

RESUMO

A construção civil é um dos setores que mais utiliza recursos naturais. A utilização de recursos residuais acaba sendo uma solução de substituição para diminuir os impactos negativos gerados por esse consumo. O presente estudo é um estudo sobre a utilização de vidro moído (material que possui boa resistência e um material de difícil decomposição) na substituição da areia (recurso natural) na fabricação de concreto, contribuindo, assim, para preservação do meio ambiente. Foram moldados corpos de prova com diferentes porcentagens de substituições (10%, 15%, 20%, 30%) em massa para analisar a resistência à compressão, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 5739:2018. O rompimento dos corpos de prova ocorreram aos 7 dias e aos 28 dias. Os resultados foram satisfatórios até 20% de substituição, mostrando resultados superiores ao traço de referência. Concluiu-se que é viável a substituição e que é possível obter um concreto que tenha boa resistência, desde que a porcentagem seja limitada, mostrando uma nova maneira de reutilização do vidro para que ele não seja depositado em aterros sanitários.

Palavras-chave: agregado miúdo. concreto. substituição. vidro moído.

INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, segundo a CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável), em uma pesquisa realizada em 2007, é responsável por até 75% de consumo dos recursos naturais extraídos no planeta, gerando um grande impacto ambiental. A extração da areia, por exemplo, traz inúmeros impactos negativos: incidência de processos erosivos do solo, depreciação da qualidade do solo, impacto visual entre outros (NOGUEIRA, 2016). O desenvolvimento sustentável acaba sendo uma solução para diminuir o consumo de recursos naturais.

Segundo Brasileiro (2015),

Alemanha, Coréia e Japão, por exemplo, têm leis com recomendações para estimular o uso de materiais recicláveis. Já países como França, Inglaterra, Dinamarca, República Checa e Itália possuem um elevado preço para deposição de resíduos da construção e demolição de aterros.

Já no Brasil, a reciclagem dos resíduos de construção e demolição é recente. Esse atraso em relação aos outros países se dá por diversos fatores: dificuldade para introduzir novas tecnologias na área, muita disponibilidade de produtos naturais que acabam abaixando o custo do produto e, também, uma visão errada de que o produto confeccionado com o material reciclado possua qualidade inferior a outro que não seja confeccionado com insumo reutilizável.

Procurar alternativas de introduzir algo sustentável na construção civil no Brasil acaba se tornando um desafio (DE ALMEIDA, 2017). O tema trata em substituir areia, um recurso natural que em muitas regiões tem seu custo elevado devido à distância de transporte entre o local de extração e o de uso, por resíduo de vidro moído.

Produzido em grande escala pelo mundo, o vidro é um material rígido, obtido através do aquecimento da matéria-prima, causando sua fusão e depois, de moldado conforme desejado, seu resfriamento (AKERMANN, 2000). Esse material possui, como componente básico, sílica (dióxido de silício). Esse componente está presente nas rochas, areias, quartzo e em outros materiais. Teoricamente, o vidro é um material 100% reciclável: pode ser reciclado indefinidamente

sem que haja perda de qualidade. No entanto, no Brasil, 40% do vidro produzido é reciclado (VAZ, 2021). Essa porcentagem se dá a vários fatores limitantes para executar esse processo, tais como: impurezas, mescla de sucatas de cores diferentes, baixo preço pago pelo material (na cidade de Cruz Alta, por exemplo, o preço pago é R\$0,10/kg) entre outros.

O vidro utilizado no ensaio foi o vidro temperado. Esse nome se dá devido a uma comparação ao aço temperado, ambos possuem alta resistência em razão do processo de têmpera, apesar dos mecanismos serem diferentes. O processo consiste em duas etapas: o aquecimento e o resfriamento rápido do material. Na construção civil, esse tipo de vidro já é bastante utilizado, (fachadas, portas, janelas entre outros) recomendado para locais sujeitos a impactos. Esse tipo de vidro, junto com o vidro laminado e o vidro aramado são chamados de vidros de segurança.

Para tornar a indústria do concreto sustentável, o uso de materiais residuais no lugar de recursos naturais é uma das melhores abordagens. O objetivo deste trabalho foi avaliar se é possível fabricar um concreto que tenha uma boa resistência com a substituição parcial (10%, 15%, 20% e 30%), em massa, do agregado miúdo por resíduo de vidro moído.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Função do agregado miúdo no concreto

Considera-se agregado miúdo, segundo a ABNT NBR 7211:2019, o material que passa pela peneira de 4,75mm e fica retido na peneira de 0,15mm. Esse material (areia) pode ser natural (extraídos da natureza na forma de fragmentos) ou artificial (produto derivado da rocha onde passa por um processo de britagem até a granulometria desejada) e são classificadas como fina (0,06mm a 0,2mm), média (0,2mm a 0,6mm) e grossa (0,6mm a 2mm).

A extração de areia pode ocorrer de três formas: em fossa seca, em área de várzea e em leito de cursos d'água (ZART, 2013). Ela tem um papel importante no crescimento econômico do país e é uma prática que acontece há muito tempo, fazendo que as consequências dessas retiradas sejam visíveis. Alguns exemplos sobre os danos ambientais decorrentes da extração mineral são: alterações dos cursos d'água, formação das cavas, destruição da fauna e flora, alteração dos processos geológicos entre outros (SANTOS, 2008). Entretanto a extração da areia ou a produção da mesma tem como intuito, na maioria dos casos, suprir a necessidade na construção civil. Ela pode ser utilizada na confecção de argamassas para levantamento de alvenarias, concretos estruturais, asfaltos em geral entre outros (TEODORO, 2013).

Segundo Meier (2011),

A especificação dos limites granulométricos do agregado miúdo, assim como o conhecimento da sua dimensão máxima e do seu módulo de finura são de extrema importância, pois estas características influenciam na trabalhabilidade e no custo do concreto ou argamassa (*apud* METHA e MONTEIRO, 2008). Além disso, areias muito grossas produzem misturas pouco trabalháveis e areias muito finas aumentam a demanda de água para a hidratação do cimento.

Para cumprir seu papel perfeitamente no concreto, o agregado precisa apresentar certas características: resistência mecânica e composição mineralógica adequadas, ausência de impurezas que possam vir a diminuir a durabilidade do concreto e ter uma boa distribuição granulométrica.

Vidro

Descoberto, aproximadamente, 5000 A.C, o vidro é considerado um material rígido que não flui quando sujeito a forças moderadas, sendo de utilização imprescindível. Ainda que, na maioria das suas composições, tem como matéria-prima: sílica, barrilha, calcário e alumina, existem diferentes tipos de vidros. Eles diferem em função da aplicação, processo de produção e disponibilidade de insumos. Eles são divididos em seis famílias: sílica vítrea, silicatos alcalinos, vidro sodo-cálcicos, vidros ao chumbo, vidros borossilicatos e vidros alumino-borossilicato (AKERMANN, 2000).

- Sílica vítrea: um vidro viscoso e possui um coeficiente de expansão muito baixo;
- Silicatos alcalinos: vidros solúveis em água;
- Sodo-cálcicos: possuem uma boa resistência e são 90% de todos os vidros produzidos;
- Ao chumbo: considerado vidro nobre, possui uma alta capacidade de proteção contra radiações ionizantes;
- Borossilicatos: terceiro maior grupo, apresentam alta resistência ao choque térmico;
- Alumino-borossilicato: podem ser aquecidos a altas temperaturas sem deformação;

Todos os vidros planos incluindo os vidros de borossilicato, podem ser temperados. O vidro temperado é considerado um vidro industrial, possui alta resistência (resiste ao choque térmico, flexão, flambagem, torção e peso), obtendo uma resistência cinco vezes maior que a do vidro comum. Esse vidro é feito em um forno de tempera (vertical ou horizontal) e resfriado rapidamente causando a tempera, após esse processo, o vidro não pode ser furado, cortado, marcado entre outros (DA SILVA, 2016). Quando o vidro temperado quebra, ele se rompe em fragmentos regulares, devido ao processo de fabricação.

O Brasil é o maior fabricante de vidros na América Latina (DA ROSA *et al.*, 2007), no entanto, o país reciclou, em 2001, 42% das 883 mil toneladas de vidro produzidos (ASSIS, 2006).

Estudos do vidro como material alternativo do agregado miúdo

A ideia de utilizar resíduos recicláveis começou após a segunda guerra mundial, devido à crise financeira e a escassez de matéria-prima. O objetivo da utilização era a reconstrução de cidades Europeias utilizando a moagem de entulhos como agregado (ABRECON, 2018). Então, a partir de 1946, iniciou-se o a utilização de recursos recicláveis na construção civil.

Há alguns países que adotam a ideia de usar recursos reciclados na produção de blocos de concreto. Essa alternativa reduz os impactos negativos (como, por exemplo, a poluição) e ameniza os desperdícios de matéria-prima. A Austrália, por exemplo, é o país que mais utiliza vidro moído na substituição de areia do concreto e da argamassa. Essa substituição varia dependendo do uso, podendo ser para elementos estruturais e elementos não estruturais (SANTOS, 2015). No estado de Nova Iorque já apresentaram recomendações para o uso de vidro moído no concreto (LOPEZ *et al.*, 2005). No Brasil, o vidro moído é utilizado em asfaltos, porém no concreto há apenas estudos acadêmicos (MARTINS, 2018).

Inúmeros trabalhos acadêmicos apresentaram resultados satisfatórios na utilização do

vidro moído como substituto do agregado miúdo no concreto e na argamassa. A substituição ocorre devido a composição do vidro e, também, o vidro proporciona aumento de consistência no estrado fresco e de resistência mecânica quando endurecido, diminuindo o índice de vazios e de permeabilidade no concreto. Esses estudos fizeram diferentes substituições, variando entre 5% e 50%, em diferentes idades. No concreto, Malik *et al.* (2013) apresentaram resultados positivos nas substituições 10% a 40% nas idades 7 e 28 dias, sendo a substituição de 20% a de maior destaque. Liotto (2019) também encontrou resultados satisfatórios com as substituições de 20% a 50% na resistência à compressão, onde ele explica que esse aumento ocorreu de forma gradual. Os ensaios ocorreram nas idades 7, 14, 21, 28 e 90 dias e a substituição destaque, nesse trabalho, foi a faixa de 50%. Outra substituição destaque foi 15% na dissertação apresentada por De Brito (2021). Ele fez porcentagens de 3%, 5%, 10% e 15% nas idades 7, 14, 28 e 91 dias.

