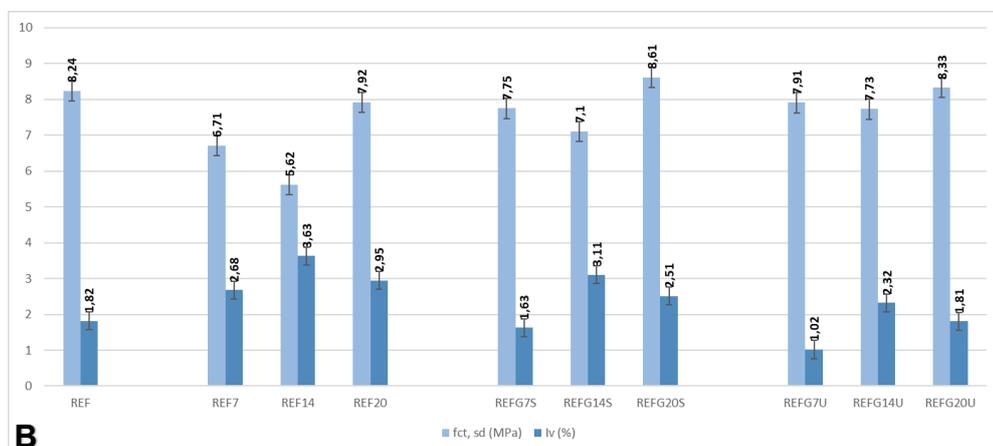
Fonte: Elaborado pela autora.

Nesse sentido, considerando o índice de porosidade, conforme ilustrado no Gráfico 8, observa-se que o índice de vazios é proporcional ao teor de adição de fibras e é ligeiramente menor nas amostras onde são adicionados fibras de máscaras N-95 secas ou úmidas e NOG.

Gráfico 8: Correlação entre (A) resistência à compressão e índice de vazios e (B) resistência à tração e índice de vazios das amostras analisadas.



**A**



**B**

Fonte: Elaborado pela autora.

Consoante, tanto a resistência à compressão quanto a resistência à tração aumentam nas amostras onde é adicionado NOG. Isto ocorre pois, conforme comprovado pela literatura, o material favorece o processo de hidratação do cimento ao atuando no processo de nucleação e na formação dos cristais de C-S-H, melhorando o empacotamento, a interação entre a matriz e as fibras da máscara e fazendo com que estas desempenhem melhor o papel de reforço na mistura (LONG *et al.*, 2018; CORSO *et al.*, 2019; KUDŽMA *et al.*, 2019).

Conforme já observado anteriormente, ainda que a amostra REF se mostre com melhor desempenho quanto à resistência, o objetivo deste trabalho é discutir uma maneira viável para o reaproveitamento de fibras poliméricas oriundas de máscaras daciais do tipo N95, neste sentido, a adição de NOG foi favorável, melhorando as propriedades mecânicas das amostras analisadas no estudo.

Conforme observado no estudo anterior (OLIVEIRA *et al.*, 2023), a adição das fibras de máscaras N-95 tende a diminuir a resistência geral das argamassas. Isto ocorre, pois, as fibras embora de composição majoritariamente sintética (polipropileno, polietileno, poliamida, poliuretano, poliácridonitrila, dentre outros), quando em presença de meio aquoso comportam-se como fibras naturais, absorvendo líquidos (água) e exibindo comportamento de inchamento enquanto submersas.

Nas argamassas produzidas com este material, este inchamento provoca a formação de espaços no interior do elemento e, conforme ocorre o processo de cura, também ocorre a eliminação da água da mistura, fazendo com a fibra volte a seu tamanho original, aumentando o índice de vazios na argamassa.

Sendo assim, para a obtenção de melhores resistências, durabilidade e densidade, combinar a adição de fibras à adição de materiais que contribuam para a diminuição dos vazios e a melhora de interação fibra matriz se mostra um caminho promissor, abrindo maiores possibilidades para o reaproveitamento das máscaras N-95 e para o uso do produto obtido.

### **4.3 Estanqueidade**

Os ensaios realizados para medir as taxas de absorção das amostras também apresentaram comportamentos distintos, conforme as diferentes quantidades de fibras adicionadas e a adição de NOG. Foram executados os testes de absorção por capilaridade (C) e absorção por imersão (A). Os resultados médios encontrados estão

dispostos na Tabela 3 onde, também, se pode observar o coeficiente de variação (CV) e o coeficiente de capilaridade (CC).

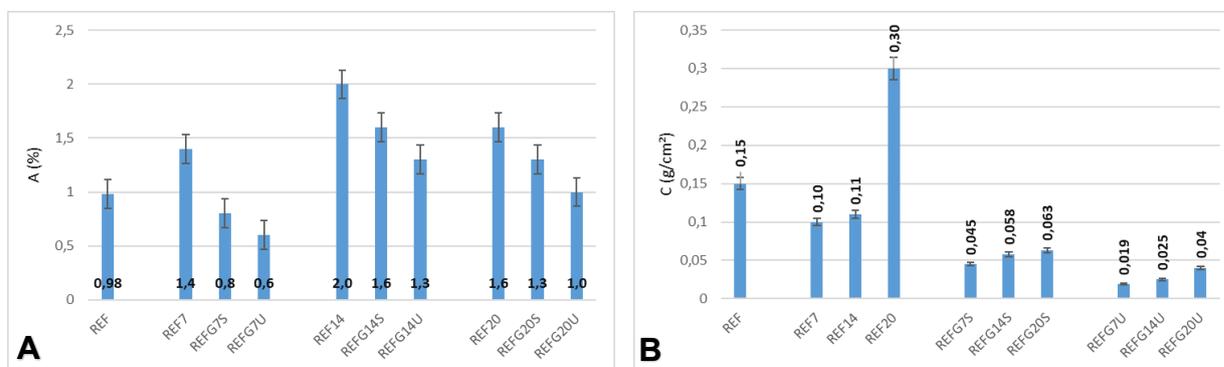
Tabela 3: Índices médios das taxas de absorção por amostra.

	REF	REF7	REF14	REF20	REFG7S	REFG14S	REFG20S	REFG7U	REFG14U	REFG20U
A (%)	0,98 (CV = 0,6)	1,4 (CV = 0,4)	2,0 (CV = 0,7)	1,6 (CV = 0,4)	0,8 (CV = 0,1)	1,6 (CV = 1,4)	1,3 (CV = 1,9)	0,6 (CV = 0,7)	1,3 (CV = 0,4)	1,0 (CV = 0,3)
C (g/cm <sup>2</sup> )	0,15 (CC= 0,24)	0,10 (CC= 0,10)	0,11 (CC= 0,09)	0,30 (CC= 0,28)	0,045 (CC= 0,06)	0,058 (CC= 0,14)	0,063 (CC= 0,14)	0,019 (CC= 0,03)	0,025 (CC= 0,09)	0,04 (CC= 0,07)
I <sub>v</sub> (%)	1,82	2,68	3,63	2,95	1,63	3,11	2,51	1,02	2,32	1,81

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com os dados médios encontrados, elaborou-se a Gráfico 9, onde é possível observar o comportamento relativo das amostras, quanto à absorção por capilaridade (C), à absorção por imersão (A), conforme o percentual de fibras adicionadas.

Gráfico 9: (A) absorção por imersão conforme percentual de adição de fibras e (B) absorção por capilaridade conforme percentual de adição de fibras.



Fonte: Elaborado pela autora.

Devido ao resultado da absorção por imersão (A) ser expresso em porcentagem, optou-se pela expressão pontos percentuais para expressar a diferença entre os dados comparados de modo a demonstrar, estatisticamente, o cenário analisado com mais precisão.

Então de acordo com o gráfico 9 (A), tomando como base a amostra REF, na amostra REF7 houve um aumento na absorção de 0,42 pontos percentuais; na amostra REF14 houve aumento de 1,02 pontos percentuais e na amostra REF20 houve um aumento de 0,62 pontos percentuais.

Seguindo o raciocínio, a amostra REFG7S apresentou uma redução de 0,18 pontos percentuais na absorção; as amostras REFG14S e REFG20S tiveram aumentos de 0,62 e de 0,32 pontos percentuais, respectivamente, na absorção quando comparadas à amostra REF.

