

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO FÍSICO E MECÂNICO DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE LAMINADOS DE FIBRA DE VIDRO

Mariana Ponsoni¹
Maiara Foiato²
Jhulis Marina Carelli³

Resumo

A utilização de resíduos em substituição aos agregados na produção de concreto tem se mostrado uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado dos recursos naturais. Este trabalho objetivou avaliar a influência do reaproveitamento de resíduo de laminados de fibra de vidro. Este material é utilizado na fabricação de carrocerias de câmara fria. No acabamento destas lâminas as suas laterais são cortadas para padronização das dimensões gerando assim grande volume de resíduo. Para utilização deste material realizou-se um processo de padronização onde, com uma guilhotina, as lâminas do resíduo foram cortadas em pequenos quadrados de 4 cm sendo posteriormente moídos. O resíduo triturado foi utilizado como substituto parcial da areia na produção de peças de concreto para pavimentação. Após o processo de moagem o resíduo foi separado em duas granulometrias, denominadas de fração grossa (FG) e fração média (FM), estando respectivamente no intervalo de 1,18 a 0,6 mm e de 0,6 a 0,3 mm. Cada fração substituiu em 5%, 10% e 15% o volume de areia média utilizada no concreto referência (sem utilização de resíduo). Para o estudo utilizou-se de um traço referência de proporção 1:1,39:2,11 (cimento CP V-ARI, areia média, pedrisco) e adição de 1% de aditivo plastificante sobre a massa do cimento. Foi definida uma relação água/cimento de 0,5 para todos os traços. Foram analisadas as propriedades dos concretos aos 7 dias de idade. No ensaio de resistência à compressão destacaram-se positivamente os traços FM 15% e FM 10%, que obtiveram resultados superiores em 39,2% e 37,8%, respectivamente, quando comparados com o traço referência. Para o ensaio de resistência à tração na flexão destacaram-se as mesmas frações granulométricas, acrescidos da FM 5%, que também obteve valor superior ao traço referência em 11%. Referente ao ensaio de absorção de água, os traços FG 15%, FG 5%, FM 15% e FM 5% apresentaram melhores resultados estando 3,4%, 14,5%, 2,6% e 2,5% abaixo do valor do traço referência, respectivamente. Avaliando todos dos quesitos que foram analisados neste estudo, o traço denominado FM 15% obteve todos os resultados positivos quando comparado com o traço referência, tais efeitos

¹ Engenheira Civil, e-mail: marianaponsoni40@gmail.com.

² Professora Mestre, Universidade do Oeste de Santa Catarina, e-mail: maiara.foiato@unoesc.edu.br.

³ Professora Mestre, Universidade do Oeste de Santa Catarina, e-mail: jhulis.carelli@unoesc.edu.br.

indicam influência positiva da utilização deste resíduo, representando um recurso alternativo para minimização do volume deste material em aterros.

Palavras-chave: Resíduo de laminados de fibra de vidro; Concreto; Peças de concreto para pavimentação.

1 INTRODUÇÃO

As peças de concreto para pavimentação, utilizadas em pavimentos intertravados, também conhecidas como pavers, consistem em peças pré-moldadas em diferentes medidas, podendo ser utilizadas em revestimento de calçadas, pátios, estacionamento e em locais de grande fluxo de pedestres. Contam também com grande facilidade de execução e manutenção, e assim que instalado, permite tráfego imediato. Quando há necessidade de manutenção, esta pode ser realizada somente no local específico. A inspeção desses componentes é regulamentada pela Norma Brasileira 9781 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), que estabelece requisitos e métodos de ensaio para a aceitação dessas peças, além de instruir locais corretos de armazenamento de produtos.

De acordo com Pereira (1999 apud LAFUENTE JUNIOR, 2012), nos últimos anos os resíduos apresentam-se como um dos principais problemas nas áreas urbanas, pois sua geração, descarte e disposição inadequados provocam diversos impactos sociais, econômicos e de saúde pública. Em vista disso, salienta-se a importância de as empresas estabelecerem estratégias que possam reduzir o impacto do volume ou as toxicidades desses resíduos.

Como exemplo e foco deste trabalho, têm-se os resíduos de laminados de fibra de vidro, derivados da produção de chapas destes laminados, estes são utilizados para fabricação de carroceria câmara fria, os quais, no acabamento tem suas laterais cortadas para a padronização das dimensões. Devido ao grande volume, cerca de 10 toneladas por mês, produzido mensalmente em uma indústria da região meio oeste de Santa Catarina, este resíduo acarretar para a empresa custos elevados na sua destinação em aterros, encarecendo o produto final, além de agredir o meio ambiente visto o elevado tempo de decomposição criando grandes acúmulos deste material.

A construção civil possui amplo potencial para aproveitamento de resíduos, reduzindo a necessidade de extração e utilização dos insumos naturais e dando opções viáveis e ambientalmente corretas ao que seria desperdiçado. O vidro pode ser considerado um bom substituto da areia natural, pois possui 72% de sílica em sua composição, similar ao vidro, estima-se que os laminados de fibra de vidro após a moagem, possam ser usados na confecção de peças de concreto.

Neste contexto, buscou-se verificar a viabilidade técnica do uso de resíduo de laminados de fibra de vidro como material substituto parcial da areia natural na fabricação de paver, a fim de possibilitar seu uso e contribuir no reaproveitamento de um resíduo abundante na região, favorecendo e deixando o processo operacional da empresa produtora menos oneroso, viabilizando também a confecção de concretos mais econômicos e ambientalmente corretos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PAVIMENTO INTERTRAVADO

Conforme descreve a NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), o pavimento intertravado é um tipo de revestimento, que possui grande diversidade de formatos e cores. São blocos pré-fabricados de concreto, maciço, assentados sobre uma camada de areia e travados entre si por contenção lateral.

O intertravamento é a capacidade que os blocos adquirem para resistir aos movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal, ou de rotação em relação a seus vizinhos. A camada de revestimento, composta por peças pré-moldadas de concreto, é a superfície de desgaste e cumpre, ainda, uma importante função estrutural. Ela estabelece a condição de rolamento (conforto ao usuário), durabilidade do pavimento e contribui decisivamente para a função estrutural do pavimento (distribuição de tensões), por meio de suas características de intertravamento, além de suportar as tensões cisalhantes superficiais de contato das rodas dos veículos.

