

# **UTILIZAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO EM CONCRETO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL<sup>1</sup>**

André Rahuan Sogayar – andré.sogayar@hotmail.com

Luana Inez Ribeiro Dias – luanairdias@gmail.com

Mylena Cattani Pereira – mylenacattani@gmail.com

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Roberta Nunes Attili Franzin (Orientador) – roberta.franzin@mackenzie.br

## **RESUMO**

Os resíduos de obras e demolição na construção civil possuem grande potencial para serem reciclados como agregados na produção de concreto, quando comparados com outros resíduos. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência da adição de Óxido de Grafeno (GO) na resistência do concreto com o reaproveitamento de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Foi desenvolvido um estudo experimental visando avaliar as propriedades físicas dos agregados e as propriedades mecânicas de quatro traços de concretos, sendo eles: a referência estabelecida como concreto convencional, o referencial com GO, o concreto reciclado, com a substituição dos agregados naturais por RCD, e concreto reciclado com RCD e GO. Os traços com GO foram produzidos com a adição de 0,03% do óxido, em relação ao consumo total de cimento. Para todos os traços foram determinadas as massas específicas, o índice de absorção de água e a resistência mecânica à compressão. Os quatro traços atingiram, aos 28 dias, a resistência mínima de 20 MPa definida em norma para concreto estrutural. No entanto, observou-se que a resistência do concreto reciclado não aumentou com o teor de GO utilizado neste trabalho.

Palavras-chave: Resíduo de construção. Óxido de grafeno. Concreto.

## **THE USE OF GRAPHENE OXIDE IN CONCRETE INCLUDING CIVIL CONSTRUCTION RESIDUES**

### **ABSTRACT**

Construction and demolition residues on civil constructions, have great recycling potential as aggregates in concrete production when compared to other kinds of waste. This research's objective is to evaluate the influence of Graphene Oxide (GO) added on the reuse of Construction and Demolition Residues (CDR) in the concrete manufacturing. Experimental studies were developed to evaluate the aggregate's physical properties and later the mechanical properties obtained by four different concrete traces, being: reference established as conventional concrete, referential trace with

---

<sup>1</sup> Artigo do Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Civil, EE, UPM, São Paulo, 2021.

GO, recycled concrete, replacing the natural aggregate by CDR, and recycled concrete with CDR and GO. The traces with GO was produced adding 0,03% of GO regarding the total cement consumption. For all traces it was determined the specific masses, absorption index and mechanical resistance to compression. All four traces reached, at 28 days, the minimum resistance defined as standard, 20 MPa, to be considered for structural use. However, it was observed that the recycled concrete's resistance did not increase with the concentration of GO used in this research.

Keywords: Construction residue. Graphene Oxide. Concrete.

## 1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade, um tema relevante na conjuntura mundial atual, proporciona um grande desafio para a sociedade e, principalmente para o setor da construção civil, uma vez que a quantidade e o mau direcionamento do descarte de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), resultantes de obras, reformas, demolições e construções em geral, possuem volumes e impactos ambientais diretamente proporcionais. De acordo com Buttler (2007), a quantidade de RCD gerada em um município brasileiro pode variar de 54% a 70% do total de resíduos sólidos urbanos.

O desafio se torna ainda maior quando se aborda a questão da poluição causada pela indústria cimenteira e da exploração dos recursos naturais, responsável por 90% da perda da biodiversidade e estresse hídrico no país, segundo a Associação Mineira de Defesa do Meio Ambiente (AMDA, 2019). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2021), a construção civil é responsável por cerca de 50 % da exploração dos recursos naturais para uso como agregado.

Com a finalidade de se minimizar os impactos ambientais gerados por esse setor, a Resolução nº 307 publicada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2002) estabelece diretrizes aos municípios, para a gestão dos resíduos sólidos gerados pela construção civil, classificando-os e estabelecendo responsabilidades aos agentes do processo, desde sua geração até a destinação adequada. A resolução define como principal objetivo a não geração ou redução dos resíduos, reutilização, reciclagem e, na impossibilidade desses, o descarte apropriado.

No país, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é regulamentada pela Lei nº 12.305 sancionada em 2010 (BRASIL, 2010) e revisada em 2012 (BRASIL,2012), tem como objetivo estabelecer diretrizes e ações que devem ser adotadas por municípios, estados e união de forma integrada para a gestão e tratamento dos resíduos sólidos, de forma geral.

Diante do cenário pouco sustentável provocado pela indústria da construção civil, faz-se necessário criar tecnologias e novos materiais que possam ser produzidos com agregados reciclados para mitigar a exploração dos recursos naturais e controlar o ecossistema e, ainda, contribuir com a economia, a partir de processos de logística reversa promovidos por uma cadeia de reciclagem no setor.

Considerando tais premissas, o Resíduo de Construção e Demolição (RCD), como material reciclado, pode ser uma opção vantajosa e de alto valor agregado nos âmbitos tecnológico, ambiental e econômico.

Alguns estudos com concretos, nos quais agregados naturais são substituídos por agregados reciclados, mostram confiabilidade técnica e apresentam grande potencial na fabricação de concretos, argamassas e elementos de alvenaria, além da otimização da matéria-prima com a redução dos custos em várias etapas do processo construtivo, com a reutilização na mesma atividade, agilidade da obtenção dos componentes e aumento da produtividade (PAULA, 2010).

Esses estudos contemplam relevância ambiental, uma vez que viabilizar a utilização de resíduos de construção e demolição na produção de concreto é uma maneira ambientalmente correta de ajustar-se à Resolução e ao PNRS, e agregar valor a um material pouco reconhecido em sua utilidade secundária.

No entanto, algumas pesquisas apontam que a adição de RCD no concreto modifica suas características físicas e mecânicas, comprometendo sua resistência e, portanto, inviabilizando sua utilização para fins estruturais com base nas normas utilizadas. Buscando viabilizar a utilização dos materiais reciclados no concreto para que possa ser usado de forma estrutural, o óxido de grafeno (GO), que ainda é um material pouco aplicado na construção civil, e que segundo estudos, a serem contemplados neste artigo, provoca aumento da resistência do concreto, pode ser uma alternativa para solucionar a questão do concreto reciclado.

Vale ressaltar que a literatura sobre o tema é escassa, sendo necessário ampliar as pesquisas, uma vez que o uso do RCD com GO pode vir a ser uma alternativa sustentável para a questão de desperdício e acúmulo de materiais de alta potencialidade na construção civil.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento mecânico de um traço de concreto produzido com RCD combinado com o uso de óxido de grafeno para verificar a viabilidade de se utilizar esse traço para fins estruturais.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

Nos dias de hoje, o concreto tem uma vasta utilidade e é o material construtivo mais consumido do mundo. Sua composição convencional é formada por cimento Portland, agregados convencionais (brita e areia) e água. Entretanto, novos compostos vêm sendo estudados a fim de substituir os materiais convencionais por reciclados.

Conforme a resolução CONAMA, BRASIL nº307/2002 os RCDs são definidos entre os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, comumente chamados de entulhos de obras.