Analisando o último grupo de amostras e ainda tomando a amostra REF como parâmetro de comparação, é possível observar que na amostra REFG7U houve redução de 0,38 pontos percentuais na absorção e nas amostras REFG14U e REFG20U houve aumento de 0,32 e 0,02 pontos percentuais, respectivamente.

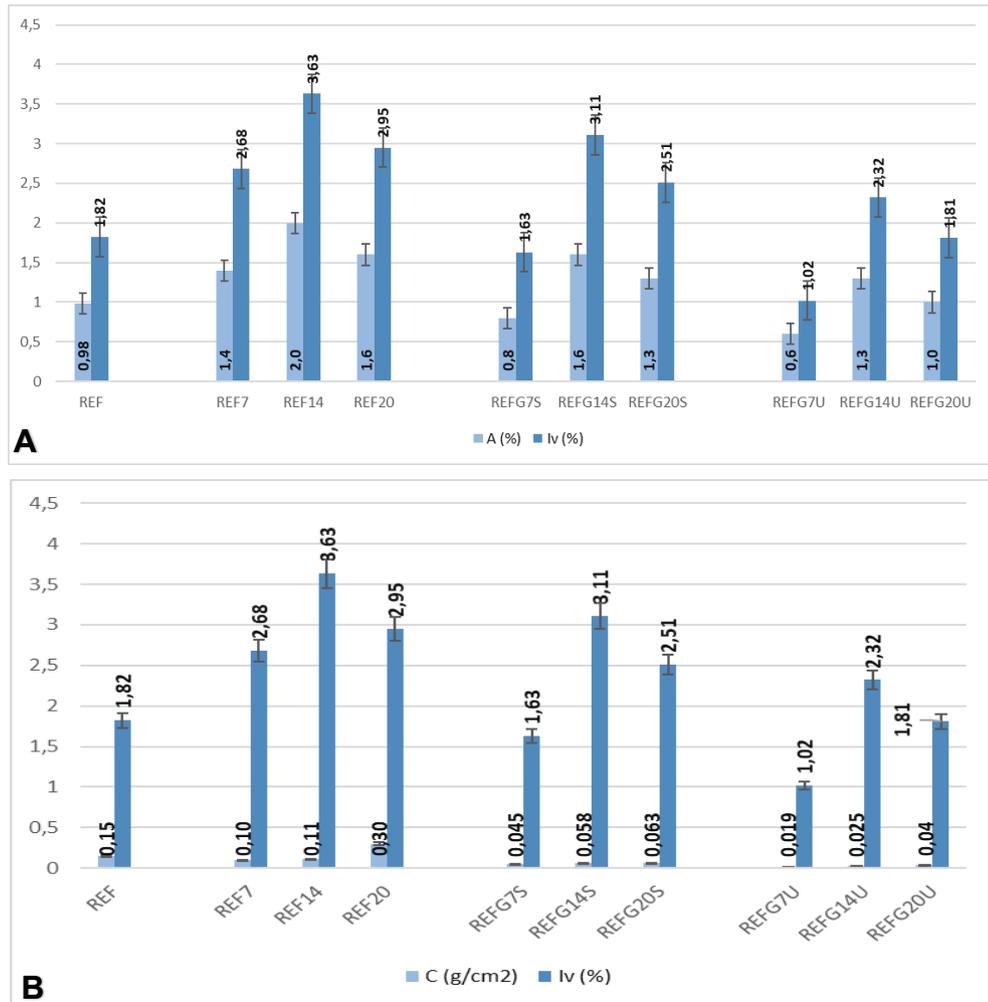
Por sua vez, no Gráfico 9 (B) é possível observar o comportamento das amostras quanto ao índice de absorção por capilaridade (C) e o índice de vazios ( $I_v$ ). Para facilitar o entendimento da variação do volume absorvido pelas amostras, foi calculado a variação em porcentagem entre os dados médios encontrados.

Neste caso, as amostras REF7 e REF14 houve redução na absorção por capilaridade (C) de 0,05% e de 0,04%, respectivamente, com relação à amostra REF. A amostra REF20 apresentou aumento de 100% no volume absorvido em relação à amostra REF.

Analisando as amostras REFG7S, REFG14S e REFG20S, observou-se redução no volume absorvido em 70%, 61,3% e 58%, respectivamente, com relação à amostra REF. O mesmo se repetiu com as amostras REFG7U, REFG14U e REFG20U, que apresentaram 87%, 83% e 73%, respectivamente, na redução do volume absorvido por capilaridade.

A fim de detalhar a correlação entre o índice de vazios ( $I_v$ ) e os volumes de água absorvidos pelas amostras, foi elaborada o Gráfico 10.

Gráfico 10: Comparativo entre (A) absorção por imersão e índice de vazios e (B) absorção por capilaridade e índice de vazios.



Fonte: Elaborado pela autora.

No Gráfico 10 (A) é possível observar que a absorção por imersão (A) e o índice de vazios ( $I_v$ ) são proporcionais, ou seja, conforme o índice de vazios aumenta ou diminui, a taxa de absorção por imersão também oscila.

O índice de porosidade é um fator que influencia diretamente na permeabilidade da argamassa. Quanto maior o índice de porosidade capilar, maior a facilidade que os fluidos terão de percolar para o interior do produto. Isso implica que produtos cimentícios mais porosos estão mais sujeitos à ação de agentes agressivos degradantes, prejudicando a durabilidade do material.

No caso das amostras analisadas, a permeabilidade observada se associa diretamente ao maior índice de porosidade, causado pelo comportamento particular das fibras de máscaras N-95, que favorece a formação de vazios internos (OLIVEIRA *et al.*, 2023) por isso, a adição de NOG é benéfica, pois reduz o índice de vazios e os

volumes de absorção de água, conforme disposto no Gráfico 10 (B) possibilitando, também, um melhor desempenho quanto ao possível reaproveitamento das fibras

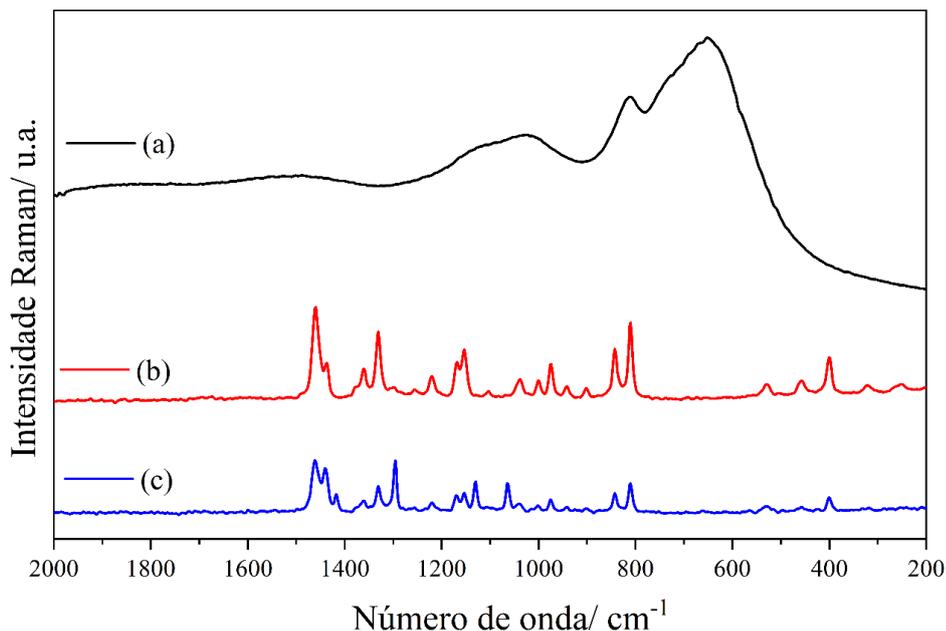
#### 4.4 Análise Química

No espectro Raman do cimento tipo CPV-ARI, conforme visto no Gráfico 11(A), é possível observar bandas características relativa à sua composição química. A banda em  $1032\text{ cm}^{-1}$  pode ser atribuída ao  $\nu_3(\text{Si-O-Si})$ , referente ao componente  $\text{C}_2\text{S}$ , e ao  $\nu(\text{SO}_4^{2-})$  associado ao gesso presente no cimento. No entanto, a quantidade de gesso no cimento é de aproximadamente 2,59%, logo, a contribuição do  $\text{C}_2\text{S}$  para a atribuição dessa banda é maior (MARTINEZ-RAMIREZ *et al.*, 2006).