2.2 PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

Os pavers são blocos pré-moldados de concreto utilizados como revestimento de pavimento intertravado. O concreto para a produção destes elementos deve ser constituído de cimento Portland, podendo ser qualquer tipo e classe, agregados e água, podendo ser utilizados aditivos e pigmentos (NBR 9781; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

A mesma norma preconiza que os blocos devem atender a certos limites e tolerância nas dimensões. Para o comprimento eles não devem superar os 250 mm, a sua largura útil deve ser de no mínimo 97 mm na área da peça destinada a aplicação da carga no teste de compressão, e sua espessura de ser de no mínimo 60 mm, especificada em múltiplos de 20 mm, a norma ainda especifica que a tolerância entre as medidas das peças de um mesmo lote não deve ultrapassar os 3 mm para comprimento, largura e espessura.

Outra verificação, realizada nos blocos, é a absorção de água, que consiste em verificar o acréscimo de massa no corpo devido à água em relação à massa desse mesmo corpo seco, sendo expresso em porcentagem. A absorção média não pode ser maior do que 6%, não se admitindo nenhum valor individual maior que 7% conforme a NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Com relação a sua resistência a compressão, os blocos de concreto devem atender às seguintes especificações: Para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha a resistência característica à compressão (F_{pk}) aos 28 dias deve ser de ≥ 35 (MPa), já para o tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados a resistência característica à compressão (F_{pk}) aos 28 dias deve ser de ≥ 50 (MPa).

Entretanto a NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 6), salienta que “para lotes de peças de concreto entregues ao cliente antes dos 28 dias, devem apresentar no mínimo 80% do Fpk especificado para os 28 dias”.

Salbego e Girardi (2018) citam que para a confecção destas peças pré-moldadas utilizam-se os mesmos materiais básicos como cimento, areia, brita e água, por vezes ainda se usam aditivos e pigmentos.

De acordo com os estudos de Toniello (2018), entre os materiais apropriados para a confecção dessas peças pré-moldadas estão o cimento CPV – ARI, que possibilita um curto período de cura e desforma. Também se emprega o uso de agregados miúdos como areia e agregado graúdo como o pedrisco.

As peças pré-moldadas podem ser produzidas de diversas maneiras durante o processo de fabricação. Segundo Fernandes (2016), destacam-se pelo menos três processos bem distintos: processo dormido, processo virado ou batido e o processo prensado. Durante a realização deste estudo utilizou-se o processo dormido em que, o concreto permanece dentro do molde de um dia para o outro. Segundo Fernandes (2016), neste processo observa-se um menor consumo de cimento em relação aos outros processos de fabricação. Um dos pontos fracos neste processo é a produtividade, que é muito pequena.

As indústrias de fabricação de pré-moldados e de concretos compactados, utilizam comumente o processo prensado. As empresas utilizam máquinas vibroprensas ou rolos compactadores para que as misturas atinjam a compactação necessária para alcançar as propriedades mecânicas desejadas (REZENDE *et al.*, 2012).

2.3 RESÍDUO DE LAMINADOS DE FIBRA DE VIDRO

Segundo laudo do Laboratório Rede Metrológica (2009), os laminados de fibra de vidro utilizados neste trabalho são enquadrados na classe de agressividade II, basicamente sua composição é, resina de poliéster de alta qualidade, reforço de fibra de vidro, tecido de fibra de vidro e uma camada de gelcoat. Possuem alta resistência a impactos, intempéries e a ataques químicos, evitando a degradação ao ficarem expostos ao sol e chuva (SULFIBRA, 2006).

São muito resistentes à tração e à flexão, além de também possuírem alta resistência frente às intempéries e aos ataques químicos. Tem alto nível de isolamento térmico, além de ser ótimo isolante elétrico e não estar sujeito a oxidação (SULFIBRA, 2006). Por ser um material isolante térmico, estes laminados são bastante utilizados por fabricantes de carrocerias para transporte de alimentos que necessitam de refrigeração.

O resíduo é gerado no corte destas laterais, que geralmente possuem imperfeições, e posteriormente é descartado em aterros. Segundo Dalmolin (2020, colaborador em uma empresa fabricante, a geração dos resíduos chega a aproximadamente dez toneladas/mês, o que resulta em um alto acúmulo de material, além de gastos necessários para transporte e destinação a aterros.

Segundo Zattera *et al.* (2000), este material vem sendo bastante utilizado pela facilidade de obtenção de diversos produtos e formas, mas que causa transtorno quanto ao depósito em aterros e principalmente inutilização de matéria prima. Ainda, aponta que algumas técnicas têm sido desenvolvidas como forma de reutilizar ou degradar o material, mas que o processo de moagem possui maior facilidade de implementação, principalmente pelo fator econômico.

2.4 ESTUDOS COM INCORPORAÇÃO DE LAMINADOS DE FIBRA DE VIDRO EM CONCRETOS

Guadagnin (2019) buscou analisar a influência e viabilidade da incorporação de diferentes teores do resíduo de laminado de fibra de vidro moído como substituto parcial da areia (média e fina) no concreto autoadensável, utilizando um traço de referência na proporção de 1: 0,93: 0,62: 0,38: 0,004 (cimento, areia fina, areia média, pedrisco, água e aditivo superplastificante) e três frações granulométricas do resíduo, sendo 0,6-0,3mm, 0,3-0,15mm e 0,15-fundo, substituindo o agregado miúdo em volume nos teores de 5%, 10% e 15% para as três frações.

No estado fresco, verificou que, quanto mais fina a fração do resíduo menor o espalhamento, chegando a uma queda de até 30% quando em relação ao traço referência. Os traços utilizando a fração média e fina do resíduo não apresentaram bom desempenho nos quesitos de espalhamento e estabilidade visual, principalmente com teores de 10% e 15% de substituição, sendo os melhores resultados com a fração de maior dimensão no teor de 5% em substituição, porém com as substituições de 10% e 15% nesta mesma fração, apresentaram leve exsudação (GUADAGNIN, 2019).

No estado endurecido, a fração mais grossa no teor de 5% resultou em uma resistência à compressão maior em relação ao referencial. As frações médias e fina nas porcentagens de 10% e 15%, respectivamente, apresentaram redução de 8% da resistência à compressão em relação ao traço referência.

A resistência à tração obteve melhores resultados com a fração maior do resíduo, indicando a influência da dimensão das partículas (GUADAGNIN, 2019).