Segundo a Resolução, esses materiais podem ser separados em função de sua severidade e atividade dos resíduos, sendo divididos nas seguintes classes: Classe A - resíduos reutilizáveis ou recicláveis oriundos de construção, demolição ou reformas, tais como: reparos de pavimentação, demolição de peças pré-moldadas, e componentes cerâmicos; Classe B - resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plástico, papel, vidro, metal e madeira; Classe C - resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias aplicações economicamente viáveis que permitam a sua recuperação; e por fim, a Classe D, que são os resíduos perigosos oriundos dos processos de construção tais como: tintas solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde.

Sabe-se que a origem e composição dos resíduos utilizados em concreto são de imensa importância para as propriedades do produto. Quanto mais nobre, ou seja, materiais com confiabilidade, de origem conhecida como resíduos de pré-moldados, melhor seu comportamento em meio aos componentes do concreto o que aumenta sua resistência (FERNANDES, 2016).

As pesquisas sobre o uso de resíduos sólidos na construção civil com a utilização de agregados reciclados têm sido realizadas há alguns anos, comparando o concreto produzido com o agregado reciclado com o concreto produzido com o agregado natural.

Leite (2001) estudou as propriedades mecânicas do concreto produzido com RCD, analisando as variações ligadas a relação água/cimento, ao consumo de aglomerantes, à variabilidade na composição e a outras características físico-químicas dos agregados. O autor mostra que a resistência à compressão de concretos com entulho é aproximadamente 20% menor que a do concreto convencional nos traços avaliados.

Com o objetivo de verificar a viabilidade de utilização do concreto com RCD, Vieira e Molin (2003) realizaram ensaios de resistência a compressão a 28 dias em corpos de prova com diferentes relações água/cimento e percentuais de substituição de agregados naturais (miúdos e graúdos) por agregados reciclados. O traço de concreto com relação água/cimento 0,8 e substituição de 50% dos agregados graúdos e 100% dos agregados miúdos obteve melhor desempenho, sem perda de resistência em relação aos demais. Aliás, o traço apresentou um aumento de 56% na resistência, em comparação com o traço composto por 100% dos agregados naturais. Desta forma, os resultados indicam que, até certos percentuais de substituição dos agregados naturais por agregados reciclados, a substituição é viável tecnicamente, apesar da relação água/cimento (0,8) estar acima do permitido de acordo com a norma ABNT NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

Apesar de existirem estudos que comprovam a menor eficiência na utilização de agregados reciclados em concreto, há estudos que comprovam a viabilidade da utilização dos agregados provenientes da reciclagem, ainda que para fins não estruturais (CARNEIRO, 2005).

De forma geral, as principais características do concreto produzido com agregado proveniente dos RCDs, em relação ao concreto convencional são: redução da massa específica, menor trabalhabilidade, maior porosidade e absorção de água, e diminuição da resistência à compressão, se comparado aos concretos produzidos com agregados naturais (BASTOS, CRUZ e WOELFFEL, 2016).

Cabral (2007) concluiu em seus estudos com RCD, que a resistência dos concretos produzidos com agregado reciclado pode chegar a ser 45% inferior em relação aos concretos convencionais, o que se deve à qualidade do material em função de sua origem e de como foi processado (britagem, separação, lavagem etc.). Ainda segundo o autor, pode-se reduzir a porosidade do agregado reciclado durante a rebritagem.

Outra forma de se reduzir a porosidade do concreto, e conseqüentemente a absorção de água, é utilizar o pó de pedra, comumente de origem basáltica, com aproximadamente 50% de sílica em sua composição química. O pó de pedra como agregado fino, adicionado em percentual que varia de 20% a 50% do agregado total, incrementando a solução em termos de coesão, faz com que o material apresente um aspecto mais uniforme e compacto, conforme Fernandes (2016).

A fim de melhorar ainda mais as propriedades do concreto com agregado reciclado, o óxido de grafeno (GO) surge como alternativa para o aumento da sua resistência. O GO é um material com grande potencial no meio da construção civil devido às suas características atômicas, as quais lhe conferem propriedades tais como isolamento térmico e elétrico, transparência, alta resistência, impermeabilidade e flexibilidade (DREYER *et al.*, 2010). Sua utilização no meio da indústria civil tem como principal função, melhorias nas estruturas das obras de construção civil, aumentando a resistência do material e possui grande aplicabilidade em diversas áreas da ciência e engenharia (ANDRADE, 2017).

O óxido de grafeno (GO) é um nanomaterial advindo do grafite, descoberto em 1859, formado por camadas de átomos de carbono ligados em forma hexagonal ramificado principalmente com oxigênio e hidrogênio (MOREIRA, 2018). É um material hidrofílico, portanto solúvel em água e capaz de formar compósitos com o cimento com potencial de aumento de resistência final.

A polaridade do GO faz com que seja possível dispersar o material em solventes polares como a água, e que possui ainda notáveis propriedades mecânicas: módulo de elasticidade entre 23 e 42 GPa, resistência à tração de 130 MPa e área superficial entre 700 e 1500 m<sup>2</sup>/g (CHUAH, 2014). A obtenção do óxido de grafeno se dá a partir da oxidação do grafite, e posterior esfoliação do produto. O processo desenvolvido para obter óxido de grafeno como usado nos dias de hoje foi desenvolvido no ano de 1958 por Hummers e Offerman (1958).

Ainda, segundo Moreira (2018), o concreto combinado com o GO apresentou aumento de 42,5% na resistência à compressão. Estes resultados tornam as perspectivas sobre a utilidade do concreto combinado com o óxido de grafeno ainda mais otimistas.

A literatura sobre estudos de concreto com grafeno ainda é escassa e incipiente, e, por essa razão, se faz necessário que mais pesquisas relacionadas ao tema sejam desenvolvidas.

### **3. METODOLOGIA**

Esse trabalho foi desenvolvido, por meio de pesquisa experimental, com o objetivo de se avaliar as propriedades físicas e mecânicas de um traço de concreto produzido com RCD e óxido de grafeno (GO).

O RCD, composto por resíduo Classe A, foi obtido por meio de doação de uma empresa de reciclagem de entulho do município de Guarulhos. O óxido de grafeno foi adquirido no Centro de Tecnologia em Nanomateriais e Grafeno da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

O GO utilizado tem número de camadas entre 1 e 10, com número médio igual a 3, dimensões laterais de aproximadamente 5  $\mu\text{m}$  e grau de oxidação de aproximadamente 40% em massa, disposto através de solução aquosa 2g/L. A concentração utilizada nos traços de concreto produzidos neste trabalho foi de 0,03% em relação ao consumo total de cimento.

Essa proporção é próxima da quantidade ideal de GO a ser utilizado em concreto, de acordo com Moreira (2018), que indica que para concentrações superiores, a eficácia do material e sua propriedade de aumentar a resistência do concreto diminui, devido ao fato do GO em grandes quantidades se tornar apenas grafite, não contribuindo para o aumento da resistência do material. Em quantidades inferiores, de acordo com o autor, a adição de GO é ineficaz.

