



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

ARTHUR HENRIQUE KNORST COLLING

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE
VIDRO EM PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO**

**ERECHIM
2020**

ARTHUR HENRIQUE KNORST COLLING

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE
VIDRO EM PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado na
Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.
Orientador: Prof. Dr. Eduardo P. Korf
Coorientadora: Profa. MSc. Suelen C. Vanzetto

ERECHIM
2020

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Colling, Arthur Henrique Knorst

Reciclagem de resíduos de polímero reforçado com fibra de vidro em peças de concreto para pavimento intertravado / Arthur Henrique Knorst Colling. -- 2020. 36 f.

Orientador: Doutor Eduardo Pavan Korf

Co-orientadora: Mestre Suelen Cristina Vanzetto
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Erechim, RS, 2020.

1. Reciclagem. 2. Resíduos. 3. Polímero Reforçado com Fibra de Vidro. 4. Paver. 5. Valoração de Resíduos. I. Korf, Eduardo Pavan, orient. II. Vanzetto, Suelen Cristina, co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

ARTHUR HENRIQUE KNORST COLLING

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE
VIDRO EM PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção de grau de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Federal da Fronteira Sul.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

24/08/2020

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Eduardo Pavan Korf – UFFS
Orientador

Profa. MSc. Suelen Cristina Vanzetto – URI
Coorientadora

Prof. Dr. Vander Yamauchi – UFFS

Profa. Dra. Marília Terezinha Hartmann – UFFS

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho não seria possível sem o auxílio de muitas pessoas.

Agradeço a Deus.

Agradeço minha família e minha namorada Raquel.

Agradeço aos meus amigos, especialmente, Caroline, Felipe e Gabriel.

Agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Eduardo Pavan Korf.

Agradeço a minha coorientadora, Professora MSc. Suelen Cristina Vanzetto.

Agradeço a todos os professores da graduação.

Agradeço aos colegas de laboratório e grupo de pesquisa.

Agradeço aos técnicos do laboratório da UFFS e da URI.

Agradeço aos proprietários da empresa que cederam o resíduo.

Agradeço aos professores que compõem a banca.

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A produção e geração de resíduos sólidos, assim como sua destinação final é um grave problema, principalmente, no ambiente industrial. Nesse sentido, a reciclagem e valorização desses materiais tornam-se uma alternativa, ao invés da destinação em aterro sanitário, geralmente aplicada, ou pela destinação inapropriada, observada em alguns casos. No presente estudo, avaliou-se a aplicação de um resíduo de polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV), oriundo de uma empresa do setor, na cidade de Erechim – RS, em misturas de concreto para a produção de peças para pavimento intertravado. Realizou-se a substituição de parte do agregado miúdo do concreto pelo resíduo no teor de 0, 5, 10 e 15%, em dosagens específicas. Avaliaram-se as peças produzidas por meio de ensaios de durabilidade, propriedades mecânicas, características dimensionais e visuais. Após os ensaios, conclui-se que a substituição na faixa de 10 a 15% tiveram os melhores resultados quanto aos requisitos de aplicação, representando uma alternativa viável para locais de baixa solicitação de tráfego.

Palavras-chave: Paver. PRFV. Reciclagem de resíduos.

ABSTRACT

Production and generation of solid waste, as well as its destination, is a serious problem, especially in the industrial environment. In this sense, recycling and recovery for these materials become an alternative, instead of destination in a landfill, commonly applied, or by inappropriate destination, observed in some cases. The study, evaluated the increment of a glassfibre reinforced polymer (GFRP) waste, from an industry in the sector, at the city of Erechim – RS, in concrete mixtures for the production of paver blocks. The fine aggregate was replaced in parts by the GFRP waste, in the contents of 0, 5, 10 and 15%. The paver blocks produced were evaluated by durability tests, mechanical properties, dimensional and visual characteristics. After the tests, it was concluded that the substitution in the percentages of 10 and 15% had the best results in terms of application requirements, representing a viable alternative for places with low traffic demand.