A banda em  $1133\text{ cm}^{-1}$  é atribuída ao  $\nu(\text{Si-O})$ , referente ao componente  $\text{C}_2\text{S}$ , e associada ao componente  $\text{C}_3\text{S}$  quando este está em seu estado oxidado ou reduzido. Contudo, isso não é esperado devido a composição do cimento utilizado, logo, tal banda é relacionada apenas a presença do  $\text{C}_2\text{S}$  (BONEN *et al.*, 1994).

A banda em  $818\text{ cm}^{-1}$  também é atribuída ao  $\nu(\text{Si-O})$ , referente ao componente  $\text{C}_2\text{S}$  e a presença de quartzo. Por fim, a banda em  $650\text{ cm}^{-1}$  é atribuída ao estiramento simétrico da ligação Si-O do componente  $\text{C}_3\text{S}$  e ao efeito de fluorescência (MARTINEZ-RAMIREZ *et al.*, 2006).

Gráfico 11: Espectro Raman do Cimento Portland CP ARI IV (A); Camada Interna (B) e Camadas Externas (C) da máscara N-95.

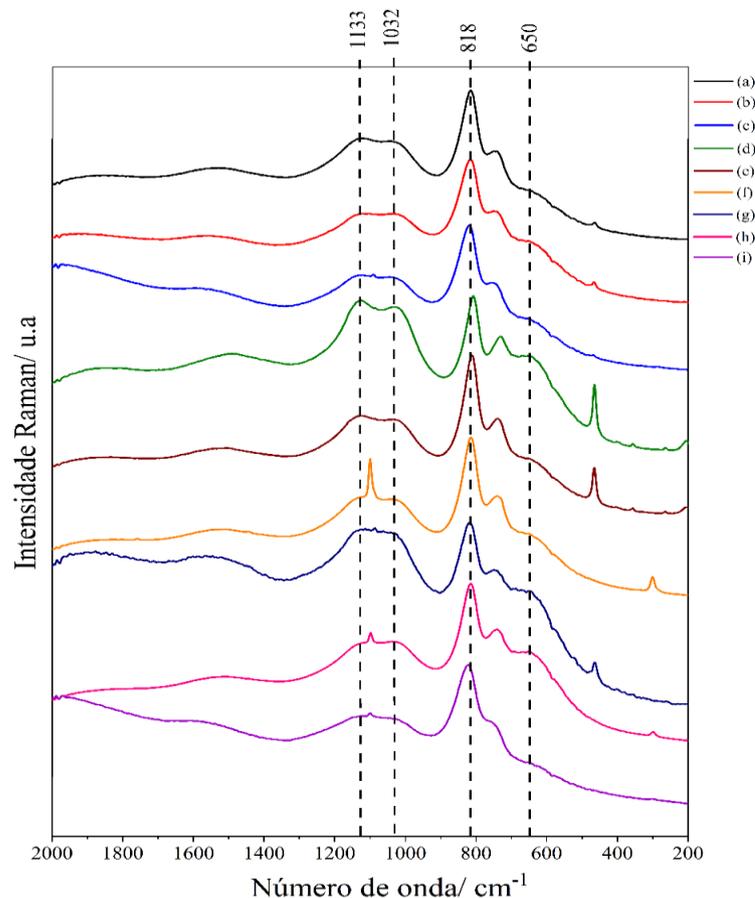


Fonte: Elaborado pela autora.

O Gráfico 11(B) e 11(C) mostram o espectro Raman dos componentes da máscara N-95 (camada interna e externa) utilizada para a produção dos corpos de prova. Os espectros Raman dos corpos de prova foram obtidos em regiões que visivelmente não se observou as fibras dos componentes das máscaras, no entanto para se identificar possíveis interferências das suas bandas, os seus espectros foram obtidos.

As linhas do Gráfico 12 mostram o espectro Raman das amostras após 28 dias de cura. Comparando o espectro do cimento disposto no Gráfico 12 (A) com o das amostras é possível observar a formação de um ombro pronunciado, em torno de  $740\text{ cm}^{-1}$ . Isso está relacionado com a diminuição da intensidade da banda em  $650\text{ cm}^{-1}$ , devido ao processo hidratação do componente  $\text{C}_3\text{S}$  que possui uma reação de hidratação mais rápida que os demais (OH *et al.*, 2004; CHANG *et al.*, 2014).

Gráfico 12. Espectro Raman das amostras REF7 (A), REFG7S (B), REFG7U (C), REF14 (D), REFG14S (E), REFG14U (F), REF20 (G), REFG20S (H) e REFG29U (I).



Fonte: Elaborado pela autora.

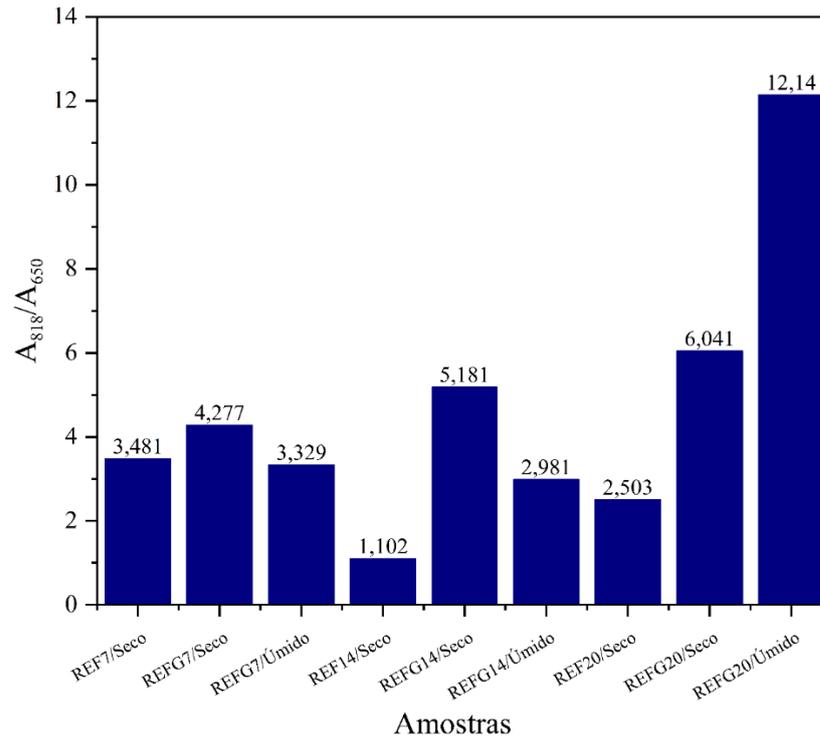
O processo de hidratação também pode ser observado através do aumento de intensidade das bandas em 1133 e 1032  $\text{cm}^{-1}$ , ambas associadas ao componente  $\text{C}_2\text{S}$ , que se torna majoritário com o processo de hidratação do componente  $\text{C}_3\text{S}$  (DIAS de SOUZA *et al.*, 2019; SOUSA *et al.*, 2021). Isso pode ser observado mais nitidamente no espectro das amostras REF14 e REF20.

A hidratação do cimento é relativamente lento e envolve a hidratação dos silicatos de cálcio e a precipitação do gel C-S-H ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) e da portlandita  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Com o decorrer do tempo tanto a composição como a estrutura do gel C-S-H variam, ocorrendo uma diminuição gradual na relação Ca/Si e um aumento no comprimento da cadeia do silicato (MARTÍNEZ-RAMÍREZ *et al.*, 2006).

De acordo com a literatura, a razão das áreas das bandas em 818 ( $A_{818}$ ) e 650  $\text{cm}^{-1}$  ( $A_{650}$ ) pode ser um indicador da formação do C-S-H e do grau de cura do cimento Portland CPV-ARI. Assim, quando a razão  $A_{818}/A_{650}$  apresenta um valor maior que 1,0 indica a formação do gel C-S-H e como consequência o grau de hidratação do cimento (KIRKPATRICK *et al.*, 1997).