Na argamassa, diferentes substituições apresentaram resultados satisfatórios também. RIBEIRO (2015) fez um estudo de substituições de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% nas idades 7, 14, 28, 63 e 91 dias, resultando na substituição de 20% a mais vantajosa. Já, Trentin *et al.* (2020), fez as substituições de 10%, 15%, 25% e 50%, rompendo os corpos de prova nas idades 7, 28, 63 e 91 dias, resultando que a maior substituição se mostrou a mais vantajosa.

Curva granulométrica

O conhecimento sobre curva granulométrica é indispensável para diferentes aplicações. A partir dela, é possível entender sobre qual material se trabalha (se é muito fino ou muito grosso), quais as consequências de usar e o que podemos fazer com ele. Ela é expressa pela porcentagem acumulada de material que passa nas peneiras. As técnicas utilizadas no levantamento de dados granulométricos resultam em valores pontuais, definindo a proporção com que os diferentes tamanhos de partículas sólidas ocorrem em determinada amostra (DA SILVA *et al.*, 2004).

Para a granulometria de areias e pedregulhos, utiliza-se o processo de peneiramento de uma amostra, enquanto que, para siltes e argilas, utiliza-se o processo de sedimentação dos sólidos em meio líquido. O peneiramento ocorre pela separação do material em duas ou mais classes, estando essas limitadas uma superior e outro inferiormente. A denominação do material que fica retido na tela da peneira é *oversize* (material retido) e o passante, *undersize* (material passante) (MAGALHÃES, 2004). Já a sedimentação, também conhecido como classificação, a separação ocorre tornando-se como base a velocidade que os grãos atravessem o meio fluido.

A granulometria dos agregados interfere diretamente nas propriedades do concreto. Os agregados tem como alguma das finalidades: transmitir as tensões aplicadas ao concreto através de seus grãos, pois, geralmente, a resistência à compressão dos agregados é superior ao do concreto. Portanto, o tamanho e formato das partículas interferem nas características ao bom desempenho. A curva granulométrica se torna necessária para obter concreto e argamassas de boa qualidade.

METODOLOGIA

Para a realização do trabalho, os materiais utilizados foram: cimento CPV-ARI, areia média, pó de brita, pedrisco e vidro moído. O vidro moído foi obtido através de uma empresa, USI-

BRAS, localizada na cidade de Porto Alegre – RS. A empresa trabalha com cinco tipos diferentes de granulometria, obtidos através de uma máquina que faz o processo de moagem (Figura 02), de vidro. A utilizada foi a que possuía granulometria semelhante da areia média. Vale ressaltar que o vidro que a empresa utiliza é o vidro temperado, descartado das vidraçarias.

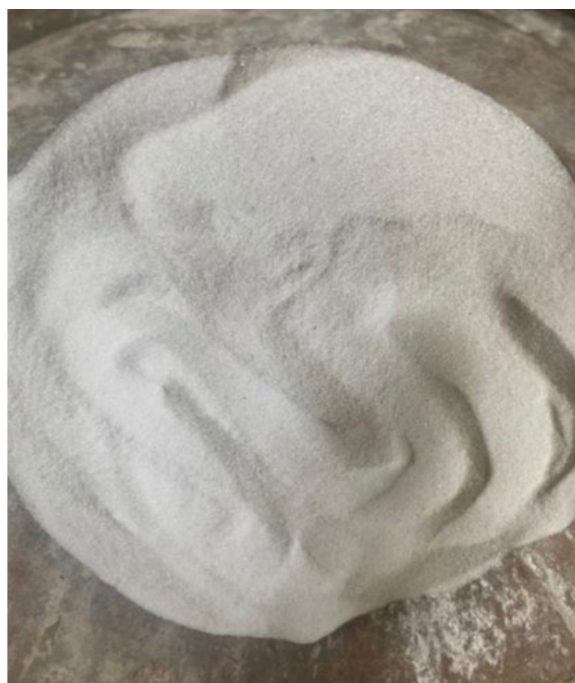
Figura 01 – Máquina utilizada pela empresa para moagem do vidro



Fonte: Autora (2022)

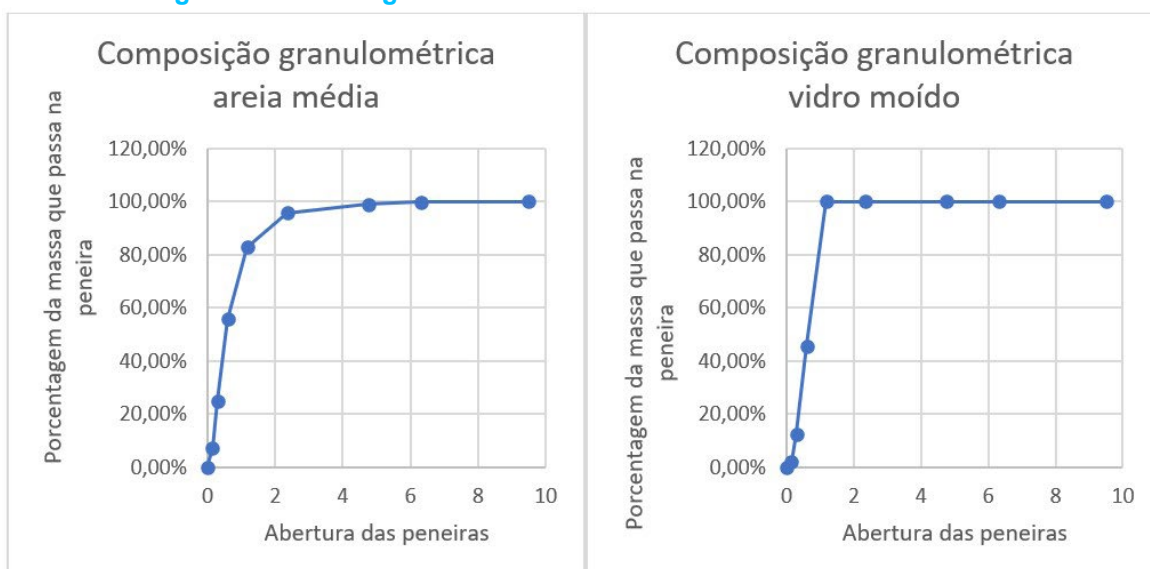
Para fazer a curva granulométrica, uma parcela do vidro adquirido foi peneirado seguindo as diretrizes da ABNT NBR NM 248:2003. O vidro considerado foi aquele que passou pela peneira de 4,75mm e que ficou retido na peneira com aberta de malha de 15 μ m, respeitando a ABNT NBR 7211:2005 que trata sobre as especificações dos agregados.

Figura 02 – Vidro utilizado após peneiramento



Fonte: Autora (2022)

Figura 03 – Curva granulométrica da areia média e do vidro moído



Fonte: Autor

Através dos dados obtidos, foi realizada a curva granulométrica do vidro (Figura 04) e a curva granulométrica da areia média (Figura 04). Ambas as curvas foram comparadas com o limite da ABN NBR 7211/2019 que trata sobre agregado miúdo.

Após analisar as curvas se estavam de acordo com a norma e adotar o traço 1:4,68:2,4:0,66:0,32, foram realizadas as seguintes substituições, em massa, da areia por resíduo de vidro moído: 10%, 15%, 20% e 30%. A porcentagem de substituição foi definida através de estudo de artigos (Apêndice E), onde a partir deles, foram escolhidas as porcentagens que obtiveram melhores resultados.

Tabela 01 - Quantidade de material empregado em cada traço

Substituição	Cimento [kg]	Areia [kg]	Pedrisco [kg]	Pó de pedra [kg]	Vidro moído [kg]	Água [L]	Relação A/C
TRAÇO	1	4,68	2,4	0,66	-	0,32	0,32
0% (referência)	4.58	21.45	11	3.03	-	1.46	0.32
10%	4.58	19.31	11	3.03	2.14	1.46	0.32
15%	4.58	18.23	11	3.03	3.22	1.46	0.32
20%	4.58	17.16	11	3.03	4.29	1.46	0.32
30%	4.58	15.02	11	3.03	6.43	1.46	0.32

Fonte: Autora (2022)

Todos os traços foram submetidos ao ensaio de compressão. Foram confeccionados seis CPs (corpos de prova) para cada traço, sendo três na idade de sete dias e os outros três na idade de vinte e oito dias, totalizando trinta corpos de prova. A confecção, a cura e o rompimento foram de acordo com as normas ABNT NBR 5738:2015, ABNT NBR 9479:2006 e a ABNT NBR 5739:2018 respectivamente. Os CPs foram confeccionados e rompidos no laboratório do Instituto Federal Sul-rio-grandense na cidade de Passo Fundo – RS e tiveram como medida 10x20cm.