Delgado (2020) buscou verificar a viabilidade técnica da substituição parcial da areia natural por laminados de fibra de vidro na fabricação de concreto, utilizando-se de um traço referência na proporção de 1:1,385:2,115:0,45 (cimento, areia, brita, água), e três frações granulométricas de 0,60-0,30mm, 0,30-0,15mm e menor que 0,15mm, sendo caracterizadas como fração grossa, média e fina, respectivamente. A substituição da areia foi executada em teores de 5% e 10%, em volume.

No estado fresco, verificou-se que, assim como condiz os estudos de Guadagnin (2019), que todos os traços sofreram uma redução expressiva na trabalhabilidade conforme o aumento dos teores de resíduo, sendo a redução mais significativa nos traços com a fração mais fina do material.

Observando a massa específica e o teor de ar incorporado para cada traço, pode-se perceber que conforme aumento no teor do resíduo houve redução da massa específica, sendo explicado pelo fato de que as frações possuem valores inferiores à densidade da areia, quanto mais fina a fração, menor a massa específica e maior o teor de ar (DELGADO 2020).

No estado endurecido, a fração mais grossa com teor de 5% obteve um aumento de 11% na resistência a compressão em relação ao traço referência, o que pode ser explicado devido ao baixo teor de ar, os traços de nomenclatura RF, da fração fina, no intervalo granulométrico de 0,15mm a fundo, nos teores de substituição em 5% e 10% respectivamente, RF5 e RF10 também resultaram em valores superiores ao de referência, comprovando que partículas finas tendem a preencher mais facilmente os vazios. Quanto a absorção, os resultados obtidos foram próximos aos de referência apesar de não manterem uma relação com os resultados de resistência à compressão como era esperado devido à influência do índice de vazios, indicaram um bom comportamento do RG10, demonstrando uma menor porosidade do concreto (DELGADO 2020).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.1.1 Cimento Portland

Para este estudo o aglomerante utilizado foi o CP V – ARI, da marca Votoran, e de acordo com o fabricante a massa específica para o lote utilizado era de 3,12 g/cm³. Este cimento possui alto teor de clínquer e alto grau de finura que resultam em um cimento com alta resistência inicial e tempo de pega mais rápido, sendo ideal para indústrias de artefatos pré-moldados por possibilitar maior produtividade devido a rápida desforma.

3.1.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi o pedrisco, o qual foi adquirido em uma loja da cidade de Herval d' Oeste/SC. Para o estudo este agregado foi seco em estufa e armazenado em tonéis no laboratório de materiais.

Para os ensaios relacionados ao agregado graúdo, foram seguidas as prescrições normativas baseadas na distribuição granulométrica (NBR NM 248; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003); massa específica e absorção de água (NBR 16917; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021); e a determinação do teor de material pulverulento (NBR 16973; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021).

3.1.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia média, também adquirido em uma loja da cidade de Herval d'Oeste/sc. Durante o estudo este agregado foi seco em estufa e armazenado em tonéis no laboratório.

Para os ensaios relacionados ao agregado miúdo, foram seguidas as prescrições normativas baseadas na distribuição granulométrica (NBR NM 248; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), determinação do teor de material pulverulento (NBR 16973; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021) e determinação da massa específica (NBR 16916; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021).

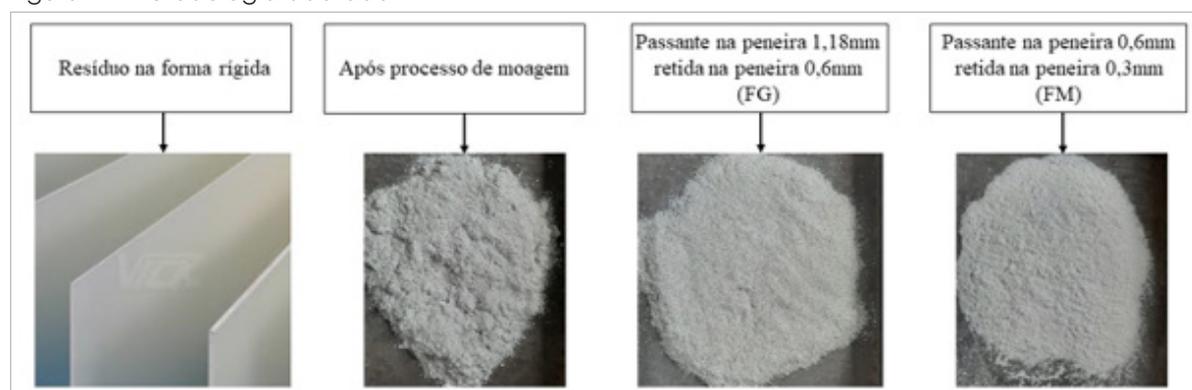
3.1.4 Água

Para a realização dos ensaios utilizou-se água proveniente da rede de abastecimento do Serviço Intermunicipal de Água e Esgoto (SIMAE) da cidade de Joaçaba/SC.

3.1.5 Resíduo de laminado de fibra de vidro

O resíduo utilizado nas substituições de areia, conforme mencionado anteriormente, refere-se às rebarbas provenientes do processo de corte na fabricação de laminados de fibra de vidro. Devido ao fato de apresentar-se inicialmente em forma rígida, o mesmo passou por processo de moagem, para este processo, os laminados foram cortados, com o auxílio de uma guilhotina, em quadrados de aproximadamente 4 x 4 cm e após terem sido cortados eles foram moídos em uma máquina de fazer ração para animais. Ainda, em razão da necessidade de padronizar as partículas para validação dos traços realizou-se o processo de peneiramento, delimitando-se duas frações granulométricas distintas. A metodologia segue a ordem da Figura 1, já a nomenclatura adotada para cada fração encontra-se na Tabela 1.

Figura 1 – Metodologia adotada



Fonte: os autores.

Tabela 1 – Nomenclatura adotada

Fração do resíduo	Nomenclatura
Passante na peneira 1,18 mm e retida na 0,6 mm	FG
Passante na peneira 0,6 mm e retida na 0,3 mm	FM

Fonte: os autores.

Para os ensaios relacionados ao resíduo foram seguidas as prescrições normativas para a verificação da massa específica (NBR 16605; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) e determinação do teor de material pulverulento (NBR 16973; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021).