O Gráfico 13 mostra a razão  $A_{818}/A_{650}$  para as diferentes amostras. Comparando os valores obtidos para as amostras REF7/Seco, REF14/Seco e REF20Seco não se observa uma grande diferença entre os valores da razão obtido, logo, pode-se supor que todas as amostras apresentam o mesmo grau de hidratação e a quantidade de fibra da máscara não interfere significativamente na cura dos corpos de provas. O mesmo também é observado comparando as amostras REF7/Seco, REFG7/Seco e REFG7/Úmido, que apresentam valores próximos da razão  $A_{818}/A_{650}$ . Por fim, observa-se que a adição do grafeno nas amostras só alterou o grau de cura das amostras REFG14/Seco, REFG20/Seco e REFG20/Úmido.

Gráfico 13. Gráfico da razão das áreas das bandas 818 e 650  $\text{cm}^{-1}$ .



Fonte: Elaborado pela autora.

## 5 CONCLUSÃO

O reaproveitamento de resíduos assume um aspecto cada vez mais importante para o desenvolvimento sustentável na indústria da construção civil, norteando pesquisas e inovações que buscam atender às demandas de sustentabilidade e a necessidade de conservação ambiental.

Sob esta perspectiva, o trabalho aqui descrito apresenta uma alternativa viável para o reaproveitamento de material polimérico, na forma de fibras para reforço de argamassas e outros produtos cimentícios. A pesquisa inova, também, ao propor o reaproveitamento de rejeitos de máscaras faciais N-95 para obtenção das fibras poliméricas, assunto ainda pouco explorado em âmbito nacional.

Durante o desenvolvimento do trabalho, foi observado que o material possui características únicas, que interferem diretamente na interação fibra/matriz e nas propriedades de resistência mecânica da argamassa estudada: embora as fibras sejam compostas por materiais sintéticos, seu comportamento quando em contato com a mistura de argamassa, é bastante semelhante ao das fibras naturais, especialmente no que se trata da absorção de líquidos e da diminuição da resistência à compressão dos produtos cimentícios.

Para a correção das deficiências observadas, foi adotada a adição de NOG e o umedecimento prévio das fibras. De maneira geral, pode-se afirmar que a adição de NOG viabiliza a utilização de fibras poliméricas reaproveitadas como reforço para argamassas e outros compósitos a base de cimento Portland.

Conforme os resultados apresentados, quando comparadas com as amostras contendo apenas fibras secas, as amostras com adição de fibras secas e NOG apresentaram um aumento médio de 14% e as amostras com fibras úmidas e NOG, aumento médio de 9% na resistência à compressão. Analisando a resistência à tração, as amostras com fibras secas e NOG tiveram um aumento médio de 16%, e nas amostras com adição de fibras umedecidas e NOG houve um aumento médio de 9%, em comparação àquelas onde somente com adição de fibras secas.

As taxas de absorção foram reduzidas em uma média de 58% nas amostras contendo fibras secas e NOG e em média de 73% nas amostras contendo fibras umedecidas e NOG, indicando que a adição de óxido de grafeno contribui para a melhoria das propriedades e viabiliza o reaproveitamento das máscaras N-95 como fonte de fibras poliméricas para uso em derivados cimentícios.

Os resultados encontrados durante o trabalho também indicam que, considerando os fatores trabalhabilidade, resistência mecânica e estanqueidade, teores de até 0,7% de fibras secas, em relação ao volume de cimento utilizado, são ideais para obtenção de uma argamassa com características satisfatórias e amplas possibilidades de uso, ao mesmo tempo em que contribui para a redução do descarte de diferentes resíduos no ambiente.

Opta-se por fibras secas para o teor ideal pois, umedecer as fibras diminui a trabalhabilidade da argamassa ao aumentar a consistência do produto, além de não promove ganhos efetivos em sua resistência mecânica, visto que quando umedecidas previamente, as fibras aderem-se umas às outras, formando grumos que dificultam uma distribuição uniforme na mistura da argamassa.

Assim, o trabalho colabora duplamente para a pesquisa científica e tecnológica na construção civil, ao (i) contribuir para os estudos já existentes que abordam as diferentes possibilidades para adição de óxido de grafeno em materiais cimentícios e (ii) para construção de uma nova perspectiva quanto ao reaproveitamento de resíduos na construção civil, pois o programa experimental adotado e a adição de óxido de grafeno podem ser replicados em prol do aperfeiçoamento de outros produtos cimentícios que utilizem fibras poliméricas oriundas de diferentes fontes de resíduos,

criando novas possibilidades de análises e auxiliando, diretamente, no atendimento às demandas da sociedade por desenvolvimento sustentável e conservação ambiental.

Entretanto, devido ao caráter pioneiro que este estudo apresenta, especialmente no que tange o reaproveitamento das máscaras N-95 como fonte de fibras poliméricas, existem observações que devem ser levadas em consideração em possíveis trabalhos futuros, tais como:

- As fibras poliméricas, embora compostas por materiais predominantemente sintéticos, como o polipropileno (PP) e a poliamida (PA), tendem a aumentar a absorção de água do produto, isso pode limitar o emprego da argamassa e são necessárias investigações mais aprofundadas sobre métodos que reduzam a taxa de absorção do produto obtido;
- Há a necessidade de se trabalhar o empacotamento de grãos da mistura, diminuindo o índice de vazios no interior do compósito;
- Adotar métodos mais efetivos de corte que proporcionem uma maior padronização no tamanho das fibras pode melhorar as condições de resistência mecânica, uma vez que a não uniformidade no tamanho prejudica a interação fibra/matriz da argamassa.

Sendo assim, para possíveis continuidades deste trabalho sugere-se os seguintes desdobramentos para serem explorados:

- Investigação de outras fontes para fibras poliméricas reaproveitadas, bem como alternativas para corte e produção destas fibras;
- Análise das propriedades mecânicas, físicas e químicas em novos traços, para determinar teores ótimos para as adições das fibras com a exploração de variáveis diferentes;
- Desenvolver análises gráficas, via microscopia eletrônica de varredura (MEV), das argamassas produzidas com fibras poliméricas reaproveitadas e com traços direcionados para a aplicação de fibrocimentos;
- Avaliar o desempenho mecânico em corpos de prova com fibras de comprimentos maiores, investigando a influência da presença das fibras em maiores dimensões dos compósitos;

- Analisar a adição de fibras poliméricas reaproveitadas em matrizes de concretos e sua interação com os agregados graúdos e miúdos;
- Analisar as propriedades químicas, mecânicas e microestruturais de argamassas e concretos produzidos com fibras sintéticas reaproveitadas e outros aditivos promotores de resistência mecânica, de modo que se possa estudar o comportamento das fibras na presença de diferentes componentes deste tipo.

## REFERÊNCIAS

**Advice on the use of masks for children in the community in the context of COVID-19.** Disponível em: <[https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-IPC\\_Masks-Children-2020.1](https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-IPC_Masks-Children-2020.1)>. Acesso em 21 nov. 2023.

AKBAR, A.; FAROOQ, F.; SHAFIQUE, M.; ASLAM, F.; ALYOUSEF, R.; ALABDULJABBAR, H. Sugarcane bagasse ash-based engineered geopolymer mortar incorporating propylene fibers. **Journal of Building Engineering**, v. 33, p. 101492, jan. 2021. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101492>>.

ALBUQUERQUE, Thálya Lacerda; SANTANA, Dr. Claudemir G. Desperdício de material no canteiro de obras de médio porte em São Luís- MA na atualidade. **Revista do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável**. nº 9. Disponível em: <<https://bit.ly/2Zc9wbK>>. Acesso em: 22 mar. 2023.

ALMEIDA, C. D. DE, SANTOS, S. C., GOMES, F. B. R., & CASTRO, S. R. (2022). O cenário latino-americano da sustentabilidade na indústria da construção civil: revisão sistemática. **Revista AIDIS De Ingeniería Y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo Y práctica**, 15 (2), 872–895. DOI: <<https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.2.79936>>.

AMARAL, M.; MACIOSKI, G.; MEDEIROS, M.H.F. Atividade pozolânica da sílica ativa: análise em pastas cimentícias com diferentes teores de substituição. **Revista Matéria**, v. 26, n.3, 2021.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. PRC-234-06: **Guide for the Use of Silica Fume in Concrete** (Reapproved 2012). Detroit, 2006.