Figura 04 - Corpos de prova 10x20cm confeccionados no laboratório

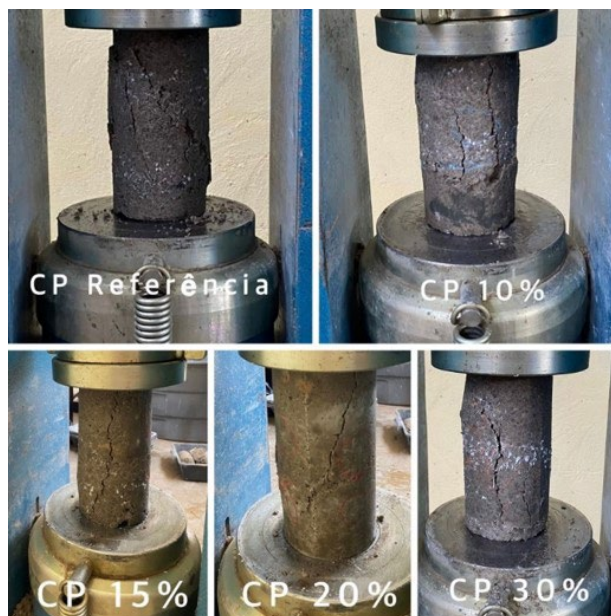


Fonte: Autora (2022)

RESULTADOS

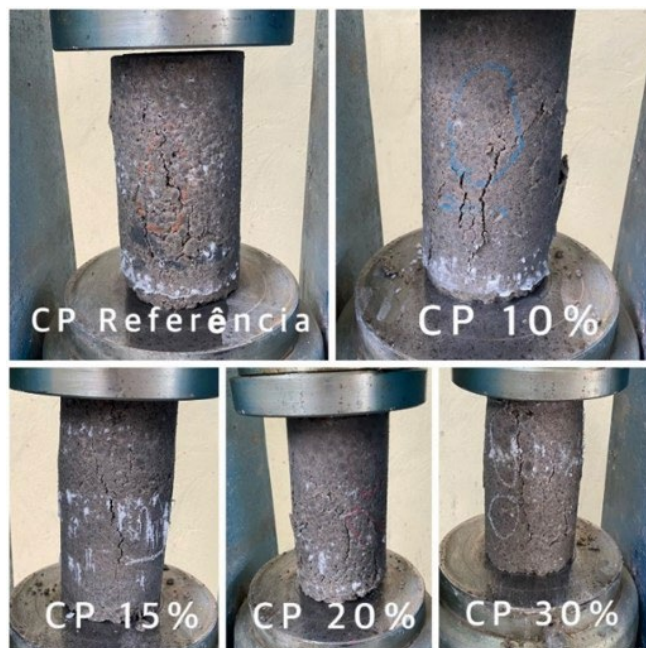
A apresentação dos resultados está de acordo com o prescrito pela ABNT NBR 5739:2018. Os corpos de prova apresentaram diferentes tipos de ruptura (cisalhada e colunar), sendo mostrados uma amostra na Figura 05 aos 7 dias e uma amostra na Figura 06 aos 28 dias.

Figura 05 - Amostra dos tipos de ruptura ocorrida aos 7 dias



Fonte: Autora

Figura 06 – Amostra dos tipos de ruptura ocorrida aos 28 dias



Fonte: Autora (2022)

Tabela 02 - Resistência obtida aos sete dias e aos 28 dias

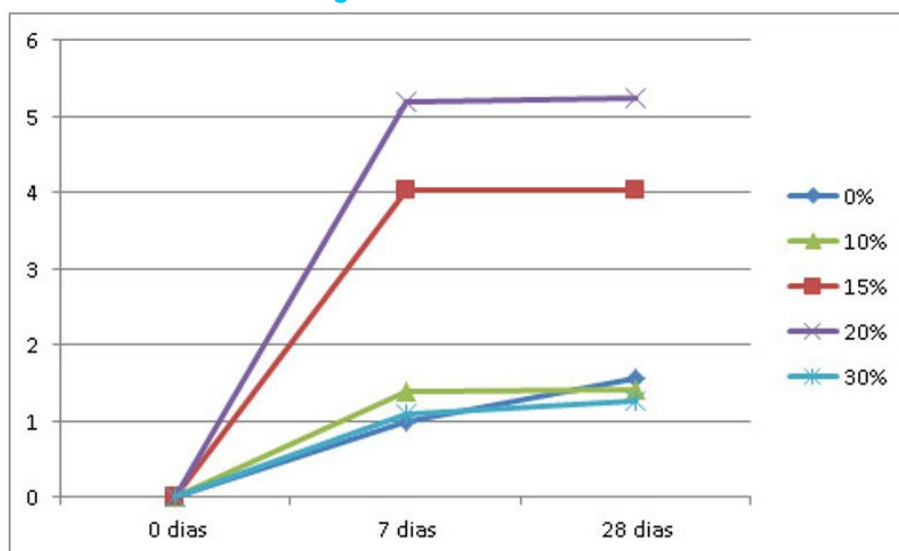
Substituição	7 dias				28 dias			
	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CP3 (MPa)	Média (MPa)	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CP3 (MPa)	Média (MPa)
Referênc.	0,76	0,97	1,26	0,99	2,04	1,12	1,45	1,53
10%	1,69	1,27	1,19	1,38	1,31	1,47	1,46	1,41
15%	4,35	4,32	3,4	4,02	3,18	4,87	4,08	4,04
20%	4,36	4,26	6,95	5,19	5,06	5,68	4,96	5,23
30%	0,97	1,12	1,16	1,08	1,31	0,91	1,54	1,25

Fonte: Autora (2022)

Ao analisar os resultados obtidos aos 7 dias, notou-se resultados equivalentes e resultados significativamente melhores ao de referência. A substituição de 10% ocorreu um aumento de aproximadamente 40% de resistência comparado com o de referência, tendo uma ruptura colunar. A substituição de 15% e 20% foram as mais significativas, chegando um ganho de resistência, aproximadamente, entre 400% e 500%, respectivamente, sendo que esses obtiveram uma ruptura cisalhada, idêntica ao de referência. Já a substituição de 30% apresentou uma resistência semelhante ao de referência, podendo ter sido ocasionado pela piora da trabalhabilidade e apresentou uma ruptura colunar.

Por fim, ao analisar os resultados obtidos aos 28 dias, obteve-se resultados inferiores e superiores ao de referência. A substituição de 10%, que sofreu uma ruptura cisalhada, e de 30%, que sofreu uma ruptura colunar, não houve um ganho significativo que ultrapasse a resistência do de referência. Já as substituições de 15% e 20% tiveram um aumento da resistência quando comparados entre as idades e um ganho significativo de resistência quando comparado ao de referência, na ordem de 164% e de 241%, respectivamente, sendo que ambas tiveram ruptura cisalhadas igual ao de referência. O aumento de resistência se deu devido ao preenchimento de vazios. A seguir um gráfico com a evolução das resistências de cada substituição:

Figura 07 – Resultados



Fonte: Autora (2022)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das evidências mostradas na Figura 07, conclui-se que é possível fabricar concreto com substituição do agregado miúdo por resíduo de vidro moído e que o concreto tenha uma boa resistência.

A substituição de 20% apresentou uma resistência média de 5,23 MPa aos 28 dias. Ao comparar a substituição de 20% com o traço de referência, houve um aumento de, aproximadamente, 500% aos 7 dias e um aumento de 241% aos 28 dias. Além disso, a utilização do vidro, sabendo que não é um material de fácil decomposição (até 4000 anos), como forma reciclada evita a deposição desses resíduos em aterros sanitários, reduzindo a retirada de areia (recurso natural) do meio ambiente.

Portanto, como sugestão para trabalhos futuros, avaliar como o vidro se comporta no concreto em maiores idades e, também, a melhor porcentagem de substituição entre 20% e 30%.

REFERÊNCIAS

ABRECON. História do entulho.2018. Disponível em: <https://abrecon.org.br/entulho/historia-do-entulho/#:~:text=Por%C3%A9m%2C%20a%20primeira%20aplica%C3%A7%C3%A3o%20significativa,atender%20%C3%A1%20demanda%20na%20%C3%A9poca>. Acesso: 22 fev. 2022

AKERMANN, Mauro. Natureza, Estrutura e Propriedades do vidro. 2000. CETEV – Centro técnico de elaboração do vidro. Disponível em: https://www.unifal-mg.edu.br/ppgcem/wp-content/uploads/sites/116/2020/06/NaturezaEstrut_Prop_Vidro-Saint-Gobain-2000.pdf Acesso: 22 fev. 2021..

ASSIS, O. B. G. O uso do vidro reciclado na confecção de membranas para microfiltração. Embrapa Instrumentação Agropecuária. São Paulo. 2006 p. 105-113 Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/BJGHZLz6n7F7NR4Yn7rLhqp/?format=pdf&lang=pt> Acesso: 22 fev. 2022

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados – Determinação da

composição granulométrica, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9479: Argamassa e concreto – Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova, 2006.

BRASILEIRO, L. L; MATOS, J. M. E. Revisão Bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. 2015. 12p. Dissertação - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.

CBCS. Sustentabilidade na Construção. 2007. Disponível: <http://www.cbcs.org.br/website/noticia/show.asp?npgCode=DBC0153A-072A-4A43-BB0C-2BA2E88BEBAE>. Acesso: 12 agost. 2021.

DA SILVA, Euzebio Medrado *et al.* Comparação de modelos matemáticos para o traçado de curvas granulométricas. *Pesq. agropec Brasília*, v.39, n.4, p. 363-370, Abr. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/nLXfSmkmgPtSQfd5St5dr7c/?format=pdf&lang=pt> Acesso: 22 fev. 2022

DA SILVA, Ivan Gomes. Análise do layout do processo produtivo de uma indústria de têmpera de vidro. 2016. 40p. Dissertação – Universidade Federal de Ouro Preto, Mariana, 2016.

DA ROSA, Sérgio Eduardo Silveira; COSENZA, José Paulo; BARROSO, Deise Vilela. Considerações sobre a indústria de vidro no Brasil. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n.26, p. 101-138,2007.

DE ALMEIDA, Jorge Daniel Marques. Identificando a percepção dos gestores do setor de construção civil sobre as principais tendências e as dificuldades enfrentadas na aplicação da logística reversa no município de Juiz de Fora. 2017. 70p. Dissertação – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

DE BRITO, Bruno Rodrigues. Efeito da incorporação de vidro de garrafas não retornáveis em matriz cimentícia. 2021. 172p. Dissertação – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2021.

DE OLIVEIRA, Dayane Vieira. Propriedades do concreto produzido com resíduo de vidro temperado. 2017. 53p. Dissertação – Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2017.