Para os agregados naturais e reciclados foram realizados os ensaios de granulometria, de acordo com a norma ABNT NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), e da massa unitária de acordo com a ABNT NBR 16972 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

Foram produzidos quatro traços de concreto, sendo eles um traço de controle, para referência, produzido de forma convencional sem o uso do RCD e GO (traço 1), um traço produzido como o de referência, mas com a adição do GO na proporção de 0,03% da massa do cimento (traço 2), um traço com a substituição de 100% do agregado natural gráudo e miúdo pelo RCD (traço 3), e, por fim, um traço com o RCD e GO (traço 4) nas mesmas proporções citadas. Para todos os traços foi utilizado cimento Portland V-ARI (CP V-ARI) devido a sua pureza, o que faz com que ele seja o mais adequado para a avaliação do comportamento do GO e do RCD no concreto.

As dosagens dos traços foram: traço 1 (traço base) 1:1,5:2,0:0,65, sendo respectivamente cimento, areia, brita e água; traço 2 (traço referencial com adição de GO) 1:1,5:2,0:0,65:0,03%, sendo

respectivamente cimento, areia, brita, água e óxido de grafeno; traço 3 (traço reciclado com RCD) 1:4:0,65, sendo respectivamente cimento, agregados reciclados e água; e traço 4 (traço reciclado com GO) 1:4:0,65:0,03%, sendo respectivamente cimento, agregados reciclados, água e óxidos de grafeno. A Tabela 1 mostra a composição e quantidade de material dos traços estudados.

Tabela 1 – Composição e quantidade de material dos traços estudados

Material	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4
<b>Cimento CPV ARI (kg)</b>	6,59	6,59	6,59	6,59
<b>Areia (kg)</b>	9,89	9,89	-	-
<b>Areia RCD (kg)</b>	-	-	9,89	9,89
<b>Brita (kg)</b>	13,18	13,18	-	-
<b>Brita RCD (kg)</b>	-	-	13,18	13,18
<b>Pó (kg)</b>	-	-	3,30	3,30
<b>Água (L)</b>	3,78	2,78	4,28	3,28
<b>Óxido de Grafeno (L)</b>	-	1,00	-	1,00
<b>Consumo de Cimento (kg/L)</b>	0,43	0,43	0,38	0,38

Fonte: Os autores (2021).

Para homogeneização das massas de concreto, foi utilizada uma betoneira, modelo BL 100, e os componentes do concreto foram dispostos na ordem: agregados graúdos, água, cimento e por último os agregados miúdos. O GO, na forma de solução aquosa, foi misturado à água incorporada no traço.

Para os quatro traços de concreto no estado fresco foi avaliada a trabalhabilidade, por meio do ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump Test*) (Fotografia 1), conforme a norma ABNT NBR 16889 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020). Também, foi determinada a massa específica como definido na ABNT NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

Fotografia 1 – Ensaio de abatimento do tronco de cone – *Slump Test*.



Fontes: Acervo pessoal (2021)

Para a análise das propriedades físicas e mecânicas do concreto no estado endurecido, foram moldados 28 corpos de prova (7 corpos de prova para cada traço), com dimensões de 10 cm de

diâmetro e 20 cm de altura, de acordo com a norma ABNT NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015). Para fins de cura, todos os corpos de prova permaneceram em câmara úmida, com umidade relativa de 95%, até as datas de ruptura.

Executou-se aos 28 dias de cura, os ensaios de absorção de água, seguindo a norma ABNT NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009) e os ensaios de ultrassom (Fotografia 2) para análise da homogeneidade do concreto, conforme a norma ABNT NBR 8802 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Já a resistência à compressão foi feita para os CPs nas idades de 7, 14 e 28 dias; de acordo com a norma ABNT NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

Fotografia 2 – Ensaio de ultrassonografia microscópica.



Fontes: Acervo pessoal (2021)

Foram utilizados 2 corpos de prova para os ensaios de compressão, em cada uma das idades, e 1 corpo de prova para o ensaio de ultrassom e de absorção de água aos 28 dias, para cada traço.

Para a realização dos ensaios de compressão axial (Figura 3), os corpos de prova foram submetidos a um processo de retificação para nivelamento das bases, a fim de evitar rompimentos antecipados e erros na determinação da resistência. O processo de retificação é realizado através da retificadora da marca COTENCO, modelo I 3064, na qual os corpos-de-prova são submetidos a esforços compressivos com velocidade de carregamento de 0,300 a 0,800 ( $\pm 0,001$ ) MPa/s de acordo com a norma ABNT NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018). A tensão máxima ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ ), considerada para os rompimentos é dada pela Equação 1:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F}{S} \quad (1)$$

em que:

$\sigma_{m\acute{a}x}$  = tensão de ruptura à compressão (MPa);

F = carga total de ruptura (kN);

S = área de aplicação da carga (m<sup>2</sup>).



Fotografia 3 – Ensaio de compressão à resistência pela Máquina Universal de Ensaio modelo Amsler.



Fontes: Acervo pessoal (2021)

O ensaio de absorção para os corpos de prova de cada traço foi realizado da seguinte maneira: os corpos de prova foram retirados da câmara úmida e o excesso de água foi eliminado, para a medida das massas saturadas ( $m_{sat}$ ); posteriormente eles foram mantidos em estufa por 24 horas e em temperatura acima de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , para que fossem medidas as massas secas ( $m_s$ ). A estufa utilizada foi da marca SOLAB, modelo SL-102, capacidade de 1000 L e temperatura máxima de  $200^\circ\text{C}$ , com circulação e renovação de ar.

O teor de absorção de água foi determinado pela Equação 2:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

em que:

A = teor de absorção de água (%);

$M_{sat}$  = massa da amostra saturada em água;

$M_s$  = massa da amostra seca em estufa.

Por fim, foi realizado o ensaio de microscopia óptica, a fim de complementar o estudo da homogeneidade dos traços de concreto estudados. Este ensaio serve para avaliar a dispersão e a distribuição das partículas da superfície da amostra, através das imagens observadas por microscópio óptico (Olympus). As amostras utilizadas no ensaio foram os corpos de prova rompidos na idade de 28 dias.

Todos os ensaios foram realizados nos laboratórios da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios realizados para a caracterização física dos agregados e para a avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova de concreto, sem e com a adição do RCD e do GO, além da discussão.

Os resultados obtidos dos ensaios granulométricos dos agregados graúdo e miúdo, exibidos respectivamente, nas tabelas 2 e 3, possibilitaram a caracterização completa dos agregados estudados com o objetivo de validar a substituição dos elementos de referência pelos materiais reciclados.