3.1.6 Aditivo

Na confecção dos blocos de concreto para pavimento intertravado fez-se o uso do aditivo MIRA® SET 421. Segundo o fabricante o peso específico desse líquido é de 1,085 - 1,125 g/cm³, cuja recomendação é de usar na dosagem de 0,5% até 1% com base na quantidade de ligantes totais (cimento e adições). Trata-se de um aditivo redutor de água, desenvolvido para aplicação em temperatura ambiente elevada com alto poder dispersante e boa manutenção de abatimento.

3.2 DOSAGENS DO CONCRETO DE REFERÊNCIA

Para iniciar a confecção dos traços de concreto foi primeiro estabelecido um traço referência, sem nenhuma substituição de resíduo, adotou-se inicialmente a proporção em massa de 1:3,5 (cimento; agregados), desdobrando o traço para um traço unitário de 1:1,39:2,11 (cimento CPV-ARI; areia; pedrisco), teor de argamassa de 41%, a relação água/aglomerante foi fixada em 0,50, foi utilizado também 1% de aditivo plastificante sobre a massa do cimento. Esses parâmetros foram mantidos para todos os outros traços com a única diferença da substituição do resíduo em parte da fração do agregado miúdo.

Em relação aos métodos adotados para a inserção dos materiais dentro da betoneira, seguiu-se a seguinte sequência:

- a) Inicialmente molhou-se a betoneira para retirada de possíveis impurezas;
- b) Adicionou-se agregado graúdo seco, água e misturou-se por 1 minuto;
- c) Adicionou-se cimento Portland, mais água e misturou-se por mais 1 minuto;
- d) Com a betoneira em repouso foi adicionado uma fração do agregado miúdo, depois com o equipamento ligado foi adicionado o restante do agregado em pequenas frações, misturou-se por aproximadamente 3 minutos; nos traços com substituição, o resíduo era acrescentado juntamente com a areia.

- e) Com a betoneira em repouso adicionou-se o aditivo e o restante da água dentro do recipiente, misturou-se por mais 2 minutos;

Após a mistura foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone conforme descreve os procedimentos da NBR 16889 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020). Este ensaio foi realizado apenas para fins comparativos entre o traço referência e os demais traços utilizando resíduo, ou seja, pelo fato do concreto ser vibrado não se limitou uma classe de trabalhabilidade para o mesmo. Além disso, realizou-se o ensaio de massa específica do concreto seguindo as prescrições da NBR 9833 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

Para fins comparativos foi realizado o cálculo de consumo de materiais por m³, e também o custo desses materiais.

3.3 CONCRETOS COM RESÍDUO

O resíduo foi inserido no concreto, em volume, nos teores de 5%, 10% e 15% pela substituição do agregado miúdo utilizado no traço de referência. A Tabela 2 apresenta cada traço executado e sua respectiva nomenclatura.

Tabela 2 – Identificação de cada traço

Fração do resíduo	Nomenclatura
Traço referência	TR
Traço com fração granulométrica grossa - 5% de resíduo	FG 5%
Traço com fração granulométrica grossa - 10% de resíduo	FG 10%
Traço com fração granulométrica grossa - 15% de resíduo	FG 15%
Traço com fração granulométrica média - 5% de resíduo	FM 5%
Traço com fração granulométrica média - 10% de resíduo	FM 10%
Traço com fração granulométrica média - 15% de resíduo	FM 15%

Fonte: os autores.

Do mesmo modo que no traço referência foi realizado ensaio de abatimento de tronco de cone e massa específica nestas misturas para fins comparativos.

3.4 ENSAIOS NO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Para a moldagem das peças de concreto para pavimentação utilizou-se de formas plásticas de dimensões 10x20x6cm. Já para os corpos de prova prismáticos utilizou-se de forma de madeira prensada de dimensões 10x35x10cm. Para ambas as formas se utilizou óleo lubrificante como desmoldante. A moldagem foi realizada em uma camada de concreto vibrado sobre uma mesa vibratória por aproximadamente 7s. Após a moldagem, as formas

foram cobertas com plástico e somente após 24h foram desformadas e mantidas sobre uma bancada para cura ambiente até o dia anterior ao dia do rompimento, pois em consonância com a NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) as peças foram saturadas em tanque com água por no mínimo 24 horas antes do ensaio de resistência à compressão.

Em relação aos ensaios executados no concreto, no estado endurecido, foram separadas 6 peças para realizar o ensaio de resistência à compressão aos 07 dias de idade e 3 peças para o ensaio de absorção de água, conforme descreve a NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Os corpos de prova prismáticos de concreto utilizados para ensaio de tração por flexão, empregando o princípio da viga simplesmente apoiadas com duas forças concentradas nos terços do vão devem seguir algumas recomendações no momento da moldagem, sendo de seção transversal quadrada e vão de apoio de 300mm, totalizando 3 peças por traço, conforme descreve a NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016).

Em acordo ao que descreve a NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), antecedente a realização do ensaio de resistência à compressão, realizou-se o capeamento da superfície de carregamento de todas as peças de concreto submetidas ao ensaio. O capeamento foi executado com argamassa de traço 1:2:05 (cimento; areia; água) conforme Fotografia 1. O capeamento foi executado sobre uma borracha nivelada, com uma camada de óleo lubrificante como desmoldante, utilizando duas régua como referência para nivelar toda a camada de concreto com a mesma espessura.

Fotografia 1 – Capeamento dos pavers com argamassa



Fonte: os autores.

Para o ensaio de absorção, as peças foram colocadas em um tanque para saturar por no mínimo 24 horas e individualmente cada peça foi pesada na condição saturada superfície seca, em sequência passaram 24 horas na estufa a uma temperatura de 110 ± 5 °C e repetiu-se a pesagem de cada peça.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A seguir encontram-se os resultados de caracterização dos agregados e resíduo utilizado nesse estudo.

4.1.1 Agregado graúdo

Em relação a caracterização do agregado graúdo foram realizados ensaios de granulometria, massa específica, absorção de água e teor de material pulverulento. Parte dos resultados encontram-se na Tabela 3.