DE OLIVEIRA, Moiseis Gonzaga. Reaproveitamento de vidro temperado para o desenvolvimento de um concreto fotoluminescente. 2020. 29p. Dissertação – Universidade Cesumar, Maringá, 2020.

DOS SANTOS, Adson. Extração mineral de areias e seus impactos na territorialidade socioambiental: o caso de feira de Santana – BA. 2008. 20p. Dissertação - Universidade Católica de Salvador, Salvador, 2008.

LIOTTO, Pedro Felix. Concreto com a substituição parcial do agregado miúdo por vidro reciclado. 2019. 45p. Dissertação (Mestrado em Materiais de Construção) – Universidade Federal do Amazonas,

Manaus, 2019.

LÓPEZ, D.A.R; AZEVEDO, C.A.P; NETO, E. BARBOSA. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado miúdo. 2005. Santa Cruz do Sul, 2005.

MAGALHÃES, Elienay. Tratamento de minérios. Classificação e peneiramento. 4.ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2004. cap. 5, p. 197-238.

MALIK, M. Iqbal. *et al.* Study of concrete involving use of waste glass as partial replacement of fine aggregates. IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN). Chicago, v.3, July.2013. Disponível em: encurtador.com.br/iyPXY. Acesso: 22 fev. 2022.

MARTINS, Ianne Sousa. Análise da substituição parcial do agregado miúdo (areia) por vidro moído no concreto convencional. 2018. 70p. Dissertação – UniEvangélica, Anápolis, 2018.

MEIER, Denis. Análise da qualidade do agregado miúdo fornecido em Curitiba e região metropolitana. 2011. 73p. Dissertação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Ecoville, Curitiba, 2011.

MULLER, D. *et al.* Utilização de resíduos da construção civil para a confecção de blocos para pisos intertravados. 57º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Natal, Maio, 2013. Disponível em: encurtador.com.br/cgzFP Acesso: 8 de fev. 2022

NOGUEIRA, Geovane. A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação. 2016. 74p. Dissertação – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

PIRES, Jonas Matheus Rodrigues. Estudo comparativo da utilização do vidro temperado triturado na fabricação do concreto convencional. 2018. 32p. Dissertação – Universidade Cesumar, Maringá, 2018.

RIBEIRO, Anderson Osvaldo. Estudo de resíduo da lapidação de vidro para incorporação em argamassas de cimento Portland. 2015. 87p. Dissertação – Universidade Federal de Uberlândia, 2015

SANTOS, Altair. Uso de vidro moído como agregado limita o concreto. Santa Maria, 2015. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/vidro-moido-como-agregado/> . Acesso: 22 de fev. 2022

TEODORO, Sabrina Bastos. Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural. 2013. 65p. Dissertação – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.


TRENTIN, Priscila Ongaratto *et al.* Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa. Revista matéria, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/wyCkXD3zkSmzPjPpkqmhm3r/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 22 fev.2022

TINOCO, Vinicius Navarro Varela; JÚNIOR, Francisco Alves da Silva. Revisão literária do uso de vidro moído como substituto do agregado miúdo no concreto. 2018.8p. Dissertação – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2018.

VAZ, Juliana. Startup garante reciclagem de vidro e carteira assinada a catadores. 2021 Disponível em: Acesso: <https://www.uol.com.br/ecoa/ultimas-noticias/2021/06/10/startup-garante-reciclagem-de-vidros-e-carreira-assinada-a-catadores.htm> 22 fev. 2022


ZART, Marcel. Areia e sua extração. Porto Alegre. Disponível em: <https://www.ejminas.com/areia-e-sua->

Apêndice A – Curva granulométrica do vidro moído

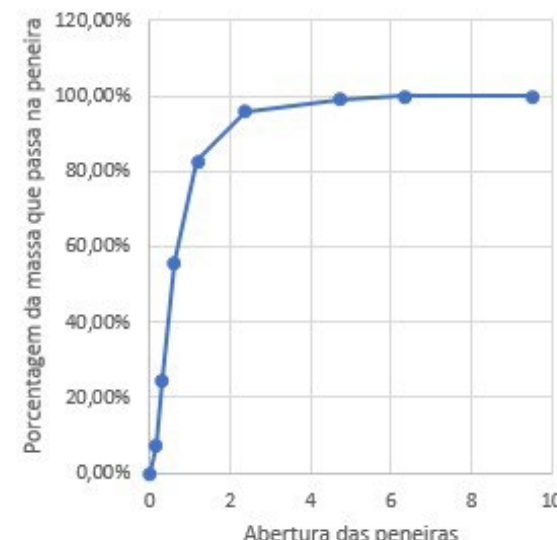
 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SUL-RIO-GRANDENSE Campus Passo Fundo				
ANÁLISE DE AGREGADO MIÚDO				
DADOS DO CONTRATANTE				
NOME: Valentina Teichmann Rodrigues				
OBRA: Projeto final de curso				
DADOS DO MATERIAL				
AMOSTRA: Resíduo de vidro moído				
PROCEDÊNCIA: ****			FORNECEDOR: USIBRAS	
Pen. c/ abertura de malha	Abertura das peneiras (mm)	% Retida	% Retida <u>Acum.</u>	% Passa na peneira
9,5mm	9,5	0%	0%	100%
6,3mm	6,3	0%	0%	100%
4,75mm	4,75	0%	0%	100%
2,36mm	2,36	0%	0%	100%
1,18mm	1,18	0%	0%	100%
600µm	0,6	54,23%	54,23%	45,77%
300µm	0,3	33,19%	87,42%	12,58%
150µm	0,15	10,52%	97,94%	2,06%
Fundo	0	2,07%	100%	0%

Zona Granulométrica - NBR 7211:2009	***
Massa específica NM 52:2002	2.54
Responsável: Valentina Teichmann Rodrigues	Data: 03/02/2022

Apêndice B – Curva granulométrica da areia média

 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SUL-RIO-GRANDENSE Campus Passo Fundo				
ANÁLISE DE AGREGADO MIÚDO				
DADOS DO CONTRATANTE				
NOME: Valentina Teichmann Rodrigues				
OBRA: Projeto final de curso				
DADOS DO MATERIAL				
AMOSTRA: Areia média				
PROCEDÊNCIA: ****			FORNECEDOR: JR cimentos	
Pen. c/ abertura de malha	Abertur a das peneira s (mm)	% Retida	% Retida <u>Acum.</u>	% Passa na peneira
9,5mm	9,5	0%	0%	100%
6,3mm	6,3	0,19%	0,19%	99,81 %
4,75m m	4,75	0,72%	0,91%	99,09 %
2,36m m	2,36	3,21%	4,12%	95,88 %
1,18m m	1,18	12,97 %	17,09 %	82,91 %
600µm	0,6	27,07 %	44,16 %	55,84 %
300µm	0,3	31,11 %	75,27 %	24,73 %
150µm	0,15	17,63 %	92,9%	7,1%
Fundo	0	7,10%	100%	0%

Composição granulométrica


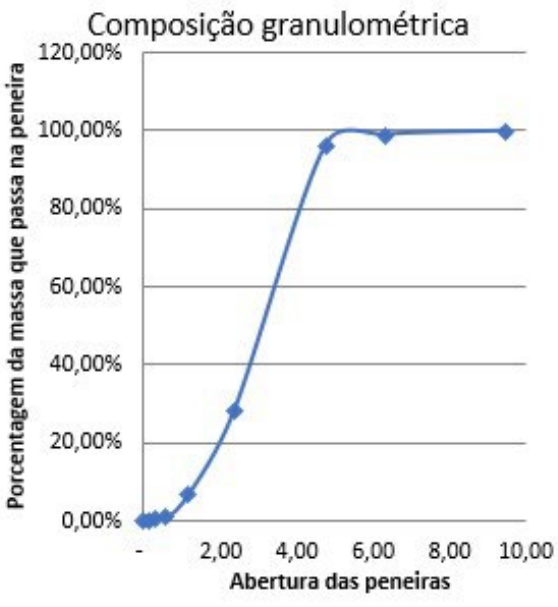


Porcentagem da massa que passa na peneira


Abertura das peneiras

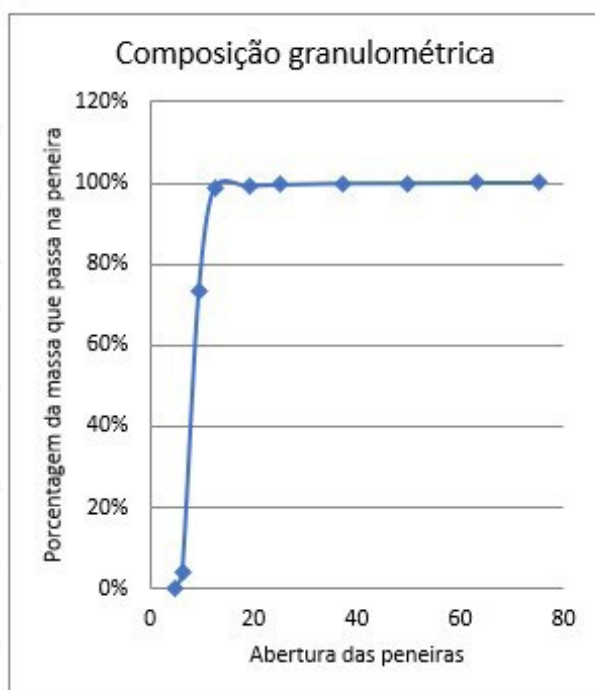
Zona Granulométrica - NBR 7211:2009	***
Massa específica NM 52:2002	2,3
Responsável: Valentina Teichmann Rodrigues	Data: 03/02/2022