Tabela 2 – Resultados do Ensaio de Granulometria do Agregado Graúdo

Nº	Peneira (Mesh)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)		Massa Retida Acumulada (g)	
			Reciclado	Natural	Reciclado	Natural
1	1	25,000	460,000	10,000	460,000	10,000
2	3/4	19,000	740,000	195,000	1200,000	205,000
3	1/2	12,500	630,000	1320,000	1830,000	1525,000
4	3/8	9,500	90,000	330,000	1920,000	1855,000
5	1/4	6,300	20,000	130,000	1940,000	1985,000
6	Fundo	-	60,000	15,000	2000,000	2000,000

Fonte: Os autores (2021)

Tabela 3 – Resultados do Ensaio de Granulometria do Agregado Miúdo

Nº	Peneira (Mesh)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)		Massa Retida Acumulada (g)	
			Reciclado	Natural	Reciclado	Natural
1	4	4,750	69,155	1,545	69,155	1,545
2	8	2,360	106,000	10,815	175,155	12,360
3	16	1,180	67,630	39,460	242,785	51,820
4	30	0,600	57,940	117,610	300,725	169,430
5	50	0,300	70,360	207,755	371,085	377,185
6	100	0,150	77,395	97,295	448,480	474,480
7	Fundo	-	51,270	24,740	499,750	499,220

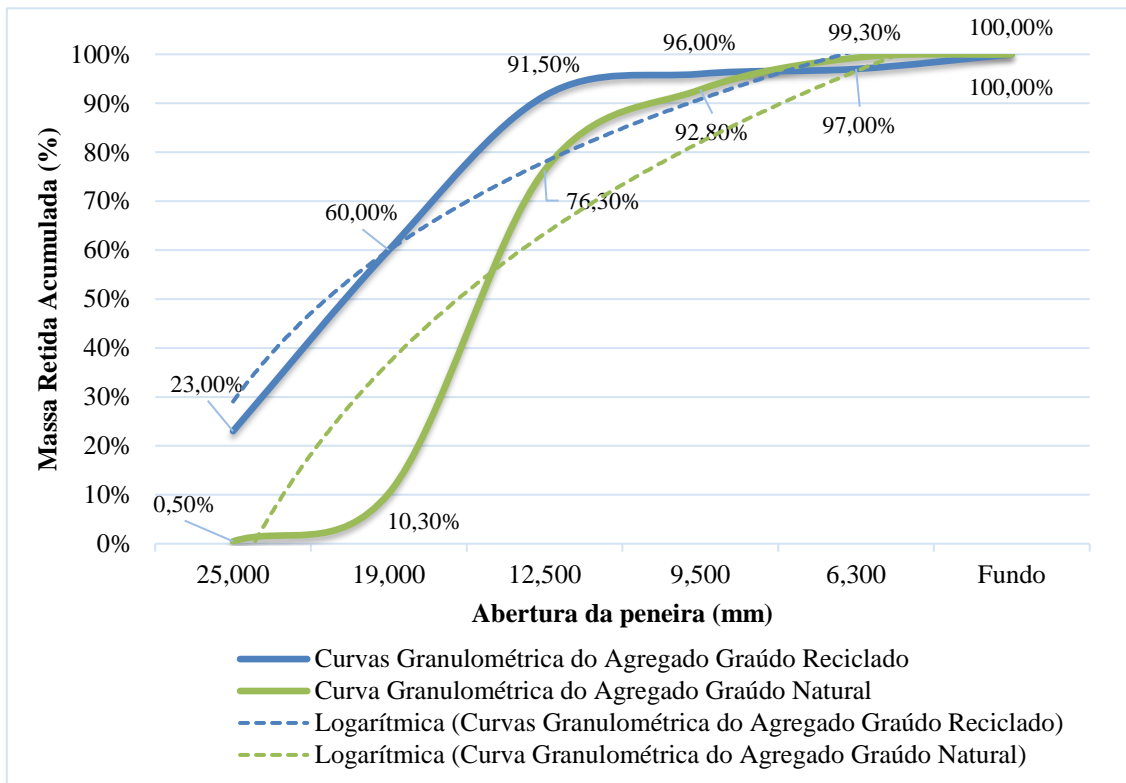
Fonte: Os autores (2021)

Através das tabelas, é possível evidenciar as diferenças entre as parcelas de partículas retidas nas peneiras de maiores aberturas para cada tipo de agregado, devido à heterogeneidade do material reciclado, uma vez que a variação das dimensões dos seus constituintes é alta, já excluindo-se a frações de contaminantes (plásticos, telhas de fibrocimento e entre outros). Destaca-se uma diminuição de massa em relação aos valores iniciais, 2000 g e 500 g, para os respectivos agregados graúdos e miúdos, como uma possível perda, pouca significativa, de sedimentos durante os processos de peneiramento.

A partir da quantidade de massa retida em cada abertura de malha deste processo, elaborou-se a curva granulométrica dos agregados graúdos e miúdos e analisou-se o comportamento de

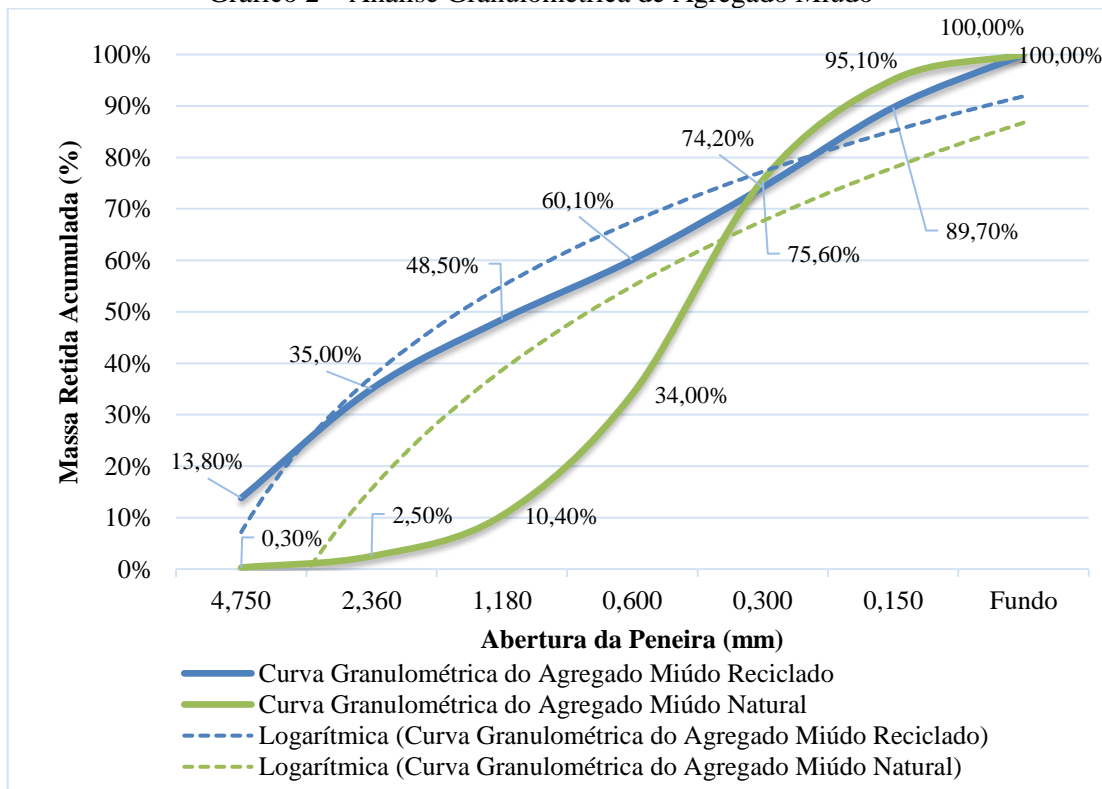
tendência dessa distribuição por projeções logarítmicas, de acordo com as taxas de variação dos dados (Gráficos 1 e 2).