AMMENDOLIA, J.; SATURNO, J.; BROOKS, A. L.; JACOBS, S.; JAMBECK, J. R. An emerging source of plastic pollution: Environmental presence of plastic personal protective equipment (PPE) debris related to COVID-19 in a metropolitan city. **Environmental Pollution**, 2021, 269, 116160. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116160>>.

ANDRADE, D. G.; MACHADO, P. B.; CARVALHO, J. R. C. P. G. **Utilização de descarte de resíduos têxteis (poliamida/poliéster) como agregado em concreto.** In: I Congresso de Engenharia, Ciencia de Materiais e Inovação do Estado do Rio de Janeiro; 2015; Nova Friburgo-RJ: UERJ; 2015.  
ANDRADE, M. D.; SANTOS, P. C.; CORDEIRO, J.; ALVARENGA, C. A.; SANTOS, C. I. F.; CORDEIRO, J. L. Análise da destinação de resíduos sólidos industriais no Estado de Minas Gerais entre os anos de 2011 e 2016. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 3, p. e2383855, 21 dez. 2018. DOI: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i3.855>>.

ARAGAW, T. A. Surgical face masks as a potential source for microplastic pollution in the COVID-19 scenario. **Marine Pollution Bulletin**. 2020, 159, 111517. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111517>>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Dados gerais do setor.** Disponível em: <<http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em março de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Muito mais força para o setor e para o Brasil.** Disponível em: <<http://www.abit.org.br/cont/quemsomos>>. Acesso em março de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 7215 (2011): Cimento Portland-Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 7222 (2011). Compressão Diametral de Corpos-de-prova Cilíndricos – Método de Ensaio.** Brasil, ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 13276: argamassa para assentamento e revestimento: determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 15259: Argamassa e concretos: determinação da absorção de água por capilaridade.** Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 16616: Ensaio não destrutivo: ultrassom convencional.** Rio de Janeiro, ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial.** Rio de Janeiro, ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 9479: Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto.** Rio de Janeiro, ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro-RJ, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT) – **NBR 12653 - Materiais pozolânicos — Requisitos.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 13956-1 - Sílica ativa para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta - Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 15895 - Materiais pozolânicos - Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado - Método Chappelle modificado.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 5752 - Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – **NBR 5751 - Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias**. Rio de Janeiro, 2015.

BARBOSA, D. F. **Influência do óxido de grafeno em argamassas de cal hidráulica natural**. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Perfil de Construção, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.

BENLI, A. Mechanical and durability properties of self-compacting mortars containing binary and ternary mixes of fly ash and silica fume. **Structures of Concrete**, n. October 2018, pp. 1096-1108, 2019.

BENTUR, A.; MINDNESS, S. Fibre reinforced cementitious composites. **United Kingdom: Elsevier**, 2nd edition, 2007. 601p.

BLECK, D.; WETTBERG, W. Waste collection in developing countries—Tackling occupational safety and health hazards at their source. **Waste Management**. 2012, 32, 2009–2017. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.025>>.

BONEN, D., JOHNSON, T. J., & SARKAR, S. L. (1994). Characterization of principal clinker minerals by FT-Raman microspectroscopy. **Cement and Concrete Research**, 24(5), 959-965. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90016-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90016-7).

BOTAS, C.; ÁLVAREZ, P.; BLANCO, P.; GRANDA, M.; BLANCO, C.; SANTAMARÍA, R.; ROMASANTA, L. J.; VERDEJO, R.; LÓPEZ-MANCHADO, M. A.; MENÉNDEZ, R. Graphene materials with different structures prepared from the same graphite by the Hummers and Brodie methods. **Carbon**, v. 65, p. 156–164, dez. 2013. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.08.009>>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama n° 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 jul. 2002.

BUTTLER, A. M. **Concreto com agregados graúdos de concreto - influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003. DOI: <10.11606/D.18.2003.tde-06082003-172935>.

CAIRES, L. D. **Aplicação de óxido de grafeno reduzido em argamassa cimentícia para estudo de suas propriedades mecânicas**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências - Unesp. Bauru, 2019.

CARNEIRO, L.R.S., GARCIA, D.C.S., COSTA, M.C.F., et al. Evaluation of the pozzolanicity of nanostructured sol-gel silica and silica fume by electrical conductivity measurement, **Construction and Building Materials**, v. 160, pp. 252–257, 2018.

CHAPMAN, A. **Mistra Future Fashion – Review of Life Cycle Assessments of Clothing**. p. 32, 2010.

CHANG, K.-C., CHANG, C.-C., HUANG, Y.-C., CHEN, M.-H., LIN, F.-H., & LIN, C.-P. (2014). Effect of Tricalcium Aluminate on the Physicochemical Properties, Bioactivity, and Biocompatibility of Partially Stabilized Cements. **PLoS ONE**, 9(9), e106754. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106754>.

CHUA, C. K.; PUMERA, M. Chemical reduction of graphene oxide: a synthetic chemistry viewpoint. **Chemical Society reviews**, v. 43, n. 1, p. 291–312, 2014.

CINTRA, C. L. D.; PAIVA, A. E. M.; BALDO, J. B. Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus - Propriedades relevantes. **Cerâmica**, v. 60, p. 69–76, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0366-69132014000100010>.

CORINALDESI, V., MORICONI, G., NAIK, T. R. (2010), Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete, **Construction and Building Materials**, Volume 24, Issue 1, Pages 113-117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.013>.

CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na construção civil**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção. UFMG. Belo Horizonte, 2009.

CORSO, M.; BERTO, L. K.; ALBUQUERQUE, A. C. D.; OLIVEIRA, J. H.; FAVARO, S. L.; REZENDE, L. C. S. H. **Incorporação de óxido de grafeno em argamassa de revestimento: uma visão sustentável**. 1 mar. 2020.

COSTA, N.; JUNIOR, N. C.; LUNA, M.; SELIG, P.; ROCHA J. **Planejamento de programas de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: uma análise multivariada**. Scielo. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/2XwPtnJ>. Acesso em: 24 marc. 2023.

CRESPO, C.; IBARZ, G.; SÁENZ, C.; GONZALEZ, P.; ROCHE, S. Study of Recycling Potential of FFP2 Face Masks and Characterization of the Plastic Mix-Material Obtained. A Way of Reducing Waste in Times of Covid-19. **Waste and Biomass Valorization**, 31 maio 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01476-0>.

DE-LA-TORRE, G. E.; RAKIB, M. R. J.; PIZARRO-ORTEGA, C. I.; DIOSES-SALINAS, D. C. Occurrence of personal protective equipment (PPE) associated with the COVID-19 pandemic along the coast of Lima, Peru. **Science of The Total Environment**. 2021, 774, 145774. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145774>.

DIAMOND, S.; SAHU, S. Densified silica fume: particle sizes and dispersion in concrete. **Materials and Structures**, v. 39, n. 9, p. 849-859, 2006.

DIAS DE SOUZA, C., GONÇALVES DIAS DE SOUZA, N. L., GOMES BARBOSA, M. T., STEPHANI, R., & CAPPA DE OLIVEIRA, L. F. (2019). Investigation the sustainable additive influence, obtained from milk protein, in the chemical and

physical properties of Portland cement. **Composites Part B: Engineering**, 175, 107148. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107148>. DISSANAYAKE, D. G. K.; WEERASINGHE, D. U.; WIJESINGHE, K. A. P.; KALPAGE, K. M. D. M. P. Developing a compression moulded thermal insulation panel using post industrial textile waste. **Waste Management**, v. 79, p. 356–361, 2018.

DREYER, D. R.; PARK, S.; BIELAWSKI, C. W.; RUOFF, R. S. The chemistry of graphene oxide. **Chem. Soc. Rev.**, v. 39, n. 1, p. 228–240, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1039/B917103G>.

EDWARDS, R. S.; COLEMAN, K. S. Graphene synthesis: relationship to applications. **Nanoscale**, v. 5, n. 1, p. 38–51, 2013.

EL-SAYED, H. A., FARAG, A. B., KANDEEL, A. M., YOUNES, A. A., YOUSEF, M. M. Characteristics of the marble processing powder waste at Shaq El-Thoaban industrial area, Egypt, and its suitability for cement manufacture, **HBRC Journal**, 14:2, 171-179, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2016.06.002>.