Apêndice C – Curva granulométrica do pó de brita

 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SUL-RIO-GRANDENSE Campus Passo Fundo					
ANÁLISE DE AGREGADO MIÚDO					
DADOS DO CONTRATANTE					
NOME: Valentina Teichmann Rodrigues					
OBRA: Projeto final de curso					
DADOS DO MATERIAL					
AMOSTRA: Pó de brita					
PROCEDÊNCIA: ****			FORNECEDOR: JR cimentos		
Pen. c/ abertura de malha	Abertur a das peneira s (mm)	% Retida	% Retida Acum.	% Passa na peneira	 <p>Composição granulométrica</p>
9,5mm	9,5	0,14%	0,14%	99,86%	
6,3mm	6,3	0,96%	1,10%	98,9%	
4,75m m	4,75	2,82%	3,92%	96,08%	
2,36m m	2,36	67,95%	71,87%	28,13%	
1,18m m	1,18	21,33%	93,20%	6,8%	
600µm	0,6	6,17%	99,37%	0,63%	
300µm	0,3	0,49%	99,86%	0,14%	
150µm	0,15	0,14%	100%	0%	
Fundo	0	0%	100%	0%	
Zona Granulométrica - NBR 7211:2009			***		
Massa específica NM 52:2002			2,66		
Responsável: Valentina Teichmann Rodrigues			Data: 03/02/2022		

Anexo D – Curva granulométrica do pedrisco

 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SUL-RIO-GRANDENSE Campus Passo Fundo				
ANÁLISE DE AGREGADO GRAÚDO				
DADOS DO CONTRATANTE				
NOME: Valentina Teichmann Rodrigues				
OBRA: Projeto final de curso				
DADOS DO MATERIAL				
AMOSTRA: Pedrisco				
PROCEDÊNCIA: ****			FORNECEDOR: JR cimentos	
Pen. c/ abertura de malha	Abertur a das peneira s (mm)	% Retida	% Retida <i>Acum.</i>	% Passa na peneira
75mm	75	0%	0%	100%
63mm	63	0%	0%	100%
50mm	50	0,10%	0,10%	99,9%
37,5m m	37,5	0,14%	0,24%	99,86 %
25mm	25	0,24%	0,48%	99,52 %
19mm	19	0,31%	0,79%	99,21 %
12,5m m	12,5	0,48%	1,27%	98,73 %
9,5mm	9,5	25,68 %	26,95 %	73,05 %
6,3mm	6,3	69,10 %	96,05 %	3,95%
4,75m m	4,75	3,95%	100%	0%
Zona Granulométrica - NBR 7211:2009			***	
Massa específica NM 52:2002			1,2	



Apêndice E – Artigos que fizeram estudos semelhante com suas respectivas porcentagens de substituições

Título	Porcentagens de substituição	Dias de rompimento	Porcentagem ideal
Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado miúdo (1)	5%, 10%, 15%, 20%	7, 28	5%
Use of glass wastes as fine aggregate in Concrete (2)	10%, 20%, 30%, 40%, 50%	3, 7, 28	10%
Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in structural concrete - Effects on compressive strength (3)	15%, 20%, 25%, 30%, 40%	7, 28	30%
Experimental Studies on Replacement of Fine Aggregate with Glass and Fly Ash (4)	10%, 15%, 20%	7, 14, 28	15%
Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate (5)	10%, 20%, 30%	1, 3, 7, 28, 90	Redução de resistência
Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete (6)	10%, 15%, 20%	3, 7, 14, 28	20%
Utilization of Recycled Glass Waste as Partial Replacement of Fine Aggregate In Concrete Production (7)	10%, 20%, 50%	7, 14, 28	10%
Revisão literária do uso de vidro moído como substituto do agregado miúdo no concreto (8)	5%, 10%, 15%, 20%, 100%	28	20%
The Use of Sheet Glass Powder as Fine Aggregate Replacement in Concrete (9)	10%, 20%, 30%, 40%, 50%	Até 180	10%
Physico-mechanical and performance characterization of mortars incorporating fine glass waste aggregate (10)	20%, 50%, 100%	28, 90	50%
Análise do Desempenho Mecânico de Concretos e Argamassas Mediante a Substituição Parcial da Massa do Agregado Miúdo (Areia) por Vidro Moído Oriundo de Garrafas de Cerveja Long Neck. (11)	10%, 20%, 30%	3, 7, 28	20%
Efeitos da substituição de areia por vidro moído no comportamento de concretos em elevados temperaturas (12)	5%, 10%, 15%, 20%, 100%	63	20%
Study of Concrete Involving Use of Waste Glass as Partial Replacement of Fine Aggregates. (13)	10%, 20%, 30%, 40%	7, 28	20%
Avaliação da influência do resíduo de vidro utilizado como agregado miúdo nas propriedades do concreto. (14)	15%, 30%	7, 28, 148	Redução de resistência
Concreto reciclado: utilização de vidro temperado moído como substituição parcial do agregado miúdo na produção do concreto (15)	10%, 20%, 30%	7, 14, 21, 28	20%
Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa (16)	10%, 15%, 25%, 50%	7, 28, 63, 91	50%
Estudo da viabilidade para a produção de concretos com adição de resíduos de vidro em substituição ao agregado miúdo na cidade de Palmas – TO (17)	5%, 10%, 15%	7, 14, 28	15%
Avaliação da influência da utilização do pó de vidro como substituição parcial ao agregado miúdo nas propriedades do concreto auto adensável (18)	10%, 20%, 40%	3, 7, 14, 28	20%

Estudo de resistência do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por vidro de igual granulometria (19)	3%, 5%, 7%, 15%	14, 28, 60	5%
Effect of Substitution of Crushed Waste Glass as Partial Replacement for Natural Fine and Coarse Aggregate in Concrete (20)	25%, 50%, 75%, 100%	3, 7, 14, 28, 42, 90	25%
Influência dos resíduos vítreos na resistência à compressão axial do concreto do cimento Portland (21)	5%, 10%, 15%	7, 14, 28	20%
Incorporação de resíduos vítreos na fabricação de blocos de concreto para pavimentação intertravada (22)	10%, 20%, 30%	10	20%
Estudo de resíduo da lapidação de vidro para incorporação em argamassas de cimento Portland (23)	5%, 10%, 15%, 20%, 25%	7, 14, 28, 63, 91	20%
Resíduo industrial de vidro moído em argamassa de cimento portland (24)	10%, 15%, 20%	3, 7, 28, 56	20%
Produção de concreto cimentício com agregado de resíduos de vidro plano temperado (25)	50%, 100%	7, 28, 91	50%
Partial replacement of Portland cement with industrial glass waste in mortars (26)	10%, 15%, 20%	7, 28	20%
Estudo de argamassas com substituição parcial de cimento por resíduos de vidro moídos (27)	10%, 20%	7, 28, 90, 180	Redução de resistência
Efeito da incorporação de vidro de garrafas não retornáveis em matriz cimentícia (28)	3%, 5%, 10%, 15%	7, 14, 28, 91	15%
Incorporação de resíduos vítreos na fabricação de blocos de concreto (29)	10%, 20%	14, 28	20%
Análise da influência de resíduos de vidro nas propriedades mecânicas do concreto (30)	5%, 10%, 15%	28	5%

1. LOPEZ, D.A.R; AZEVEDO, C.A.P; NETO, E. Barbosa. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado miúdo. 2005. Santa Cruz do Sul, 2005.
2. GAUTAM, S.P; SRIVASTAVA, Vikas; AGARWAL, V.C. Use of glass wastes as fine aggregate in Concrete. J. Acad. Indus. Res. Vol. 1(6) November 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Vikas-Srivastava-8/publication/278299013_Use_of_glass_wastes_as_fine_aggregate_in_Concrete/links/557e826c08aeea18b777c97b/Use-of-glass-wastes-as-fine-aggregate-in-Concrete.pdf Acesso: 22 fev. 2022
3. ADAWAY, M.; WANG, Y. Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in structural concrete – Effects on compressive strength. Special Issue: Electronic Journal of Structural Engineering. v.14. 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/user/Downloads/2015-1-11.pdf>. Acesso: 22 fev. 2022
4. KUTTIMARKS, M.S; SHRUTHI, R. Experimental Studies on Replacement of Fine Aggretate with Glass and Fly Ash. International Journal of Emerging Engineering Research and Technology, v.2. May, 2014.
5. KOU, S.C; POON, C.S. Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate. Cement & Concrete Composites. 2009. p.107–113. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.12.002> Acesso: 22 fev. 2022

6. ISMAIL, Zainab Z; AL-HASHMI, Enas A. Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete. *Waste Management*, v. 29 p. 655-659. 2009. Disponível: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.08.012>. Acesso: 22 fev. 2022.
7. RAHIM, Nur Liza *et al.* Utilization of Recycled Glass Waste as Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete Production. *Material Science Forum*. West Lafayette, v.803. 2015. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.803.16> Acesso: 22 fev.2022
8. TINOCO, Vinicius Navarro Varela; JÚNIOR, Francisco Alves da Silva. Revisão literária do uso de vidro moído como substituto do agregado miúdo no concreto. 2018. 9p. Dissertação – Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, 2018.
9. MAGESWARI, M.; VIDIVELLI, Dr. B. The Use of Sheet Glass Powder as Fine Aggregate Replacement in Concrete. *The Open Civil Engineering Journal*. p. 65-71. 2010. Disponível em: <https://opencivilengineeringjournal.com/contents/volumes/V4/TOCIEJ-4-65/TOCIEJ-4-65.pdf> Acesso: 22 fev. 2022
10. PENACHO, Paulo; DE BRITO, Jorge; VEIGA, M. Rosário. Physico-mechanical and performance characterization of mortars incorporating fine glass waste aggregate. *Cement & Concrete Composites*. 2014. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.02.007> Acesso: 22 fev. 2022
11. COSTA, Kevin de Matos; ALMEIDA, Raíssa Coelho; MOREIRA, Thiago A. de Sousa. Análise do Desempenho Mecânico de Concretos e Argamassas Mediante a Substituição Parcial da Massa do Agregado Miúdo (Areia) por Vidro Moído Oriundo de Garrafas de Cerveja Long Neck. *Revista de Ciência e Tecnologia*, Paraná, 2020. Disponível em: [file:///C:/Users/user/Downloads/5942-25643-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/5942-25643-1-PB%20(1).pdf). Acesso: 22 fev. 2022
12. RIGHI, Débora; KOHLER, Lucas; KIRCHHOF, Larissa; LIMA, Rogério. Efeitos da Substituição de Areia por Vidro Moído no Comportamento de Concretos em Elevadas Temperaturas. Disponível em: http://abpervista.com.br/imagens/volume11_02/cap03.pdf 22 fev. 2022
13. MALIK, M. Iqbal. *et al.* Study of concrete involving use of waste glass as partial replacement of fine aggregates. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*. Chicago, v.3, July.2013. Disponível em: encurtador.com.br/iyPXY. Acesso: 22 fev. 2022
14. ROLLIM, Isabelle Vasconcelos. Avaliação da influência do resíduo de vidro utilizado como agregado miúdo nas propriedades do concreto. 2019. 134p. Dissertação – Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2019.
15. RESOLIN, Tiago Daner; ALBARELLO, Leonardo. Concreto reciclado – Utilização de vidro temperado moído como substituição parcial do agregado miúdo na produção do concreto. Disponível em: <https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/siepe/article/view/21899/12736>. Acesso: 22 fev. 2022
16. TRENTIN, Priscila Ongaratto *et al.* Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa. *Revista matéria*, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/wyCkXD3zkSmzPjPpkqmhm3r/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 22 fev.2022
17. CORDEIRO, Rafael dos Santos; MONTEL, Adão Lincon Bezerra. Estudo da viabilidade para a produção de concretos com adição de resíduos de vidro em substituição ao agregado miúdo na cidade de Palmas – TO: *Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, v.2, p. 104-123. 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/user/Downloads/1556-Texto%20do%20>