Gráfico 1 – Análise Granulométrica Agregado Graúdo



Fonte: Os autores (2021)

Gráfico 2 – Análise Granulométrica de Agregado Miúdo



Fonte: Os autores (2021)

Atuando de forma esperada, obteve-se um diâmetro nominal maior para o agregado graúdo reciclado em relação ao natural, uma vez que as características físicas da brita é mais padronizada em relação aos componentes do RCD devido à trituração dos resíduos classe A. Então, determinou-se o diâmetro de 25,000 mm para o agregado graúdo natural, enquanto para o reciclado foi de 31,500 mm. Os agregados miúdos também se comportaram desta forma, cujos valores obtidos para a o material natural e reciclado foram, respectivamente, 2,360 mm e 3,213 mm.

Esta análise relaciona-se diretamente com o módulo de finura (MF) do agregado, definido como a soma das percentagens de massas acumuladas retidas nas peneiras da série normal, dividido por 100. Os resultados obtidos deste indicador para o agregado graúdo natural e reciclado foram, respectivamente, 6,989 mm e 7,380 mm, à medida que o agregado miúdo natural e reciclado, apresentaram os respectivos valores, 2,179 mm e 3,213 mm.

Pode-se citar como exemplo, o trecho em que aproximadamente 49% do agregado miúdo reciclado foi retido na peneira de abertura 1,180 mm em comparação com apenas do 10% da areia natural. Desta forma, salienta-se a presença mais expressiva de componentes com maiores proporções no agregado reciclado, evidenciando a homogeneidade do agregado natural quando comparado a este, uma vez que a continuidade granulométrica do material consiste na tendência de as partículas serem de dimensões próximas.

A Tabela 4 exhibe as massas unitárias dos agregados determinados experimentalmente para a identificação da quantidade de vazios entre os grãos, e por consequência, intensidade da absorção. A alta presença de vazios nos materiais reciclados, ocasionados pela dificuldade de empacotamento destes com os demais componentes do concreto, resultaram em baixos valores em relação aos outros.

Tabela 4 – Massa unitária dos agregados

<b>Tipo de agregado</b>	<b>Massa Unitária (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Brita RCD	1,13
Brita Natural <sup>1</sup>	1,48
Areia média natural	1,41
Areia média RCD	1,30

<sup>1</sup> ABNT NBR 16972 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021)

Fonte: Os autores (2021).

A Tabela 5 mostra os resultados da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone, sendo possível observar que o traço com adição de RCD e GO possui pouca fluidez, baixa capacidade de deformação e pouco teor de água, indicando uma trabalhabilidade baixa, resultante das propriedades geométricas e físicas do material reciclado. A forma heterogênea e angular do agregado reciclado, a textura rugosa e a alta absorção de água, ocasionam maior dificuldade de associação com

os outros componentes da mistura. O óxido de grafeno por ser um bom reagente em relação as moléculas de água, diminuiu a absorção de água, porém de forma menos expressiva em relação ao RCD, resultando em menor trabalhabilidade e fluidez.

Tabela 5 – Resultados da consistência do concreto (Slump Test)

<b>Traço de Concreto</b>	<b>Slump (+-0,1 cm)</b>
Traço 1 (Concreto com RCD e OG)	1,8
Traço 2 (Concreto com RCD)	2,2
Traço 3 (Concreto com OG)	15,5
Traço 4 (Concreto Convencional)	20,2

Fonte: Os autores (2021).

Os resultados mostrados para a consistência estão de acordo com os valores estabelecidos na norma ABNT NBR 8953 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015). Entretanto, os valores se aplicam para finalidades distintas. Os traços 3 e 4 são classificadas como bons para o concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado (classe S10), e os traços 1 e 2 atendem os valores necessários para elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto (classe S160).

A massa específica é outro parâmetro importante para a classificação dos concretos, visto que os produtos se associam com a absorção de água e índice de vazios, influenciando diretamente na resistência. Na Tabela 6 encontram-se as massas específicas dos quatro traços, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido do concreto. A diminuição dos valores no estado endurecido é justificada pelo consumo de água no processo de hidratação do cimento, como representado na Tabela 6

Tabela 6 – Massa específica do concreto

<b>Traço de Concreto</b>	<b>Massa Específica</b>	<b>Massa Específica</b>
	<b>Estado Endurecido</b>	<b>Estado Fresco</b>
	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
Traço 1 (Concreto Convencional)	2195	2226
Traço 2 (Concreto Referencial com GO)	2266	2223
Traço 3 (Concreto com RCD)	2155	2187
Traço 4 (Concreto com RCD e GO)	2091	2173

Fonte: Os autores (2021).

Os resultados atingidos acentuaram a diferença entre o volume de material reciclado e do agregado natural, cuja menor massa específica, ocasiona uma maior quantidade de cimento para um mesmo traço, tornando-os menos vantajosos economicamente em relação ao concreto de referência.

Os resultados dos ensaios de absorção comprovam que o traço com a adição de RCD (traço 3) apresentou uma maior retenção de água, devido a granulometria menos contínua e mais porosa desse agregado, provocando uma maior absorção do que aquela observada para os traços produzidos

com agregado natural (traços 1 e 2). No entanto, a adição do GO ao concreto com RCD (traço 4) provocou uma redução do nível de penetração de água, provavelmente devido a redução dos poros capilares.

Tabela 7 – Resultados do Ensaio de Absorção de Água

<b>Traço de Concreto</b>	<b>Massa Seca (± 0,01) kg</b>	<b>Massa úmida (± 0,01) kg</b>	<b>Absorção (%)</b>
Traço 1 (Concreto Convencional)	3,372	3,383	0,39%
Traço 2 (Concreto Referencial com GO)	3,501	3,501	0,03%
Traço 3 (Concreto com RCD)	3,358	3,512	4,59%
Traço 4 (Concreto com RCD e GO)	3,257	3,319	1,90%

Fonte: Os autores (2021).

A relação entre água/cimento, propriedade correlacionada à absorção de água dos componentes na mistura cimentícias, e por consequência, a sua durabilidade e resistência, foi dimensionada no estudo pela proporção de 0,65 kg de água por 1 kg de pó de pedra aos cuidados para que a alta variabilidade de absorção do RCD, juntamente com a solução diluída do GO não tornasse a mistura aquosa ao ponto de debilitar a resistência ou danificar a moldagem dos corpos de prova.

O módulo de elasticidade dinâmico dos corpos de prova, para os diferentes traços, determinados pelo ensaio de ultrassom, são apresentados na Tabela 8. A medida desse parâmetro é importante, uma vez que ele é diretamente associado à rigidez do concreto. Como é possível observar, o material do traço 2 (traço com GO sem RCD), apresentou o maior módulo de elasticidade, mostrando um aumento na sua rigidez de aproximadamente 7%, em relação ao traço de referência (traço 1). Já, o concreto com RCD (traço 3) e o concreto com RCD e GO (traço 4) apresentaram módulos menores, quando comparados àquele obtido para o traço 1, com redução na rigidez de aproximadamente 18% e 21%, respectivamente.