EVANGELISTA, P. P. A.; COSTA, D. B.; ZANTA, V. M. Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 3. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://bit.ly/3C2QCIT>. Acesso em: 24 mar. 2023.

FANG, C.; LONG, W.; WEI, J.; XIAO, B.; YAN, C. **Effect of Graphene Oxide on Mechanical Properties of Recycled Mortar**. 1 dez. 2017. DOI: <10.1088/1757-899X/274/1/012144>.

FERNANDES, M. P. M.; FILHO, L. C. P. S. **Gestão de resíduos: construção e desconstrução de conceitos no canteiro de obras**. XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Canela, 2016.

FERREIRA, M. D.; COSTA, T. N.; TEIXEIRA, F. G.; JACQUES, J. J.; CATTANI, A. Redução de Resíduos Têxteis por Meio de Projeto de Produto de Moda. **Design & Tecnologia**, v. 10, p. 38–44, 2015.

FRÈRE, L.; MAIGNIEN, L.; CHALOPIN, M.; HUVET, A.; RINNERT, E.; MORRISON, H.; KERNINON, S.; CASSONE, A. L.; LAMBERT, C.; REVEILLAUD, J. Microplastic bacterial communities in the Bay of Brest: Influence of polymer type and size. **Marine Pollution Bulletin**. 2018, 242, 614–625. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112497>.

GAO, W. **The chemistry of graphene oxide. Graphene Oxide: Reduction Recipes, Spectroscopy, and Applications**, v. 39, n. 1, p. 61–95, 2015.

GHOLAMPOUR, A.; KIAMAHALLEH, M. V.; TRAN, D. N. H.; OZBAKKALOGLU, T.; LOSIC, D. Revealing the dependence of the physiochemical and mechanical properties of cement composites on graphene oxide concentration. **RSC Advances**, v. 7, n. 87, p. 55148–55156, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1039/C7RA10066C>.

HAQUE, M. S.; SHARIF, A. Processing and characterization of waste denim fiber reinforced polymer composites. **International Journal of Innovative Science and Modern Engineering (IJISME)**. 2014; 2(6):24-28.

HORSZCZARUK, E.; MIJOWSKA, E.; KALENCZUK, R. J.; ALEKSANDRZAK, M.; MIJOWSKA, S. Nanocomposite of cement/graphene oxide – Impact on hydration kinetics and Young's modulus. **Construction and Building Materials**. 78 (2015) 234-242. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.009>>.

IDEC - INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR. **Conheça e pratique os 7Rs do consumo sustentável**. 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/2Za1r7a>>. Acesso em: 03 marc. 2023.

IDREES, M. Comparative study of hybrid fiber cementitious composites. **Independent Journal of Management & Production**. 2020, 11, 1034–1049. DOI: <<https://doi.org/10.14807/ijmp.v11i3.1081>>.

IDREES, M.; AKBAR, A.; MOHAMED, A. M.; FATHI, D.; SAEED, F. Recycling of Waste Facial Masks as a Construction Material, a Step towards Sustainability. **Materials**, 2022, 15, 1810. DOI: <<https://doi.org/10.3390/ma15051810>>.

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>.

ISQUIERDO, I. S. **Utilização de pós residuais e fibra de sisal em blocos de concreto**. Tese de doutorado. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos; 2015.

JUENGER, M.C.G., SIDDIQUE, R. **Recent advances in understanding the role of supplementary cementitious materials in concrete**. DOI: 10.1016/j.cemconres.2015.03.018. *Cement and Concrete Research*, v. 78, pp. 71-80, 2015.

KARANI, R.; ZENG, Q.; ABDELHAKIM, A.; DIACONITA, V.; MOUSSA, O.; ZHOU, H.; SHARMA, T.; SNOW, Z.; KASSOTIS, A.; SOHAIL, M. Analysis of COVID-19 virus particles on surfaces in new york city. **Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.** 2021, 62, 1995.

KATZ, A.; KULISCH, D. Performance of mortars containing recycled fine aggregate from construction and demolition waste. **Materials and Structures**, v. 50, n. 199, 2017.

KHAN, M., ALI, M. Improvement in concrete behavior with fly ash, silica-fume and coconut fibres. **Construction and Building Materials**, v. 203, pp. 174-187, 2019.

KHAN, M., REHMAN, A., ALI, M. Efficiency of silica-fume content in plain and natural fiber reinforced concrete for concrete road. **Construction and Building Materials**, v. 244, pp. 1-12, 2020.

KIRKPATRICK, R. J., YARGER, J. L., MCMILLAN, P. F., PING, Y., & CONG, X. (1997). Raman spectroscopy of C-S-H, tobermorite, and jennite. **Advanced Cement Based Materials**, 5(3), 93-99. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1065-7355\(97\)00001-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1065-7355(97)00001-1).

KUDŽMA, A. *et al.* Study on the Effect of Graphene Oxide with Low Oxygen Content on Portland Cement Based Composites. **Materials**, v. 12, março 2019.

KUMAYAMA, R.; ALCÂNTARA, M. A. M.; CRUZ, W. S.; SEGANTINI, A. A. S. Estudo da viabilidade do emprego de pó de mármore para produção de concreto autoadensável e substituição parcial dos agregados por pérolas de Poliestireno Expandido EPS. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.10, n.2, 2015. DOI: <<https://doi.org/10.5216/reec.v10i2.33117>>.

LI, L. G., HUANG, Z. H., TAN, Y. P., KWAN, A. K. H., CHEN, H. Y. Recycling of marble dust as paste replacement for improving strength, microstructure and eco-friendliness of mortar, **Journal of Cleaner Production**, Volume 210, Pages 55-65, ISSN 0959-6526, DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.332>>.

LONG, W. J.; WEI, J. J.; MA, H.; XING, F. Dynamic mechanical properties, and microstructure of graphene oxide nanosheets reinforced cement composites. **Nanomaterials**, v. 7, n. 12, 2017.

LOPES, J. L. M. P.; BACARJI, E.; PAZINI, E. J.; RÊGO, J. H. S.; PEREIRA, A. C. Estudo do potencial de utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), como *filler*, para a produção de concretos. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG – COMPEEX, 3, 2006, Goiânia. **Anais eletrônicos do III SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFG [CD-ROM]**. Goiânia, UFG, 2006.

LOTHENBACH, B; SCRIVENER, K; HOOTON, R.D. Supplementary cementitious materials. **Cement and concrete research**, v. 41, n. 12, p. 1244-1256, 2011.

LU, L.; OUYANG, D. Properties of cement mortar and ultra-high strength concrete incorporating graphene oxide nanosheets. **Nanomaterials**, v. 7, p. 1-14, 2017.

LU, L.; OUYANG, D. Properties of Cement Mortar and Ultra-High Strength Concrete Incorporating Graphene Oxide Nanosheets. **Nanomaterials**, v. 7, julho 2017.

LUCENA, J. C. T. **Concreto reforçado com fibras de polipropileno: estudo de caso para aplicação em painel alveolar de parede fina**. Dissertação de mestrado. EESC-USP. São Carlos, 2017.

LUO, T., ZHOU, Y., WANG, Q. Influence of ultra-fine slag and silica fume on properties of high-strength concrete. **Magazine of Concrete Research**, v. 72, n. 12, pp. 610–621, 2020.

LUO, Z.; ZHU, X.; DENG, J.; GONG, K.; ZHU, X. High-value utilization of mask and heavy fraction of bio-oil: From hazardous waste to biochar, bio-oil, and graphene films. **Journal of Hazardous Materials**. 2021, 420, 126570. DOI: <10.1016/j.jhazmat.2021.126570>.

LV, S.; MA, Y.; QIU, C.; SUN, T.; LIU, J.; ZHOU, Q. Effect of graphene oxide nanosheets of microstructure and mechanical properties of cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 49, p. 121–127, dez. 2013. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.022>>.

LV, S.; TING, S.; LIU, J.; ZHOU, Q. Use of graphene oxide nanosheets to regulate the microstructure of hardened cement paste to increase its strength and toughness. **CrystEngComm**, v. 16, p. 8508–8516, 2014. DOI: <<https://doi.org/10.1039/C4CE00684D>>.