artigo-10061-4-10-20160310%20(1).pdf. Acesso: 22 fev. 2022

18. BARBOSA, João Pedro Noletto; RIBEIRO, Fábio Henrique de Melo; COUTINHO, Roque Santos. Avaliação da influência da utilização do pó de vidro como substituto parcial ao agregado miúdo nas propriedades do concreto auto adensável. 2021. Disponível em: <http://ulbra-to.br/singular/index.php/SingularETG/article/view/112/72>. Acesso: 22 fev.2022
19. CARVALHO, Adriano *et al.* Estudo de resistência do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por vidro igual granulometria. 2018. Disponível em: <https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/jjice/9jjice/paper/viewFile/9250/4127>. Acesso: 22 fev. 2022
20. OLOFINNADE, O.M; NDAMBUKI, J.M; EDE, A.N; OLUKANNI, D.O. Effect of Substitution of Crushed Waste Glass as Partial Replacement for Natural Fine and Coarse Aggregate in Concrete. *Materials Science Forum*, v.866. p. 58-62. Canadá. 2016. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.866.58>. Acesso: 22 fev. 2022.
21. MIRANDA, Jr; PAIVA, E.J.P; A.E.M. Influência dos resíduos vítreos na resistência à compressão axial do concreto de cimento Portland. 56º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Paraná. 2012. Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/081/46081531.pdf. Acesso: 22 fev. 2022.
22. LODI, André Luiz Giareta; GAMBIN, Graciele; WEIT, Marcelo Luiz. Incorporação de resíduos vítreos na fabricação de blocos de concreto para pavimentação intertravada. 2014. 54p. Dissertação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2014.
23. RIBEIRO, Anderson Osvaldo. Estudo de resíduo de lapidação de vidro para incorporação em argamassas de cimento Portland. 2015. 87p. Dissertação – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2015.
24. PAIVA, Otávio Augusto. Resíduo Industrial de vidro moído em argamassas de cimento Portland. 2009. 208p. Dissertação – Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2009.
25. SILVA, José Glêdson de Sousa. Produção de concreto cimentício com agregado de resíduos de vidro plano temperado. 2015. 158p. Dissertação – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2015.
26. LOPES, Raduan Krause; PIOVESAN, Jayne Carlos; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; GRONDONA, Atilio Efrain Bica. Partial replacement of Portland cement with industrial glass waste in mortars. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/bbMWMpSyNMDsSVbwGwvpGBR/?format=pdf&lang=en> Acesso: 22 fev. 2022
27. MATOS, Ana Mafalda. Estudo de Argamassas com substituição parcial de cimento por resíduos de vidro moídos. 2010. 157p. Dissertação – Universidade do Porto. Portugal, 2010.
28. BRITO, Bruno Rodrigues. Efeito da incorporação de vidro de garrafas não retornáveis em matriz cimentícia. 2021. Dissertação – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Presidente Prudente, 2021.
29. LODI, André Luiz Giareta; GAMBIN, Gracieli Regina; WEIT, Marcelo Luiz. Incorporação de resíduos vítreos na fabricação de blocos de concreto para pavimentação intertravada. 2014. 54p. Dissertação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2014.

30. DIAS, James Monteiro. Análise da influência de resíduos de vidro nas propriedades mecânicas do concreto. 2019. 79p.Dissertação – Universidade Federal do Alagoas. Delmiro Gouveia, 2019.

Avaliação da resistência mecânica de solo residual basáltico estabilizado com cal e fibra para a tentativa de utilização na produção de blocos crus

Evaluation of the mechanical strength of basaltic residual soil stabilized with lime and fiber for attempted use in the production of raw blocks

Arieli Torriani Costa

Acadêmica de Engenharia Civil, UDC, Medianeira – PR, Brasil

Eduardo Damin

Engenheiro Civil, Mestre, Professor do Curso de Engenharia Civil, UDC, Medianeira – PR, Brasil

DOI: [10.47573/aya.5379.2.84.3](https://doi.org/10.47573/aya.5379.2.84.3)

RESUMO

As pesquisas na área de tecnologia dos compósitos de blocos de solo-cal têm buscado materiais que melhorem suas propriedades mecânicas. A incorporação de fibras sintéticas em materiais como o solo está sendo cada vez mais abordada. Com o uso racional dos recursos naturais, a utilização do solo como material de construção tem se fortalecido ultimamente tendo o seu comportamento aperfeiçoado por meio da estabilização física e química. Quando um solo não tem as características geotécnicas necessárias para suportar a obra projetada, principalmente quanto à sua resistência, se faz necessário corrigi-lo ou substituí-lo por outro, com a inclusão ou retirada de componentes, ou com a ação de agentes químicos e é isso que se leva em consideração no estudo da estabilização do solo com cal e fibra para a posterior tentativa de utilização na produção de blocos crus. A grande parte das obras no ramo da construção civil, terá que lidar em algum momento com o solo local, ou seja, com suas características e suas propriedades. Este processo de remoção, extração e deslocamento do material gera novos gastos, exige um período maior para transporte e, ainda, gera degradação ambiental e poluição do ar, devido à forma de extração e de deslocamento com energia fóssil. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho mecânico do solo estabilizado com cal e fibra produzidos com compósitos de solo-cal e solo-cal-fibra. As análises serão divididas em duas etapas, sendo elas definição e caracterização dos materiais e análise das propriedades mecânicas. Os compósitos serão analisados mediante aos ensaios de resistência à compressão não confinada, aos 0, 28 e 56 dias de idade. O teor ótimo de cal de 10% foi definido através do método de pH. O percentual de fibra de 0,50% utilizada foi definido baseado na bibliografia e nos resultados de outros autores e em seguida moldados 47 corpos-de-prova para ensaio de resistência a compressão não confinada. Espera-se que após a realização dos ensaios da segunda etapa seja possível verificar a influência da incorporação da cal e das microfibras de poliéster na melhora das propriedades e características do compósito.

Palavras-chave: microfibra filamentos de poliéster. estabilização do solo. desempenho mecânico.

ABSTRACT

Research in the field of technology for soil-lime block composites has sought materials that improve their mechanical properties. The incorporation of synthetic fibers in materials such as soil is being increasingly addressed. With the rational use of natural resources, the use of soil as a building material has been strengthened lately, with its behavior improved through physical and chemical stabilization. When a soil does not have the geotechnical characteristics necessary to support the projected work, mainly in terms of its resistance, it is necessary to correct it or replace it with another, with the inclusion or removal of components, or with the action of chemical agents and this is what is taken into account in the execution of the blocks. Most of the works in the field of civil construction will have to deal at some point with the local soil, that is, with its characteristics and properties. The deposit for supplying replacement soil can be located in regions far away from the construction area. This process of removal, extraction and displacement of the material generates new expenses, requires a longer period for transport and, still, generates environmental degradation and air pollution, due to the form of extraction and displacement with fossil energy. In this context, this work aims to evaluate the mechanical performance of pressed blocks produced with soil-lime and soil-lime-fiber composites for use as sealing blocks. The analyzes will be divided into two stages, which are definition and characterization of materials and analysis of mechanical properties. The composites will be analyzed through unconfined compressive strength tests, at 0, 28 and 56 days of age. The optimal lime content of 10% was defined using the

pH method. The percentage of 0.50% fiber used was defined based on the literature and on the results of other authors and then 47 specimens were molded for unconfined compressive strength testing. It is expected that after carrying out the tests of the second stage it will be possible to verify the influence of the incorporation of lime and polyester microfibers in the improvement of the properties and characteristics of the composite.

Keywords: microfiber polyester filaments. soil stabilization. mechanical performance.

INTRODUÇÃO

A produção de tijolos ecológicos, tijolos alternativos ou tijolos de terra crua, tais como os tijolos de solo-cal e tijolos de solo-cimento, foi favorecida devido ao grande número de pesquisas que buscam a melhoria e o avanço dos materiais de construção atrelado ao fácil acesso a máquinas de produção manual de tijolos, sendo um método de prático manuseio e facilidade de execução.

Com o uso racional dos recursos naturais, a utilização do solo como material de construção tem se fortalecido ultimamente tendo o seu comportamento aperfeiçoado por meio da estabilização física e química. No entanto, seus efeitos e a intensidade dessas estabilizações serão diferentes para cada tipo de solo.

Por ser um material natural, seu processamento tende a ser menos poluente e menos intensivo em energia que os materiais normalmente utilizados na construção, como o cimento, cerâmica e aço (CORDEIRO *et al.*, 2019). Como o solo utilizado é coletado no local ou na região da construção, assim o consumo energético para o transporte dos insumos é reduzido.