Tabela 8 – Propagação de Onda Ultrassônica

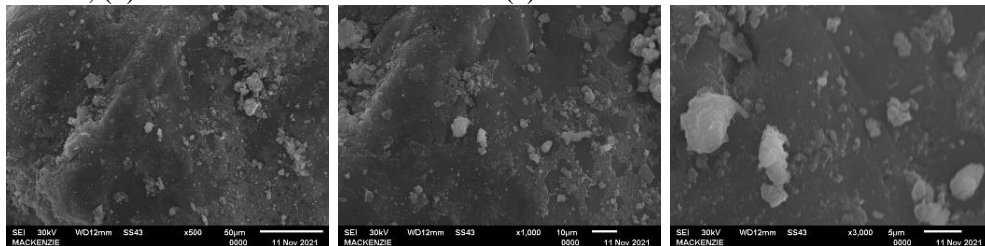
<b>Traço</b>	<b>Diâmetro (cm)</b>	<b>Tempo (µs)</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>	<b>Módulo de Elasticidade Dinâmico (GPa)</b>
1	19,52	47,0	4149	33,999
2	19,63	46,5	4215	36,232
3	19,81	52,5	3771	27,575
4	19,80	52,5	3771	26,760

Fonte: Os autores (2021)

A velocidade de propagação de onda, apontada também na Tabela 8, demonstra que o óxido de grafeno beneficia a compacidade do concreto, visto que a quantidade de vazios é menor e não há maiores desvios de caminho da onda, implicando em maior velocidade. Já nos traços com RCD, a quantidade de vazios é maior, e com isso a diminui a velocidade de propagação.

As micrografias ópticas das fraturas dos corpos de prova de cada traço (Figuras 3, 4, 5 e 6) são complementos visuais dos resultados observados pelo ensaio de ultrassom, a fim de observar o meio físico e diferenciar o empacotamento através das análises da união dos grãos dispostos no concreto. Convém citar que a falta de foco é devido a irregularidade destas superfícies.

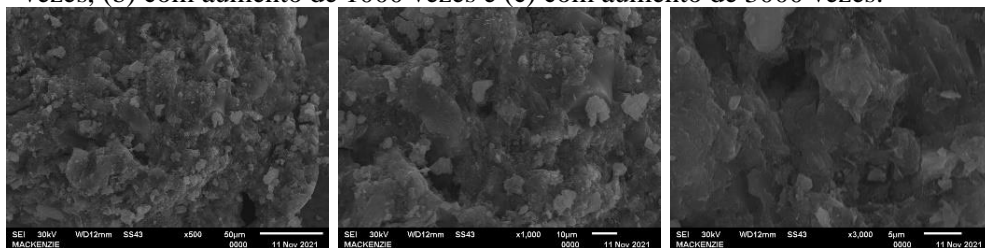
Figura 3 – Micrografias Ópticas de compósitos de concreto – Traço 1: (a) com aumento de 500 vezes, (b) com aumento de 1000 vezes e (c) com aumento de 3000 vezes.



(a) (b) (c)

Fonte: Os autores (2021).

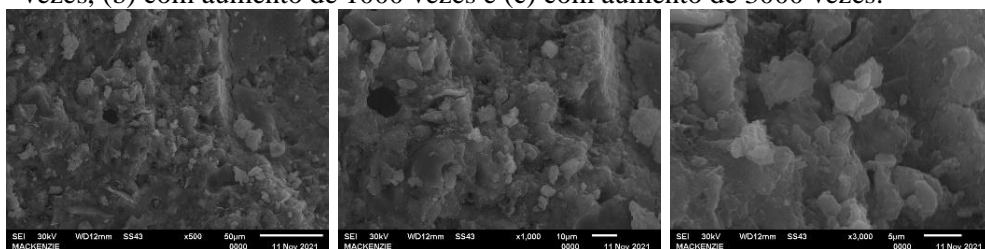
Figura 4 – Micrografias Ópticas de compósitos de concreto – Traço 2: (a) com aumento de 500 vezes, (b) com aumento de 1000 vezes e (c) com aumento de 3000 vezes.



(a) (b) (c)

Fonte: Os autores (2021).

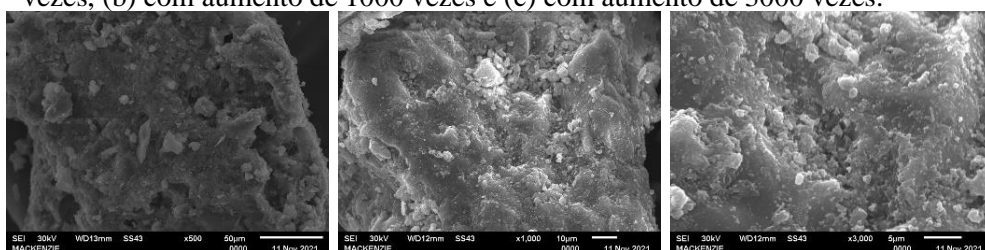
Figura 5 – Micrografias Ópticas de compósitos de concreto – Traço 3: (a) com aumento de 500 vezes, (b) com aumento de 1000 vezes e (c) com aumento de 3000 vezes.



(a) (b) (c)

Fonte: Os autores (2021).

Figura 6 – Micrografias Ópticas de compósitos de concreto – Traço 4: (a) com aumento de 500 vezes, (b) com aumento de 1000 vezes e (c) com aumento de 3000 vezes.



(a) (b) (c)

Fonte: Os autores (2021).

Através da análise das superfícies destas amostras, pode-se notar a presença de maiores vazios nas composições em que não há a adição do óxido de grafeno, uma vez que este aumenta a formação de cristais, melhorando a união entre os componentes como representado na Figura 4 e 6. Já o traço de concreto com RCD, ilustrado na Figura 5 e 6, por apresentar agregados maiores em relação aos naturais, apresenta uma maior relação de água/cimento ao entorno da partícula do resíduo. Vale-se ressaltar que a área de transição entre esses materiais é considerada um ponto crítico de resistência.

Os resultados da resistência à compressão média para os corpos de prova nas idades 7, 14 e 28 dias para todos os traços de concreto são apresentados na Tabela 9. Os coeficientes de variação (CVe) para os corpos de prova na idade de 28 dias também estão apresentados na tabela. Esse coeficiente é definido pela razão entre o desvio padrão e o valor médio da resistência, e serve para verificar o grau de confiabilidade dos resultados obtidos. Vale ressaltar que baixos valores do coeficiente demonstram uma boa regularidade no comportamento do concreto.

Tabela 9 – Resistência Média à compressão

Traço de Concreto	Resistência à compressão (MPa)			CVe(%)
	7 dias	14 dias	28 dias	28 dias
Traço 1 (Concreto Convencional)	18,5±1,3	19,0±0,2	19,9±0,2	0,96%
Traço 2 (Concreto Referencial com GO)	21,6±1,0	21,0±0,1	24,7±1,0	4,12%
Traço 3 (Concreto com RCD)	17,9±0,2	20,3±0,2	20,7±0,5	2,18%
Traço 4 (Concreto com RCD e GO)	19,7±1,7	23,4±0,9	19,9±1,4	7,25%

Fonte: Os autores (2021).