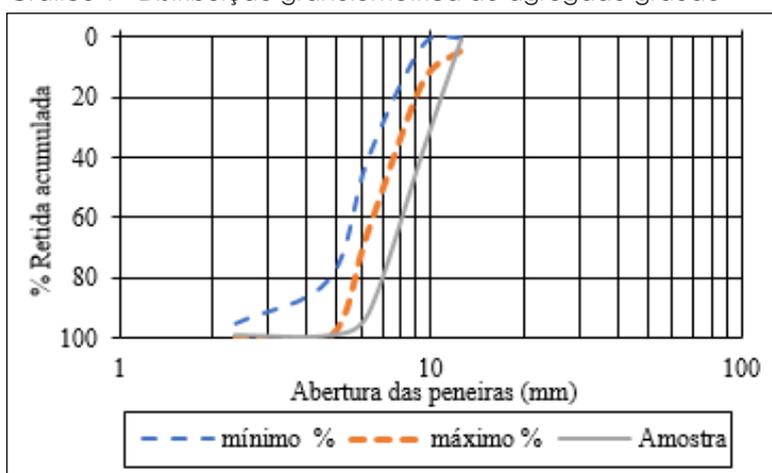
Tabela 3 – Caracterização do agregado graúdo

Propriedades	Resultado
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,32
Material Pulverulento (%)	1,18
Absorção de água (%)	8,4

Fonte: os autores.

A classificação do agregado graúdo foi determinada através da comparação da composição granulométrica apresentada na NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009) e as faixas granulométricas especificadas pela NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), como pode-se visualizar no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Distribuição granulométrica do agregado graúdo



Fonte: os autores.

A partir do gráfico pode-se observar que o agregado apresenta valores muito próximos à zona granulométrica 4,75/12,5, porém está fora da faixa recomendada pela NBR 7211, podendo assim interferir no desempenho da mistura. Ainda, no ensaio de granulometria foi

possível determinar que o agregado graúdo apresenta dimensão máxima característica de 12,5 mm e módulo de finura de 6,36.

4.1.2 Agregado miúdo

Em relação a caracterização do agregado miúdo foram realizados ensaios de granulometria, massa específica e teor de material pulverulento. Parte dos resultados encontram-se na Tabela 4.

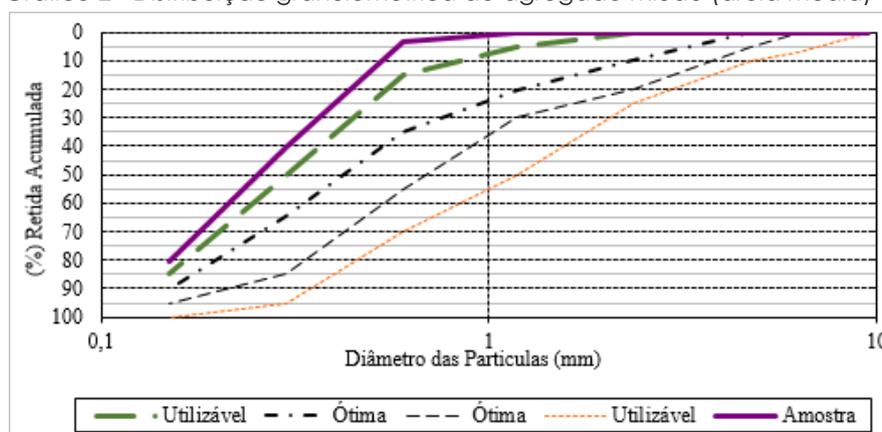
Tabela 4 – Caracterização do agregado miúdo

Propriedades	Resultado
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,63
Material Pulverulento (%)	7,45

Fonte: os autores.

A curva granulométrica da areia está apresentada no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo (areia média)



Fonte: os autores.

A partir do Gráfico 2 é visível que a curva da amostra fica fora das faixas estabelecidas pela NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), podendo assim causar problemas à mistura por conter uma grande quantidade de finos. Pela região onde a curva se encontra no gráfico, podemos classificá-la como uma areia fina. Ainda, no ensaio de granulometria foi possível determinar que o agregado miúdo apresenta dimensão máxima característica de 0,6 mm e módulo de finura de 1,24.

4.1.3 Resíduo de laminados de fibra de vidro

Por ter passado por um processo de peneiramento dispensou-se a realização do ensaio de granulometria, assim foram realizados ensaios para determinação do teor de material pulverulento e massa específica. Os resultados estão presentes na Tabela 5.

Tabela 5 – Caracterização do resíduo de laminados de fibra de vidro

Fração granulométrica resíduo	Propriedades	Resultado
FG	Massa específica aparente (g/cm ³)	1,54
	Material Pulverulento (%)	2,42
FM	Massa específica aparente (g/cm ³)	1,54
	Material Pulverulento (%)	3,72

Fonte: os autores.

4.2 AVALIAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Através da realização do ensaio de abatimento de tronco de cone obteve-se os resultados do *slump* de cada traço, conforme apresenta a Tabela 6.

Tabela 6 – Resultado do abatimento de tronco de cone

Traço	Slump (cm)
TR	1
FG 5%	3
FG 10%	3
FG 15%	2
FM 5%	3
FM 10%	2
FM 15%	1

Fonte: os autores.

Percebe-se uma melhora na aparência do concreto fresco com uso de resíduo, especialmente quando comparado o traço referência TR (Fotografia 1-a) com os traços FG 10% (Fotografia 1-b) e FM 10% (Fotografia 1-c). Em relação a trabalhabilidade do concreto, pode-se perceber que com a utilização da fibra as misturas ficaram com maior trabalhabilidade.

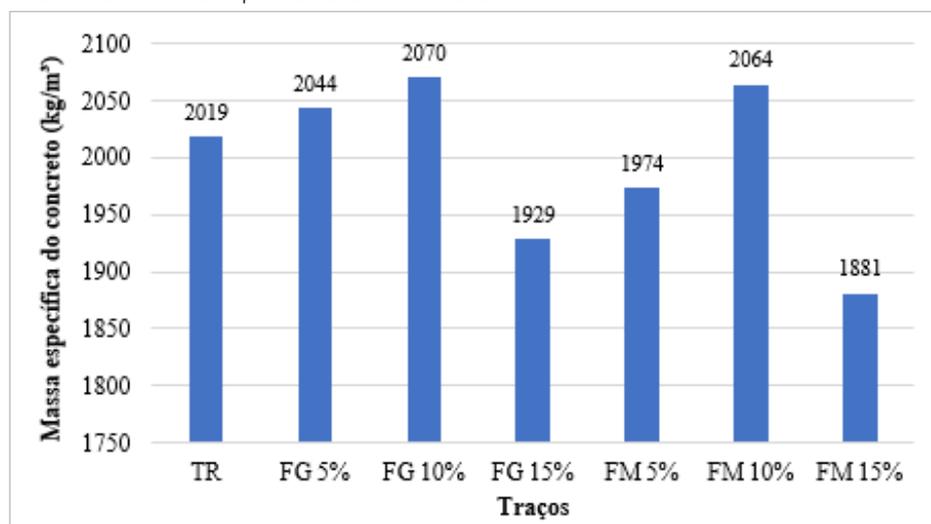
Fotografia 1 - Consistência do concreto: TR (a), FG 10% (b) e FM 10% (c)



Fonte: os autores.