Quando um solo não tem as características geotécnicas necessárias para suportar a obra projetada, principalmente quanto à sua resistência, se faz necessário corrigi-lo ou substituí-lo por outro, com a inclusão ou retirada de componentes, ou com a ação de agentes químicos e é isso que se leva em consideração na execução dos blocos. A grande parte das obras no ramo da construção civil, terá que lidar em algum momento com o solo local, ou seja, com suas características e suas propriedades.

A solução de substituição do solo local pode gerar grandes impactos econômicos e ao meio ambiente. A jazida para fornecimento do solo de substituição pode encontrar-se em regiões muito distantes da área de construção. Este processo de remoção, extração e deslocamento do material gera novos gastos, exige um período maior para transporte e, ainda, gera degradação ambiental e poluição do ar, devido à forma de extração e de deslocamento com energia fóssil.

A técnica de produção de tijolos crus é o resultado da mistura uniforme de solo, aglomerante e água em proporções primeiramente determinadas, depois compactada na forma de tijolos. Desde que bem executado e com controle na sua produção, o material apresenta em geral boa durabilidade e resistência a compressão.

A escolha do método a ser utilizado no melhoramento do solo deve ser baseado na economia e ainda na finalidade da obra. A estabilização ou melhoria dos solos instáveis com adições de cal é uma das mais antigas técnicas empregadas pelo homem. (GUÉRIOS,2013).

A cal tende apresentar resultados mais vantajosos em solos argilosos como o desse estudo e isso deve ser levado em conta quando se busca a melhoria ou um aumento no desempenho mecânico, buscando tornar o solo adequado para a produção de blocos prensados para vedação.

Outro benefício é agregar a essa mistura fibras pois elas atuam no comportamento mecânico dos solos ampliando a resistência, em especial a resistência à tração. (AYALA ,2020).

BASE TEÓRICA

De acordo com Cruz e Jalali (2010), quando os solos naturais não possuem as condições necessárias para exercer adequado desempenho a que estão destinados, quer quando aplicados no seu estado natural, em fundações ou escavações, quer quando utilizados como material de construção, um dos recursos possíveis é a alteração das suas características de maneira a melhorar o seu comportamento, tornando-os apropriados de responder de forma suficiente às solicitações previstas.

Os principais objetivos da estabilização dos solos são: diminuição da deformabilidade, diminuição da permeabilidade, aumento da resistência mecânica e diminuição da sensibilidade à umidade (DAZ, 2011).

Conforme Guimarães (2002), a estabilização de solos pode ser dividida em estabilização química e mecânica. A estabilização mecânica compreende a correção da granulometria e plasticidade, com adição ou subtração de certas quantidades das frações constituintes, além da etapa de compactação.

A estabilização mecânica, por correção granulométrica, está relacionada às melhorias induzidas no solo pela mistura deste com um ou mais solos e outros materiais, que possibilitam a obtenção de um novo produto com propriedades adequadas aos fins de engenharia requeridos. Na estabilização mecânica por correção granulométrica, procura-se obter um material bem graduado e de percentagem limitada de partículas finas, com a mistura de dois ou mais solos bem homogeneizada e com posterior compactação (PINTO, 2011).

De acordo com Cavarsan (2018), estabilização mecânica trata da compactação do solo e é amplamente utilizada na construção civil, principalmente, em obras de pavimentação. Esse tipo de estabilização visa diminuir o número de vazios do solo, aumentando a resistência e diminuindo a permeabilidade. A estabilização mecânica pode ser feita em diferentes graus de intensidade, chamados de energia. Usualmente, consideram-se três tipos de energia: normal, intermediária e modificada.

Já a estabilização química, por sua vez consiste na mistura do solo com aditivos orgânicos ou inorgânicos (materiais betuminosos, resinas, compostos de fósforo, silicatos de sódio, cal, cimento Portland, dentre outros), seguido do processo de compactação. GUIMARÃES (2002).

A estabilização química busca através da adição de estabilizantes obter maior resistência ao cisalhamento, menos permeabilidade e menor compressibilidade do que o solo em seu estado natural. O método consiste tanto nas interações químicas, físico químicas e físicas, que acontecem durante o processo de estabilização. Este inclui, também, aqueles nos quais um ou

mais compostos são adicionados ao solo com o objetivo de estabilizá-lo.

Dentre as técnicas de estabilização química citam-se a do solo-cimento, a do solo-cal, a do solo-betume, a do solo-resina, a estabilização com cinzas volantes (“fly ash”), a estabilização com o emprego de sais (cloretos), ácidos (ácido fosfórico), lignina, silicatos de sódio e de cálcio, aluminatos de cálcio, sulfatos de potássio, óxidos de ferro, cinzas pozolânicas de turfas e resíduos agrícolas (palha de arroz, casca de amendoim, bagaço de cana-de-açúcar), materiais vegetais (partículas de madeira, sobras de papel, polpa de celulose) (FERREIRA, 2005; ALCANTARA, *et al.*, 2011).

A adição de cal no solo é uma das técnicas mais antigas de estabilização de solos, sendo extremamente vantajosa por ser economicamente mais viável que outros métodos. Esse método é altamente difundido pelo Brasil e mundo, possuindo várias pesquisas que apresentam bons resultados quanto sua eficiência e durabilidade (LOPES JUNIOR, 2007; HABIBA, 2017).

A mistura solo com cal melhora a expansibilidade, retenção excessiva da umidade, plasticidade elevada dos solos e altera a curva de compactação do solo, com o aumento de teor ótimo de umidade e redução da massa específica aparente seca máxima, e melhora as propriedades mecânicas do material, através das reações pozolânicas (formação de silicatos e aluminatos de cálcio cimentantes) que acontecem a médio e longo prazo na mistura solo-cal (AKASAKI, 2011).

De acordo com Guimarães (2002), na estabilização do solo com cal ocorre a hidratação da cal primeiramente modificando o pH do solo e provocando floculação das argilas por motivo das reações de troca catiônica. Seguidamente o material sofre redução da expansão e da retração e melhora sua plasticidade. Com o tempo, o ataque da argila pela cal produz reações pozolânicas e fenômenos de carbonatação, conferindo melhores características geo-mecânicas ao conjunto.

Akasaki (2011), afirma ainda que o aumento da resistência à compressão da mistura solo-cal depende essencialmente das condições de cura (umidade e temperatura) e compactação. A umidade de moldagem deve ser trabalhada levando em consideração o teor ótimo, tendo em vista que quanto mais denso o solo-cal, maior a sua resistência.

A estabilização de solos com cal oferece modificações em algumas propriedades físicas do material. Em conformidade com alguns fatores, como tipo de solo, tipo e teor de cal, energia de compactação, período e condições de cura, é possível alcançar melhorias na plasticidade, trabalhabilidade, resistência, tensão deformação e fadiga (LOVATO, 2004).

Muitos autores identificam as fibras, pela origem, em artificial e natural. As fibras artificiais são aquelas geralmente com base polimérica, enquanto as fibras naturais podem ser de origem mineral, vegetal e animal. (AYALA, 2020).

O uso de materiais para aprimorar a qualidade dos solos é uma prática comum desde alguns milênios antes de Cristo. Solo misturado com palha, estivas de junco, bambus entre outros, em geral materiais de cunho vegetal constituídos de fibras resistentes, foram empregados nos Ziggurats, na Grande Muralha da China. (LIMA JÚNIOR *et al.*, 2016).

METODOLOGIA

Será utilizado solo residual basáltico, coletado na região central da cidade de Medianeira-PR. Inicialmente foi realizado testes preliminares para a definição da metodologia e do preparo das misturas. A relação solo/cal foi fixada em 10% de cal e a relação solo/fibra foi fixada em 0,50% de fibra. A adição de água foi variada conforme a massa seca de solo, afim de atingir a umidade ótima de 30,42%.

A amostra de solo foi retirada no bairro Ipê. Em uma obra de residência unifamiliar, mais precisamente na escavação das estacas para o muro de arrimo. Foram retirados aproximadamente 60 quilogramas de solo, a uma profundidade de 1,5 m, para utilizar nos ensaios. Adição física de filamentos de poliéster. Adição química de cal, hidrata.

Para a realização do ensaio de compactação em solo natural foi utilizado uma amostra de 15kg de solo separado em cinco partes iguais para produção de cinco corpos de prova, conforme mostra a NBR 7182 (ABNT, 2016) para cilindros pequenos sem reuso de material com um total de 3 camadas e 26 golpes por camada. Estando um corpo de prova na umidade ótima presumível, previamente estimada, dois corpos de prova abaixo desta e dois corpos de prova acima da mesma. Com os dados de massa específica aparente seca e umidade do solo é produzido então a curva de compactação e a partir dela retirados os dados de massa específica aparente seca máxima e umidade ótima. Para solo natural sem nenhuma adição, que foram analisados aos 0 dias, totalizando 5 corpos de prova e posterior realização do ensaio de resistência não confinada.

Já para a realização do ensaio de compactação em solo-cal, solo-fibra e solo-cal-fibra foram utilizadas amostras de 1,5kg para cada corpo de prova, foram moldados 06 corpos de prova para cada tipo de compósito, que foram analisados aos 0, 28 e 56 dias, totalizando 42 corpos de prova, para posterior realização do ensaio de resistência não confinada, conforme mostra o quadro 1, que traz dados de quantidade e tempo de cura dos corpos de prova.

Quadro 1 – Dados de cura e quantidade de corpos de prova

Estabilizante	Tempo de cura (dias)	Número de corpos de prova
Solo natural	0	5
Solo-Cal	0	6
	28	6
	56	6
Solo-Fibra	0	6
Solo-Cal+fibra	0	6
	28	6
	56	6

Fonte: Autora (2022).