MALTA, J. O.; SILVA, V. S.; GONÇALVES, J. P. Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 1, n. 2, p. 176-188, 2013.

MARINHO, J. L. A. Tratamento de resíduos da construção civil: Parcerias e políticas públicas visando a sustentabilidade. **Meio Ambiente em Foco**, Volume 9, capítulo 04. Belo Horizonte - MG: Poisson, 2019.

MARTÍNEZ-RAMÍREZ, S., V. GARCIA-RAMOS, J., SANCHEZ-CORTES, S., DOMINGO, C., BLANCO-VARELA, M., & BLASCO, T. (2006). Evolution of ordinary Portland cement hydration with admixtures by spectroscopic techniques (Vol. 18). <https://doi.org/10.1680/adcr.2006.18.3.111>.

MARTINEZ-RAMIREZ, S., FRÍAS, M., & DOMINGO, C. (2006). Micro-Raman spectroscopy in white portland cement hydration: long-term study at room temperature. **Journal of Raman Spectroscopy**, 37(5), 555-561. <https://doi.org/doi:10.1002/jrs.1428>.

MENDES JUNIOR, B. O. Setor têxtil. **Caderno Setorial ETENE**, v. 2, n. 16, p. 1–18, 2017.

MENEGUCCI, F.; MERTELI, L.; CAMARGO, M.; VITO, M. **Resíduos têxteis: Análise sobre descarte e reaproveitamento nas indústrias de confecção**. Congresso Nacional de Excelência em Gestão, p. 12, 2015.

MEZECH, R. C. C.; FREITAS, A. P. M. Aproveitamento de resíduos de construção e demolição com foco na sustentabilidade. **Disciplinarum Scientia**. Série: Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 169-185, 2021. DOI: <<https://doi.org/10.37779/nt.v22i2.3925>>.

MOHAMMED, A.; SANJAYAN, J. G.; DUAN, W. H.; NAZARI, A. Incorporating graphene oxide in cement composites: A study of transport properties. **Construction and Building Materials**, v. 84, p. 341–347, jun. 2015. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.083>>.

MOHAN, H. T.; JAYANARAYANAN, K.; MINI, K. M. A sustainable approach for the utilization of PPE biomedical waste in the construction sector. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, 25 set. 2021. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.09.006>>.

MONTEIRO, V. S.; GOIS, W. N.; TENÓRIO, A. P. O.; BARBOSA, R. H. A.; SANTA RITA, A. E. C. Desenvolvimento Sustentável no Brasil. **Meio Ambiente em Foco** - Volume 9, Capítulo 02. Belo Horizonte - MG: Poisson, 2019.

MORENO, A., PONCE P., MÚZQUIZ, E., AVALOS, F. Resíduos de mármore em materiais de construção: uma revisão do uso do pó de mármore em argamassas, concreto e tijolos, **Revista ALCONPAT**, 12 (2), pp. 162 – 183, 2022. DOI: <<https://doi.org/10.21041/ra.v12i2.522>>.

MORIYAMA, M.; HUGENTOBLE, W.J.; IWASAKI, A. Seasonality of Respiratory Viral Infections. **Annual Review of Virology**. 2020, 7, 83–101. DOI: <<https://doi.org/10.1146/annurev-virology-012420-022445>>.

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>>.

NANDA, S. S.; PAPAETHYMIU, G. C.; YI, D. K. Functionalization of Graphene Oxide and its Biomedical Applications. **Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences**, v. 40, n. 5, p. 291–315, 2015.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, 2016. 888 p.

NEŽERKA, V., BÍLÝ, P., HRBEK, V., *et al.* Impact of silica fume, fly ash, and metakaolin on the thickness and strength of the ITZ in concrete, cement and concrete. **Composites**, v. 103, n. January, pp. 252-262, 2019.

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>.

OH, S. H., CHOI, S. Y., CHOI, S. H., LEE, Y. K., & KIM, K. N. (2004). The influence of lithium fluoride on in vitro biocompatibility and bioactivity of calcium aluminate–PMMA composite cement [journal article]. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, 15(1), 25-33. <https://doi.org/10.1023/B:JMSM.0000010094.94143.a9>.

OLIVEIRA, L. A. P.; ALVES, P. C. P.; DIAS, S. M. M. **Desempenho de Argamassas de Revestimentos com Incorporação de Fibras de Plásticos Reciclados**. 2005. Disponível em: <<https://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2025.pdf>>. Acesso em abril de 2023.

OLIVEIRA, M. L. L. **Influência da adição de fibras de polipropileno em argamassas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Santa

Catarina, 2001. Disponível em:

<<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82155>>. Acesso em abril de 2023.

OLIVEIRA, S.; SORANÇO, L.; PEREIRA, T.; GAMES, B.; FERREIRA, C.; BARBOSA, M. T. Estudo da adição de fibras de máscaras faciais N95, sílica ativa e pó de mármore em argamassa de alto desempenho. **Revista Matéria**. v. 28 n. 2. Rio de Janeiro, 2023. DOI: <<https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2023-0042>>.

OMS declara fim da Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional referente à COVID-19 - **OPAS/OMS | Organização Pan-Americana da Saúde**. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/noticias/5-5-2023-oms-declara-fim-da-emergencia-saude-publica-importancia-internacional-referente>>. Acesso em 10 de set. de 2023.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12: Consumo e produção responsáveis**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3m1JBfP>>. Acesso Em: 02 fev. 2023.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 02 fev. 2023.

PEREIRA, C. G.; MARTINS, A. I.; FARIA, P.; FRANGEIRO, R. **Avaliação da introdução de resíduo da indústria têxtil em argamassas**. In: 4º Congresso Português de Argamassas e ETISC (APFAC); Portugal; 2012.

PERINA, J. M.; TRANNIN, I. C. B. Proposta para aproveitamento de resíduos da construção civil gerados em canteiros de obras. **XL International Sodebras Congress**. Volume 14, no 59. Vitória. 2019.

PIETSCH, W. **Size enlargement by agglomeration**. In: Handbook of powder science & technology. Springer, Boston, MA, 1997. p. 202-377.

PINTO, J.; PEIXOTO, A.; VIEIRA, J.; FERNANDES, L.; MORAIS, J.; CUNHA, V. M. C. F.; VARUM, H. Render reinforced with textile threads. **Construction and Building Materials**, 118 v. 40, p. 26–32, 2013.

PINTO, T. de P.; GONZÁLEZ, J. L. R. Manejo e gestão de resíduos da construção civil. **Brasília: Caixa**, Volume 1, 2005. Disponível em: <<https://bit.ly/3ncPsOJ>>. Acesso em: 26 mar. 2023.

POTTS, J. R.; DREYER, D. R.; BIELAWSKI, C. W.; RUOFF, R. S. Graphene-based polymer nanocomposites. **Polymer**, v. 52, n. 1, p. 5–25, jan. 2011. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.polymer.2010.11.042>>.

RAHANGDALE, S., QURESHI, S. Study of Compressive Strength of Cemento Concrete with Stone and Marble Dust, **International Journal of Science and Research (IJSR)**, Vol. 8, No. 1, January 2019, Disponível em: <<https://www.ijsr.net/archive/v8i1/ART20194592.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2023.

RAKIB, M. R. J.; DE-LA-TORRE, G. E.; PIZARRO-ORTEGA, C. I.; DIOSES-SALINAS, D. C.; AL-NAHIAN, S. Personal protective equipment (PPE) pollution driven by the COVID-19 pandemic in Cox's Bazar, the longest natural beach in the world. *Mar. Marine Pollution Bulletin*. 2021, 169, 112497. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112497>>.

RAMANATHAN, S., MOON, H., CROLY, M., *et al.* Predicting the degree of reaction of supplementary cementitious materials in cementitious pastes using a pozzolanic test, *Construction and Building Materials*, v. 204, pp. 621–630, 2019.

RÊGO, J. H. S., ROJAS, M. F., TERRADES, A. M., *et al.* Effect of partial substitution of highly reactive mineral additions by Nanosilica in cement pastes, *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 31, n. 1, pp. 1-11, 2019.

REIS, A. S.; BUSSULAR, K. F. F.; GALVÃO, F. D. G.; SANTOS, A. P.; ASSIS, B. S. **Estudo da adição de resíduo de tecido em concreto**. Contribuição técnica ao 74º Congresso Anual da ABM – Internacional, parte integrante da ABM Week 2019, realizada de 01 a 03 de outubro de 2019, São Paulo, SP, Brasil.