Além da consistência, determinou-se também a massa específica do concreto no estado fresco de todos os traços executados. Os valores encontrados estão presentes no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Massa específica do concreto



Fonte: os autores.

Através dos resultados apresentados no Gráfico 3 pode-se observar que os traços FG 5%, FG 10% e FM 10% obtiveram o resultado da massa específica superior ao do traço referência, isso possivelmente deve-se a maior trabalhabilidade do concreto, fazendo com que o concreto ficasse com menos vazios, ficando melhor adensado, e, portanto, maior valor de massa específica.

Os traços utilizando 5% e 15% de substituição do agregado miúdo apresentaram valor menor que o traço referência. Estes valores contrários ao que aconteceu com as frações de 10%, obtiveram menor trabalhabilidade, ocasionando então maior número de vazios e, portanto, menor valor de massa específica.

4.2.1 Custo e consumo de material por m³

Os resultados de consumo de material por m³ para cada traço estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 – Consumo de material por m³ (kg/m³)

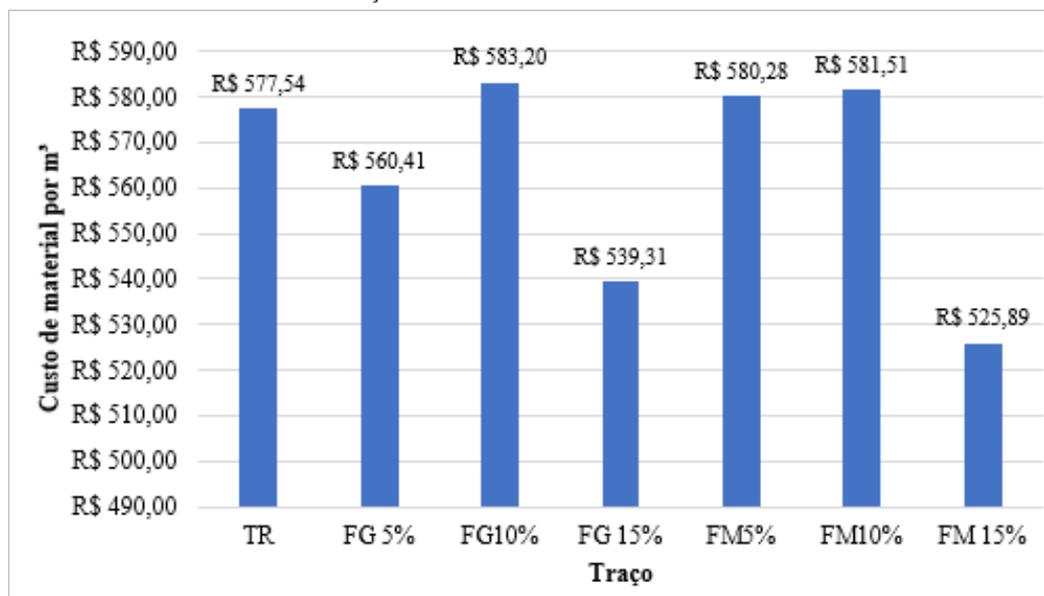
Material	TR	FG 5%	FG 10%	FG 15%	FM 5%	FM 10%	FM 15%
Cimento	447,67	453,22	458,98	427,72	437,69	457,65	417,07
Areia	622,26	629,28	574,18	505,35	577,97	572,52	492,77
Pedrisco	944,59	956,28	968,45	902,48	923,53	965,64	880,02
Resíduo	-	31,50	63,80	89,18	30,42	63,61	86,96
Aditivo	4,48	4,53	4,59	4,28	4,38	4,58	4,17

Fonte: os autores.

O cálculo para obtenção da quantidade de materiais foi realizado a partir da massa específica, por isso se obteve uma variação na quantidade de material, mesmo mantendo o mesmo traço e a quantidade de materiais.

Os resultados de custo de cada traço estão representados no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Custo de cada traço



Fonte: os autores.

A partir do Gráfico 4 é possível identificar que as frações utilizando 10% de substituição da areia por resíduo apresentaram um custo maior que o traço referência, isso se dá pelo valor de massa específica mais elevado, o concreto ficou melhor trabalhável nessa porcentagem, ficando menos poroso, conseqüentemente com maior valor de massa específica maior consumo de materiais. Nos demais traços o custo foi inferior ao traço de referência. É possível verificar também, que os traços FG 15% e FM 15% apresentaram valor menor que o traço referência, estando 6,62% e 8,94%, respectivamente, abaixo do valor do traço referência.

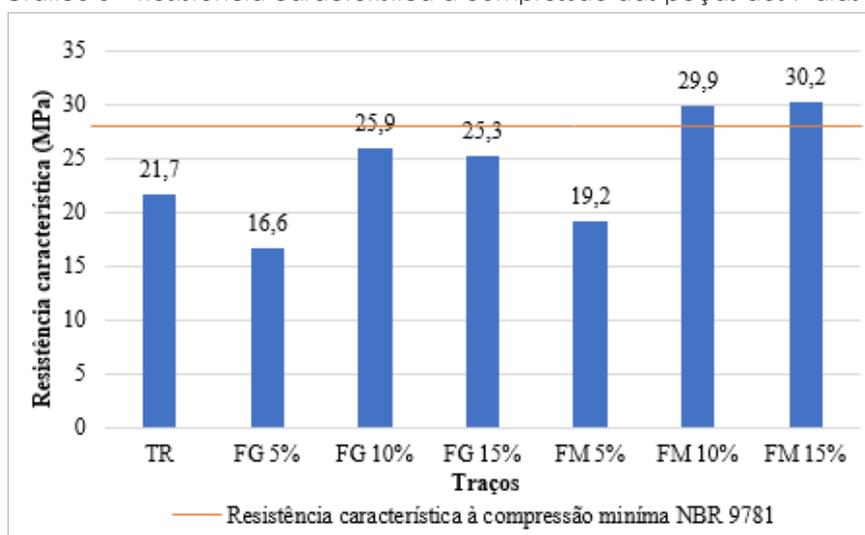
4.3 AVALIAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

4.3.1 Resistência à compressão

Devido a utilização do cimento CPV - ARI nos traços de concreto, as peças foram submetidas ao ensaio de resistência à compressão após 7 dias de idade. A NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) descreve que as peças de concreto com idades inferiores a 28 dias devem apresentar no mínimo 80% do valor da resistência característica mínima de 35 MPa.