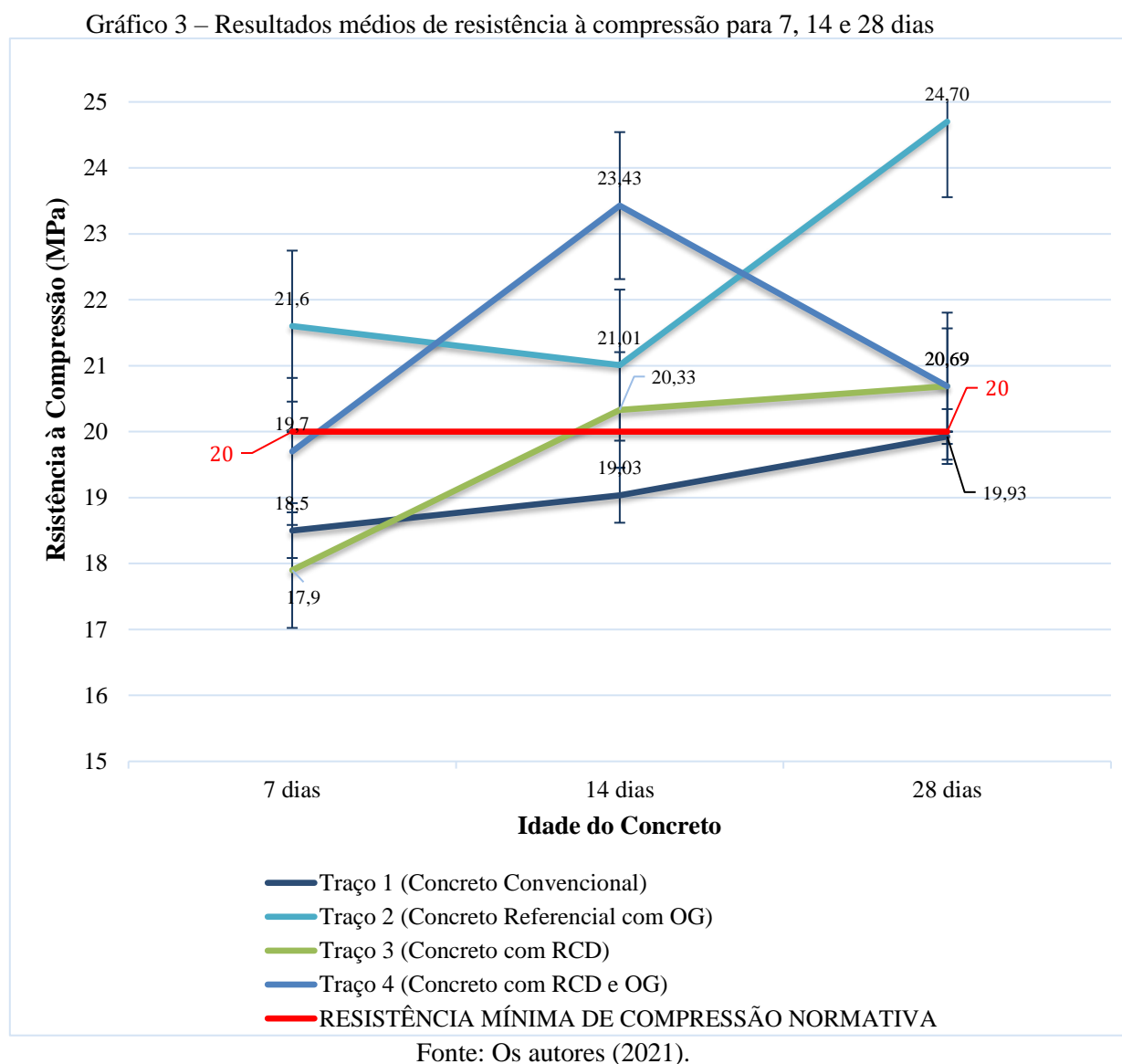
De acordo com a norma ABNT NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018), a resistência mínima do concreto para elementos estruturais deve ser de 20 MPa aos 28 dias. Como pode ser observado na tabela para essa idade, o traço 1 (traço de referência) apresentou uma resistência muito próxima de 20 MPa. O traço 2 (traço com GO) apresentou resultado um pouco superior à resistência mínima estabelecida pela norma para a finalidade estrutural, mesmo considerando a faixa de resistência definida pela incerteza, assim como o traço 3 (traço com RCD). O traço 4 (traço com RCD e GO) apresentou valor de resistência similar à apresentada pelo concreto de referência, mas com um desvio padrão maior, além de ter apresentado o maior coeficiente de variação, resultados esses que não asseguram sua aplicação para fins estruturais.

Observando o comportamento da resistência o traço com RCD e GO (traço 4) em todas as idades, destaca-se a queda de resistência à compressão, de forma inesperada, aos 28 dias, em relação ao valor obtido no período de 14 dias. Uma provável explicação para este acontecimento seria a existência de vazios em quantidade superior ao pretendido, oriundos da falha na preparação e execução da mistura durante o processo experimental, uma vez que o abatimento e moldagem dos



corpos de provas são suscetíveis à erros humanos. O que também pode ser justificado pelo maior coeficiente de variação aos 28 dias.

Uma melhor visualização do comportamento da resistência média para todos os traços em função da idade pode ser observada no Gráfico 3.



O comprometimento da resistência, conforme a norma ABNT NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018), pode estar relacionado com a moldagem defeituosa ou a escolha incorreta da relação água/cimento, o que pode ser visto pela forma de ruptura. Analisando as imagens dos corpos de prova na idade de 28 dias, observa-se que o concreto convencional obteve uma ruptura colunar com formação de cones (Figura 7 (a)), enquanto o concreto com apenas a adição de GO se rompeu de forma cisalhada (Figura 7 (b)). O concreto com RCD apresentou uma ruptura cônica e bipartida (Figura 7(c)) e o concreto com adição de RCD e GO, apresentou também uma ruptura cisalhada, (Figura 7 (d)).

Ressalta-se que a ruptura cisalhada, linha de fratura atravessada diagonalmente em direção a força aplicada, é uma forma confiável e aceitável, como também a de forma cônica, sinalizando uma preparação correta e moldagem bem executada e retificada, conforme ABNT NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

Figura 7 – Imagens do Ensaio a Compressão dos corpos de prova de concreto com (a) elementos convencionais, (b) referencial com GO, (c) com RCD e (d) RCD com adição de GO.



(a)

(b)



(c)

(d)

Fonte: Os autores (2021).

Embora a resistência do concreto constituído de RCD e GO tenha sido próxima ao valor mínimo estabelecido pela norma, não se pode concluir que o resultado obtido tenha sido plenamente satisfatório, pois esperava-se uma resistência superior àquela obtida, devido à incorporação do óxido de grafeno no traço. Mas vale ressaltar que o concreto de referência já não apresentou um bom resultado para a resistência, o que impede de se estabelecer conclusões mais assertivas. No entanto, é importante observar que o GO parece contribuir para a utilização do RCD no concreto, compensando a perda de resistência que o agregado reciclado provoca. Além disso, o fato de as absorções de água terem sido baixas nos traços com GO, impactam positivamente na durabilidade do concreto.

Os resultados obtidos neste trabalho para o concreto com RCD e óxido de grafeno mostraram-se promissores e apontam para a necessidade de ampliação das pesquisas no tema.

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo, avaliar o comportamento físico e mecânico de um traço de concreto, com uso de resíduos de construção e demolição e óxido de grafeno, a fim de verificar sua viabilidade de uso em concreto estrutural.