RESULTADOS ESPERADOS

O estudo busca analisar o desempenho mecânico e as características de compósitos de solo-cal, solo-fibra e de solo-cal e fibra, através da incorporação de cal para estabilização do solo e micro fibras de poliéster, para constatar a influência de ambas as adições em conjunto. Diante

das pesquisas de outros autores apresentadas, a adição de cal e fibras no melhoramento do solo faz com que na média das resistências obtidas, tanto para à compressão simples quanto para a à compressão não confinada, das misturas solo-cal foram superiores as resistências obtidas para as misturas solo-cal e fibra.

Porém o compósito solo-cal apresentou um comportamento frágil, formando planos de rupturas bem definidos, enquanto para os corpos-de-prova de solo-cal e fibra o comportamento apresentado foi dúctil sem formação de planos definidos de ruptura e nem queda significativa da resistência após a tensão máxima. Também foi possível observar que as deformações foram distribuídas por todo o corpo de prova. Espera-se que a adição de fibras de poliéster e cal no solo residual basáltico contribua positivamente nas propriedades mecânicas.

Além disso busca-se definir o comportamento mecânico de blocos prensados de solo residual basáltico. Analisar o desempenho mecânico de blocos prensados com a dosagem ótima de cal e fibra. Avaliar se existe uma melhoria no desempenho do compósito solo cal fibra, como elemento de vedação. Dentre os estudos realizados com a adição de fibras, a maioria dos autores obteve resultados favoráveis. Espera-se que a adição de cal em conjunto com as fibras de poliéster consiga manter as propriedades e também melhorar a resistência a tração do solo em aproximadamente 9% a 15% da resistência à compressão simples.

RESULTADOS PRELIMINARES E DISCUSSÃO

O ensaio de compactação foi realizado no solo natural, segundo a NBR 7182/2016, o peso do solo, peso do molde, volume e o peso do solo úmido para definição da massa específica úmida é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1- dados obtidos no ensaio de compactação solo natural.

Massa específica das partículas (g/cm ³)					3,010
Energia Normal		26 GOLPES		3 CAMADAS	
Molde N°	01	02	03	04	05
Peso do Solo+Molde (g)	3884,00	4142,00	4284,00	4246,00	4208,00
Peso do Molde (g)	2384,00	2384,00	2384,00	2384,00	2384,00
Volume do Molde (cm ³)	990,90	990,90	990,90	990,90	990,90
Peso do Solo Úmido (g)	1500,00	1758,00	1900,00	1862,00	1824,00
Massa específica aparente úmida (g/cm ³)	1,514	1,774	1,917	1,879	1,841

Fonte: Autora, (2022).

A tabela 2 contém os dados das amostras que foram levadas para a estufa, para posterior definição da massa específica aparente seca, após a pesagem das amostras. As amostras para o cálculo do teor de umidade do corpo-de-prova eram retiradas do meio para melhor precisão dos resultados. Estas amostras foram mantidas na estufa por 48 horas para que houvesse a total desidratação e maior certeza dos dados coletados.

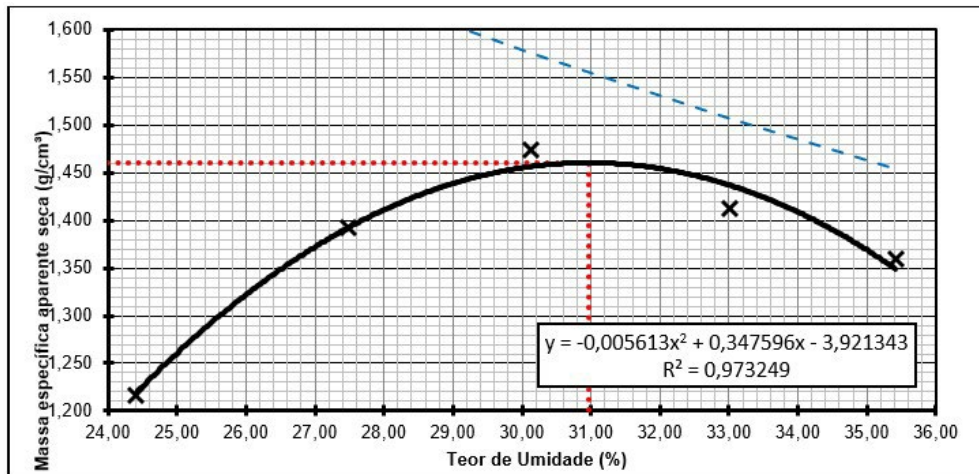
Tabela 2 - resultados solo natural

Umidade (%)					
Cápsula N°	1	2	3	3	1
Cáps+Solo Úmido (g)	283,67	233,04	256,42	259,55	292,76
Cáps+Solo Seco (g)	242,98	199,25	214,18	214,12	235,39
Peso da Cápsula (g)	76,29	76,29	74,01	76,51	73,41
Peso da Água (g)	40,69	33,79	42,24	45,43	57,37
Peso do Solo Seco (g)	166,69	122,96	140,17	137,61	161,98
Teor de Umidade (%)	24,41	27,48	30,13	33,01	35,42
Massa específica aparente seca (g/cm³)	1,217	1,392	1,473	1,413	1,359
Curva de saturação	1,732	1,644	1,576	1,507	1,455

Fonte: Autora, (2022).

O gráfico 1 ilustra os resultados, a curva de compactação, de saturação e a umidade ótima. A linha vertical representa o teor de umidade ótima do solo natural, sendo esse teor de aproximadamente 31%.

Gráfico 1 – curva de compactação do solo



Fonte: autora, (2022).

A tabela 3 mostra os resultados encontrados no gráfico, a massa específica aparente seca máxima em (g/cm³) e o resultado da Umidade Ótima (%).

Tabela 3 - resultados

RESULTADOS	
Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	1,460
Umidade Ótima (%)	30,96

Fonte: Autora, (2022).

Conforme os resultados encontrados para o solo natural, serão feitos posteriormente os ensaios para solo-cal, solo-fibra e solo-cal-fibra. E depois o ensaio de compressão não confinada dos corpos-de-prova.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo busca analisar o desempenho mecânico do solo estabilizado com cal e fibras, a fim de verificar a influência de ambas as adições em conjunto. Com base nas pesquisas apresentadas e analisadas, a adição de fibras de filamentos de poliéster, podem promover melhorias nas propriedades e características micro e macroestruturais do compósito, quando comparado com ao solo de referência.

Porém é necessário analisar atentamente alguns fatores para obtenção desses resultados, tais como: adição do teor correto de cada material, reatividade das partículas, tamanho e quantidade dos materiais incorporados, a dispersão dos mesmos e a forma de como a fibras é incorporada no compósito.

É válido ressaltar que a adição de filamentos de poliéster e a incorporação em relação à massa de cal poderão atribuir nos compósitos as propriedades desejadas, entretanto, se incorporado teor elevado desses materiais, os blocos de solo-cal e solo-cal e fibra podem não atingir os resultados estabelecidos no estudo. Ambos os materiais podem conferir resultados positivos quando estabilizados com a cal, porém, o que interessa é a incorporação dos dois materiais para verificar suas propriedades de ganho de resistência trabalhando em conjunto.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, Marco Antônio Morais *et al.* O uso de cinzas de casca de arroz como aditivo auxiliar na produção de tijolos de solo-cal. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 3, n. 1, 2011.

AYALA, Rosemary Janneth Llanque. Melhoria de solos com fibras provenientes da indústria avícola. Faculdade de tecnologia departamento de engenharia civil e ambiental, Brasília, 2020.

CAVARSAN, Maria Paula Guillen. Análise dos efeitos da adição de cal e de cimento para estabilização de solos. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CRUZ, Maria; JALALI, Said. Melhoramento do desempenho de misturas de solo-cimento. In: 12º Congresso Nacional de Geotecnia. Universidade do Minho, 2010.

DAS, B. M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. Tradução da 7ª ed. norte-americana, Ed. Cengage Learning, São Paulo, SP. Brasil. 2011.

FERREIRA, Regis de Castro; FALEIRO, Heloína Teresinha; FREIRE, Wesley Jorge. Desempenho físico-mecânico de solo argiloso estabilizado com cal e silicato de sódio visando aplicação em construções rurais. 2005.

GUÉRIOS, Eduan Maganhotto. Estudo do melhoramento de solo com adição de cal hidratada para uso em pavimento urbano. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

GUIMARÃES, José Epitácio Passos. A cal: Fundamentos e aplicações na Engenharia Civil. 2ª Ed. São Paulo: Pini, 2002.

LOVATO, Rodrigo Silveira. Estudo do comportamento mecânico de um solo laterítico estabilizado com

cal, aplicado à pavimentação. 2004.

MAACK, R. Geografia física do estado do Paraná. Imprensa Oficial do Paraná. 2002.

MACHADO, Amanda Ozório; DE ARAÚJO, Joice Andrade. Avaliação de Tijolos Ecológicos Compostos por Lodo de Eta e Resíduos da Construção Civil. 2014.

MALLELA, Jagannath; QUINTUS, H. Von; SMITH, K. Consideração de camadas estabilizadas com cal no projeto empírico-mecanicista de pavimentos. The National Lime Association, v. 200, p. 1-40, 2004.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. Notas de aula da disciplina Pavimentação. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, Minas Gerais, 2006.

_____. NBR 6459: Agregado miúdo - Determinação do limite de liquidez. 2017.

_____. NBR 6508: Determinação da massa específica. 1984.

_____. NBR 7180: Determinação do limite de plasticidade. 2016.

_____. NBR 7181: Análise Granulométrica. 1984.

_____. NBR 12770: Determinação da resistência à compressão não confinada. 1992.

_____. NBR 13555: Solo-cimento. Determinação da absorção de água. 2012

_____. NBR 12023: Solo-cimento. Ensaio de compactação. 2012.

_____. NBR 12024: Solo-cimento. Moldagem e cura de corpos-de- prova cilíndricos. 2012.

_____. NBR 12025: Solo-cimento. Ensaio de compressão simples em corpos-de- prova cilíndricos. 2012.

_____. NBR 13554: Solo-cimento. Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. 2012.

_____. NBR 15270: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos, Parte 2: Métodos de ensaios. 2017.