Os resultados de resistência à compressão característica, considerando o fator de espessura nominal das peças e o coeficiente *students* estão representados no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Resistência característica à compressão das peças aos 7 dias



Fonte: os autores.

Observando o Gráfico 5 pode-se visualizar que o traço referência (TR) e todos os traços utilizando a fração grossa (FG) do resíduo não atingiram o mínimo estipulado pela normativa que é de 28 MPa aos 7 dias de idade, porém observou-se ganho de resistência com o aumento da quantidade de substituição do agregado miúdo pelo resíduo de laminados de fibra de vidro à mistura. Obteve-se aumento de 16,6% e 19,4%, respectivamente para os traços FG 15% e FG 10%, comparados com o valor do traço referência. Já para o traço FG 5% observou-se uma queda no valor da resistência em 23,5%.

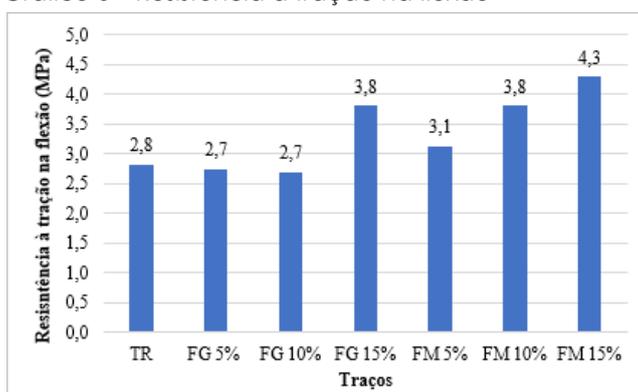
É possível notar que os traços utilizando a fração média apresentaram valores superiores de resistência quando comparados com a fração grossa, nota-se também que apenas os traços FM 15% e FM 10% atingiram resistência superior à mínima de 28 MPa. Estes traços, FM 15% e FM 10% apresentaram resistência à compressão maior em 39,2% e 37,8% respectivamente, comparados com o valor do traço referência. Do mesmo modo que o traço FG 5%, o traço FM 5% teve um valor da resistência à compressão de 11,5% inferior quando comparando com o traço referência.

Nota-se que como foi mantida a mesma relação de água/cimento para todas as dosagens, ao adicionar as porcentagens de 10% e 15% de resíduo na mistura houve uma melhora na trabalhabilidade do concreto, deste modo o concreto de referência e os concretos utilizando 5% de substituição ficaram menos trabalháveis quando comparado aos com maior porcentagem de resíduo, ocasionando em dificuldade durante a moldagem, o que pode ter resultado em vazios no interior das peças, interferindo no resultado de resistência à compressão.

4.3.2 Resistência à tração na flexão

Os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão de todos os traços estão apresentados no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Resistência à tração na flexão



Fonte: os autores.

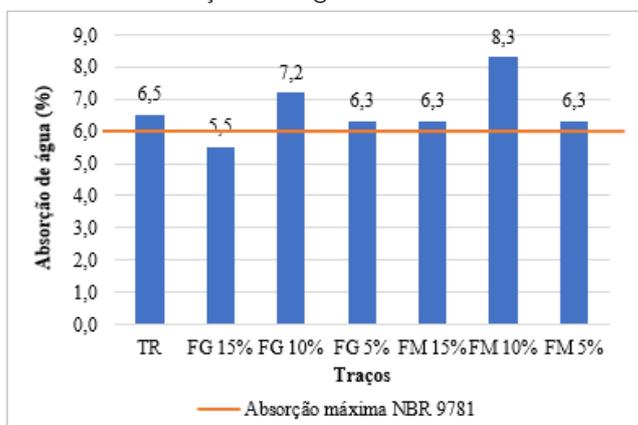
Observando o Gráfico 6 pode-se perceber que a fração média, denominada FM 5%, FM 10% e FM 15% atingiu resistência superior em 12,9%, 28,9% e 11,6%, quando comparada com as mesmas porcentagens de substituição da fração FG, observou-se também que somente os traços FG 10% e FG 5% obtiveram valores menores que o traço referência.

A fração FM teve um bom desempenho, e a resistência acompanhou a substituição, ou seja, quanto mais material substituído, maior foi o valor da resistência. Estes resultados mostram que o resíduo adicionado a mistura pode ter trabalhado como um reforço para os corpos de prova prismáticos.

4.3.3 Absorção de água

Os resultados da absorção média de água das peças de concreto estão apresentados no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Absorção de água média



Fonte: os autores.

Diferente do que recomenda a norma, as peças foram ensaiadas em idades distintas entre os traços, o TR foi ensaiado aos 16 dias de idade, FM 15% e FG 15% aos 10 dias de idade, FG 10% aos 14 dias de idade, FM 10% aos 8 dias de idade, e FG 5% e FM 5% aos 11 dias de idade.

A NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), estabelece um valor médio menor ou igual a 6% não sendo admitido nenhum valor individual maior que 7%.

É possível verificar através do Gráfico 7 que o traço FG 5% foi o único que apresentou valor de absorção média de água inferior a 6% e todos os demais ultrapassaram o limite estabelecido pela norma. A absorção de água das peças de concreto variou entre 5,2 % e 39% com o valor estabelecido por norma. Pode-se observar também que a absorção das peças foi próxima quando comparadas as mesmas porcentagens com frações diferentes.

Condizente com estudos de Delgado (2020), os resultados elevados de absorção de água nos traços FG 10% e FM 10%, indicam uma maior quantidade de finos na mistura que tende a resultar em um teor maior de absorção.

4.3.4 Inspeção visual e análise dimensional

Todas as peças de todos os traços apresentaram bom acabamento visual, aspecto homogêneo, arestas regulares e ângulos retos, com poucos desvios (Fotografia 2).