REIS, J. M.L. Effect of textile waste on the mechanical properties of polymer concrete. *Materials Research*. 2009; 12(1): 63-67.

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>.

RICHTER, A.; NG, K. T. W.; VU, H. L.; KABIR, G. Waste disposal characteristics and data variability in a mid-sized Canadian city during COVID-19. *Waste Management*. 2021, 122, 49–54. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.01.004>>.

ROQUE, L. C.; SOUZA, V. A. F.; TOLEDO, R. F. Reutilização de sobras de piso da construção civil na perspectiva da sustentabilidade. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, v. 9, n. 4, p. 739-760, dez. 2020.

ROQUE, R. A. L.; PIERRI, A. C. Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. *Research, Society and Development*, v. 8, n. 2, p. e3482703, 1 jan. 2019. DOI: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i2.703>>.

ROSSIGNOLO, J. A. Avaliação da zona de transição interfacial pasta-agregado leve em concretos com sílica ativa e látex SBR, *Revista Matéria*, v. 12, n. 3, pp. 532–540, 2007.

ROSSONI, A. L. P.; ROSSONI, H. A. V.; RODRIGUES, A. B. Potencial reutilização dos resíduos provenientes da indústria de ferrossilício: revisão sistemática e aprofundada da literatura. v. 12 n. 10: *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* - Out 2021. DOI: <<https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0031>>.

SAHOO, K. K., SARKAR, P., DAVIS, R. Mechanical properties of silica fume concrete designed as per construction practice, *Proceedings of the Institute Civil Engineers - Construction Materials*, v. 172, n. 1, pp. 20–28, 2019.

SANGKHAM, S. Face mask and medical waste disposal during the novel COVID-19 pandemic in Asia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2020, 2, 100052. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100052>>.

SANJUÁN, M. Á., ARGIZ, C., GÁLVEZ, J. C., *et al.* Effect of silica fume fineness on the improvement of Portland cement strength performance, *Construction and Building Materials*, vol. 96, pp. 55–64, 2015.

SANTOS, F.; LUKIANTCHUKI, J.; ILDEFONSO, J. S.; CORDEIRO, J. R. **Avaliação do módulo de resiliência de misturas de solo, cal e resíduo de construção e demolição (RCD)**. 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 2019.

SANTOSH, S.; BHANUREKA, M. **Graphene based piezo resistive sensor fabrication and its characterization**. Second International Conference on Recent Advances in Science & Engineering. 2015.

SCRIVENER, K.; LOTHENBACH, B.; DE BELIE, N.; GRUYAERT, E.; SKIBSTED, J.; SNELLINGS, R.; VOLLPRACHT, A. TC 238-SCM: hydration and microstructure of concrete with SCMs. *Materials and Structures*, v. 48, n. 4, p. 835-862, 2015.

SHAH, R.; KAUSAR, A.; MUHAMMAD, B.; SHAH, S. Progression from Graphene and Graphene Oxide to High Performance Polymer-Based Nanocomposite: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, v. 54, n. 2, p. 173–183, 6 jan. 2015. DOI: <<https://doi.org/10.1080/03602559.2014.955202>>.

SHAMAILA, S.; SAJJAD, A. K. L.; IQBAL, A. Modifications in development of graphene oxide synthetic routes. *Chemical Engineering Journal*, v. 294, p. 458–477, 2016.

SHANG, Y.; ZHANG, D.; YANG, C.; LIU, Y.; LIU, Y. Effect of graphene oxide on the rheological properties of cement pastes. *Construction and Building Materials*, v. 96, p. 20–28, 15 out. 2015. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.181>>.

SINGH, M., CHOUDHARY, K., SRIVASTAVA, A., SANGWAN, K. S., BHUNIA, D. A study on environmental and economic impacts of using waste marble powder in concrete, *Journal of Building Engineering*, Volume 13, Pages 87-95, ISSN 2352-7102, <<https://doi.org/10.1016/j.job.2017.07.009>>.

SOUSA, C., SOUZA, N. L., ROSSE, V., DA SILVEIRA, P. H., & BARBOSA, M. T. (2021). Utilisation of dairy waste as a release agent and plastisizer for civil construction. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(6), 2074-2081. <https://doi.org/10.1080/19397038.2021.1966124>.

SOTO, N. T. A.; MACIOSKI, G.; HOPPE FILHO, J.; KLEIN, N. S. Caracterização físico-química da sílica ativa para aplicação como material cimentício suplementar. **Congresso de Construção Civil**. Brasília-DF, 2022.

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.

SUMAN, R.; JAVAID, M.; HALEEM, A.; VAISHYA, R.; BAHL, S.; NANDAN, D. Sustainability of Coronavirus on Different Surfaces. **Journal of Clinical and Experimental Hepatology**. 2020, 10, 386–390. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.jceh.2020.04.020>>.

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>>.

TOMOVSKA, E.; JORDEVA, S.; TRAJKOVIĆ, D.; ZAFIROVA, K. Attitudes towards managing post-industrial apparel cuttings waste. **The Journal of The Textile Institute**, p. 1–8, 2016.

TOUBAL SEGHIR, N., MELLAS, M., SADOWSKI, Ł., KROLICKA, A., ŻAK, A., OSTROWSKI, K. (2019), The Utilization of Waste Marble Dust as a Cement Replacement in Air-Cured Mortar. **Sustainability**, 11 (8), 22-15. DOI: <<https://doi.org/10.3390/su11082215>>.

TOUSSAINT, B.; RAFFAEL, B.; ANGERS-LOUSTAU, A.; GILLILAND, D.; KESTENS, V.; PETRILLO, M.; RIO-ECHEVARRIA, I. M.; Van den Eede, G. Review of micro-and nanoplastic contamination in the food chain. **Food Additives & Contaminants: Part A**, 2019, 36, 639–673. DOI: <<https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1583381>>.

WANG, X., HUANG, J., DAI, S., *et al.* Effect of silica fume particle dispersion and distribution on the performance of cementitious materials: A theoretical analysis of optimal sonication treatment time, **Construction and Building Materials**, v. 212, pp. 549–560, 2019.

WANG, Y., XIAO, J., ZHANG, J., DUAN, Z. Mechanical Behavior of Concrete Prepared with Waste Marble Powder. **Sustainability**, 14, 41-70. 2022. DOI: <<https://doi.org/10.3390/su14074170>>.

WANG, Z.; AN, C.; CHEN, X.; LEE, K.; ZHANG, B.; FENG, Q. Disposable masks release microplastics to the aqueous environment with exacerbation by natural weathering. **Journal of Hazardous Materials**. 2021, 417, 126036. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126036>>.

WRAP. **Valuing Our Clothes: the cost of UK fashion**. Wrap, p. 54, 2017.

YAMANEL, K., DURAK, U., İLKENTAPAR, S., ATABEY, İSMAIL İSA, KARAHAN, O., DURAN, C. Influence of waste marble powder as a replacement of cement on the properties of mortar. **Revista de la Construcción**. 18(2), 290–300. DOI: <<https://doi.org/10.7764/RDLC.18.2.290>>.

YANG, H.; MONASTERIO, M.; ZHENG, D.; CUI, H.; TANG, W.; BAO, X.; CHEN, X. Effects of nano silica on the properties of cement-based materials: a comprehensive review. **Construction and Building Materials**, v. 282, p. 122715, 2021.

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>.

ZEULE, L.; SERRA, S. **Boas Práticas de Sustentabilidade em Canteiros de Obras**. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/3vxXg17>>. Acesso em 24 abril de 2023.  
ZHOU, C.; LI, F.; HU, J.; REN, M.; WEI, J.; YU, Q. **Enhanced mechanical properties of cement paste by hybrid graphene oxide/carbon nanotubes**. v. 134, p. 336–345, 1 mar. 2017. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.147>>.

ZONATTI, W. F.; AMARAL, M. C.; GASI, F.; BARUQUE-RAMOS, J.; DULEBA, W. Reciclagem de resíduos do setor têxtil e confeccionista no Brasil: panorama e ações relacionadas. **Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 3, p. 50–69, 2015.