Embora ainda não seja habitual este tipo de produção do concreto, a tendência em aproveitar os resíduos de construção civil como agregado reciclado é certa e vantajosa devido ao elevado aumento dos custos dos materiais de construção, onde a iniciativa privada e o poder público são os principais sujeitos capazes de equacionar e gerenciar a geração e o fim dos volumosos entulhos de construção encontrados nas cidades.

Porém, este processo ainda apresenta como obstáculo o preconceito em relação ao uso dos materiais recicláveis, representando a necessidade de criar-se uma cultura de confiança e segurança no reuso destes materiais. Tal insegurança se deve pela variedade de resíduos que são aplicados em diversos traços de concreto, uma vez que cada tipo de resíduo possui comportamentos e reações específicas quando inseridos no concreto, ou seja, resíduos de materiais cerâmicos trariam resultados diferentes se comparados aos resultados de resíduos de concreto, por exemplo.

Com base nos resultados observados, pode-se retirar as seguintes conclusões: a massa específica de agregados reciclados foi inferior à massa específica dos agregados naturais, ressaltando a necessidade de compensar a quantidade de material reciclado em misturas de concreto; as taxas de absorção dos concretos reciclados foram elevadas, apesar do GO provocar diminuição da absorção de água, refletindo na resistência do material; os traços que continham GO mostraram maior coesão, fato observado através da análise da microscopia ótica, enquanto os traços com RCD se mostraram menos compactos, o que fez com que o traço contendo apenas óxido de grafeno obtivesse valores de resistência à compressão superiores.

Em se tratando de questões econômicas, apesar do teor de óxido de grafeno ser considerado baixo em relação aos demais componentes do concreto, seu alto preço unitário, cerca de R\$ 110,00 por grama, dificulta a sua introdução em volumes maiores. Porém, este quadro pode se alterar com o avanço das pesquisas a seu respeito, tornando-o mais acessível economicamente.

Neste estudo observou-se que a adição de óxido de grafeno em concreto com resíduos de construção e demolição, nas proporções utilizadas, não é vantajosa no quesito da resistência, visto que sem e com adição de OG não apresentou mudança significativa. Isso pode ser explicado pelo fato do material, em grande quantidade se tornar grafite e assim não reagir com o cimento de forma a

aumentar a resistência do concreto. Outra possibilidade é o fato de o RCD não possuir uma procedência confiável, com materiais e propriedades bem definidas e assim não traz bons resultados quando se trata de sua reação com GO. Desta forma seria interessante que houvesse mais estudos com concreto reciclado e GO, porém utilizando resíduos de indústria de concreto pré-moldado, por exemplo.

Ressalta-se que as conclusões obtidas neste artigo se referem a utilização de materiais com características peculiares utilizados na produção de concreto de proporções e técnicas de execução específicas. Logo, seria importante a realização de novas pesquisas de metodologias semelhantes a fim de complementar e confirmar os resultados aqui obtidos, o avaliando o comportamento de concretos com diferentes teores de substituição de agregados naturais por agregados reciclados, realizando então, estudos de método e dosagem, e econômico, com base nos custos de gerenciamento de resíduos, implantação de programas de reciclagem e produção de materiais sustentáveis. Além disso, seria de grande relevância a realização de novas pesquisas sobre os motivos que levaram a queda da resistência a compressão depois da idade de 14 dias para o traço com RCD e GO.

#### REFERÊNCIAS

ANDRADE, Camila. **Óxido de Grafeno Agregado ao Concreto**. XIII Jornada de Iniciação Científica e VII Mostra de Iniciação Tecnológica Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2017.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE. AMDA. **Exploração dos recursos naturais é responsável por 90% da perda de biodiversidade e estresse hídrico**. Disponível em: <https://www.amda.org.br/index.php/comunicacao/informacoes-ambientais/5620-exploracao-dos-recursos-naturais-e-responsavel-por-90-da-perda-de-biodiversidade-e-estresse-hidrico>. Minas Gerais: AMDA, 2019. Acesso em 26 novembro 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8802**: Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, pelos grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e concretos endurecidos — Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020

BASTOS, Isadora Andrade; CRUZ, Leandro Faria; WOELFFEL, Anderson Buss. **Fabricação de blocos de concreto para vedação com o uso de agregados reciclados em canteiro de obras**. Revista Científica Faesa, Vitória-ES, 2016.

BRASIL. **Assembleia Legislativa**. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. 03 ago. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 30 novembro. 2021

BRASIL, CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução CONAMA nº 307: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. 2002 [https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2002\\_Res\\_CONAMA\\_307.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2002_Res_CONAMA_307.pdf). Acesso em: 28 novembro 2021.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Versão pós Audiências e Consulta Pública para Conselhos Nacionais** - Governo Federal - Brasília, fevereiro de 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>. Acesso em: 28 novembro 2021.

BUTTNER, Alexandre Marques. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2007.

CABRAL, Antonio Eduardo. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. Dissertação (Mestrado). Escola de engenharia de São Carlos, São Carlos - SP, 2007.

CARNEIRO, Francielle Pereira. **Diagnóstico e ações da atual situação dos resíduos de construção e a demolição na cidade do Recife**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Paraíba. CT. Engenharia Urbana, João Pessoa-PB, 2005.

CHUAH, S., PAN, Z., SANJAYAN, J. G., WANG, C. M., & DUAN, H. W. **Nano reinforced cement and concrete composites and new perspective from graphene oxide. Construction and Building Materials**.

DREYER, Daniel; PARK, Sungjin; BIELAWSKI, Christopher; & RUOFF, Rodney. (2010). **The chemistry of graphene oxide**. Chemical Society Reviews. Acesso em 20 de Maio de 2021, disponível em <http://dx.doi.org/10.1039/b917103g>

FERNANDES, Idário. **Blocos e pavers: Produção e controle de qualidade**. (7a edição). Ribeirão Preto, São Paulo, 2016.



HUMMERS, William; OFFERMAN, Richard. **Preparation of Graphitic Oxide. Journal of the American Chemical Society**. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ja01539a017>  
Acesso em 28 maio 2021.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concreto produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MOREIRA, Matheus Nunes. Estudo comparativo entre concretos de alto desempenho (cad) **convencionais e aditivado com óxido de grafeno**. Iniciação Científica (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2018.

PAULA, Paulo Roberto. **Utilização dos resíduos da construção civil na produção de blocos de argamassa sem função estrutural**. Dissertação. Tecnologia das Construções. Universidade Católica de Pernambuco, Pernambuco-PE, 2010.

VIEIRA, Geilma Lima; MOLIN, Denise Carpena. **Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização de Concretos Obtidos com Agregados Reciclados Provenientes da Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição**. Sinduscon Premium 2003. Porto Alegre, 2003.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos à professora, Odila Florêncio, pelo apoio durante a primeira fase do estudo e ao auxílio técnico durante a continuação deste trabalho.

Aos técnicos dos laboratórios da Universidade Presbiteriana Mackenzie, em especial ao Renato Gluber Candido Prates e José Adão Alves, que nos auxiliaram nos procedimentos de dosagem do concreto e moldagem dos CPs, e ao Mauro Cardoso Alves pelo auxílio no ensaio de microscopia dos traços de concreto.