Fotografia 2 - Acabamento visual face superior



A (TR); B (FG 15%); C (FG 10%); D (FG 5%); E (FM 15%); F (FM 10%) e G (FM 5%)
Fonte: os autores.

A análise dimensional foi realizada com o auxílio de um paquímetro digital, coletando informações de largura, comprimento e altura. A NBR 9781 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) estabelece alguns requisitos como, comprimento máximo de 250mm, largura de no mínimo 97 mm e espessura de no mínimo 60mm. As peças de todos os traços atingiram os requisitos de comprimento máximo e de largura mínima, porém nenhum traço atingiu a espessura mínima (Fotografia 3).

Fotografia 3 - Espessura das peças



A (TR); B (FG 15%); C (FG 10%); D (FG 5%); E (FM 15%); F (FM 10%) e G (FM 5%)
Fonte: os autores.

5 CONCLUSÃO

Através desta pesquisa foi possível avaliar a influência da substituição do agregado miúdo pelo resíduo de laminados de fibra de vidro no desempenho de peças de concreto para pavimentação. As substituições foram realizadas nos teores de 5%, 10% e 15% em duas frações granulométricas, fração grossa (FG) e fração média (FM). Avaliou-se o desempenho das peças quanto as propriedades no estado fresco e endurecido, onde as comparações foram realizadas sempre com base no traço de referência para que fosse possível a comparação com os demais.

No que tange as avaliações feitas no concreto no estado fresco, os resultados demonstram uma melhora na trabalhabilidade das misturas com a incorporação do resíduo mesmo mantendo-se a mesma relação água/cimento para todos os traços.

Quanto aos resultados de resistência característica à compressão, apenas os traços FM 15% e FM 10% atingiram a recomendação mínima normativa no valor de 28 MPa, para idades inferiores a 28 dias de cura. Notou-se também que os traços FG 15% e FG 10% obtiveram valores superiores de resistência característica à compressão quando comparados com o traço referência. Todavia o traço referência também não atingiu o valor mínimo de normativa, uma vez que se mostrou 22,5% abaixo deste parâmetro.

Nos resultados de resistência à tração na flexão foi possível verificar que os mesmos traços que atingiram maior resistência à compressão, também atingiram maior valor de resistência à tração na flexão. Observou-se que para este estudo a fração média foi a que apresentou os melhores resultados.

Quanto aos resultados de absorção média de água das peças, o traço FG 5% foi o único que apresentou valor de absorção média de água inferior a 6% e todos os demais traços ultrapassaram o limite estabelecido pela norma.

Por fim, a substituição de areia pelo resíduo de laminados de fibra de vidro apresentou resultados satisfatórios em relação a trabalhabilidade, resistência à compressão, quando trabalhado em frações, de 10% e 15% de substituição. O mesmo ocorreu no ensaio de tração na flexão, porém para este ensaio encaixa-se também a fração FM 5%, já que a mesma apresentou valor maior que o traço referência. Para a absorção de água observou-se que as frações de 5% e 15% foram as que apresentaram melhores resultados, ficando abaixo do traço referência. Houve um aumento de 39,2% no valor da resistência à compressão do traço FM 15% indicando um bom comportamento do material em teores maiores e granulometria mais homogênea, que passou por processo de peneiramento. Os resultados testemunham a viabilidade de estudos mais aprofundados da utilização do resíduo em substituição da areia natural. Tais efeitos indicaram influência positiva do mesmo, além de representarem um recurso alternativo para minimização do volume deste material em aterros.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 – agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação – Especificações e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833 – Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.** Rio de Janeiro, 2008 versão corrigida 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605 – Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916 – Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917 – Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16973 – Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2021.

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

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

DALMOLIN, Jhonatan. **Laminados de fibra de vidro.** Iomerê: 17 set. 2020. Entrevista concedida à Daniela Alves Delgado.

DELGADO, Daniela A. Estudo da influência nas propriedades do concreto com a incorporação de resíduos de laminados de fibra de vidro. In: 62º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2020, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IBRACON, 2020.

FERNANDES, Idário D. **Blocos e Pavers – Produção e controle de qualidade.** Ribeirão Preto. 7ed. 2016, 200 p.

GUADAGNIN, Alyson L. D. **Estudo da influência da utilização do resíduo de laminados de fibra de vidro no concreto autoadensável.** 2019. 31 p. Artigo de Estágio Supervisionado II (Curso de Engenharia Civil) - Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2019.

LAFUENTE JUNIOR, A.N.A. Resíduos sólidos em restaurante comercial: um estudo de caso na cidade de Santos/SP. **Revista de Tecnologia Aplicada**, Faculdade Campo Limpo Paulista, v.6, n.2, p.44-61, 2012 (Mai/Ago). Disponível em: <https://www.cc.faccamp.br/ojs-2.4.8-2/index.php/RTA/article/view/430>. Acesso em: 4 abr. 2022.

PEREIRA, J.T.N. Gerenciamento de Resíduos Sólidos em Municípios de Pequeno Porte. **Revista Ciência e Ambiente**, n. 18, Santa Maria-RS, 1999. 42-52p.

REZENDE, M. L. S; Nascimento, J. W. B; Neves, G. A; Silva, F.L.H; Leal, A.F.; Ferreira, H. C. **Uso de metacaulim em concreto seco: uma abordagem por superfície de resposta**. Rio Grande do Sul, 2012. 12 p.

SALBEGO, Ricardo Ispanhol; GIRARDI, Ricardo. Análise de concretos para peças de pavimentação preparados com agregado reciclado e natural. **R. Eletr. Cient. Inov. Tecnol**, Medianeira, v. 09, n. p141- p158, set/dez 2018. Disponível em: file:///C:/Users/User/Desktop/7508-38523-1-PB.pdf. Acesso em: 25 maio 2020.

SULFIBRA. **Laminados de fibra de vidro**. Iomerê. 2006. Disponível em: <https://www.sulfibra.com.br/produtos>. Acesso em: 4 abril. 2022.

TONIELO, Lefícia Cristina. **Estudo para adição de pigmentos inorgânicos em peças de concreto para pavimentação**. Relatório de Estágio Supervisionado II – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2018. 107 p.

ZATTERA, J. Ademir *et al*. Reuso de resíduos de laminados de fibra de vidro na construção civil. **Universidade de Caxias do Sul**, Caxias do Sul, p. 1-15, ago. 2000.