Keywords: Paver blocks. Glass fibre reinforced polymer. Waste recycling.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	METODOLOGIA.....	12
2.1	PREPARAÇÃO DO RESÍDUO.....	12
2.2	CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO.....	14
2.4	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE	16
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO.....	19
3.2	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE	23
3.2.1	Ensaio tronco de cone.....	23
3.2.2	Inspeção visual e avaliação dimensional.....	23
3.2.3	Resistência à compressão simples	24
3.2.4	Absorção de água.....	26
3.3	CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL	28
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
	REFERÊNCIAS	31
	APÊNDICE A - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	35
	APÊNDICE B – ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	36

1 INTRODUÇÃO¹

Durante as últimas décadas a preocupação com a temática do meio ambiente aumentou significativamente em todo o mundo. A deterioração do meio ambiente no planeta é causada pelos padrões insustentáveis de produção e consumo, os quais, aliados a pouca eficácia ao gerir resíduos, ocasionam problemas em diversos âmbitos, como a poluição em solo e água, e aumento de gastos com tratamentos de água e de saúde (SACCARO, 2016).

Segundo Casagrande *et al.* (2008), seguir apenas os padrões mínimos expressos na legislação ambiental não é considerado suficiente para manter vantagens competitivas, sobretudo no mercado externo. A preocupação das indústrias com um desempenho ambiental correto é crescente, sendo buscada de várias formas. Uma dessas formas são as certificações da Organização Internacional de Normatizações (ISO), como a linha 14.000, sobre sistemas da gestão ambiental, adequando-se atividades, produtos e serviços, para a menor geração de impactos, apresentados no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ABNT, 2004b).

A ideia de sustentabilidade no meio industrial também tem abordado, cada vez mais, a utilização de matérias primas extraídas e manipuladas de forma consciente, como resíduos gerados no próprio processo. Dessa forma, ocorre um processo mais limpo em todos os níveis da produção, desde a redução na extração das matérias primas até a geração do produto, então pode-se considerar o processo como sustentável (PUSAVEC; KRAJNICK; KOPAC, 2010).

Outro ponto sobre a produção de resíduos, é sua destinação. Em algumas indústrias nota-se a priorização da disposição final ambientalmente adequada (ou até mesmo inadequada), em detrimento de um uso ambientalmente correto, o qual poderia concentrar-se no reaproveitamento e reciclagem dos resíduos sólidos, agregando valor aos mesmos. A indústria de polímeros reforçados com fibra de vidro (PRFV) pode ser tomada como exemplo, pois seus resíduos, de classe II A, ou seja, não perigosos, porém não inertes, acabam sendo destinados, em um cenário ideal, à aterros controlados, por conta de sua natureza não-inerte (ASOKAN; OSMANI; PRICE, 2009).

Os PRFV, segundo Wait (2010), são amplamente utilizados na confecção de peças devido a facilidade de assumirem o formato desejado. Esses são produzidos a partir da junção de fibra de vidro com uma matriz polimérica, sendo aplicados a um molde. Os moldes utilizados podem ser tanto abertos quanto fechados, sendo o primeiro método mais utilizado, por conta de

¹O presente trabalho não segue as normas da Universidade Federal da Fronteira Sul para trabalhos acadêmicos, mas sim de Artigo Científico, conforme as orientações da revista científica na qual busca-se sua publicação.

seu custo reduzido, porém com maior geração de resíduos. Além dessa geração, ocorrem também desperdícios em rebarbas e acabamentos de peças, sendo o resíduo uma possível matéria-prima.

A produção em PRFV alcança números elevados, segundo a Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos (ALMACO), em seu último levantamento, a produção em PRFV alcançou 172,2 mil toneladas (ALMACO, 2019). Como características destes laminados são mencionados: altas propriedades mecânicas, alta resistência à tração, flexão e impacto, leveza, não condução de corrente elétrica (bom isolamento), resistência à corrosão e a integralidade de duas formas e dimensões quando submetido a condições extremas de uso, devido ao baixo coeficiente de dilatação térmica e baixa absorção de água (ZATTERA *et al.*, 2000).

Na literatura encontram-se utilizações dos resíduos de PRFV, principalmente, na busca por uma nova maneira de empregar esse material. Os resíduos de PRFV para serem reutilizados ou reciclados, geralmente, passam por um processo de beneficiamento, principalmente, em suas aplicações na engenharia civil, para, dessa forma, obter uma granulometria de agregado fino, os quais, de acordo com a ABNT (2003), podem ser definidos como materiais passantes na peneira de 4,75mm. Com esse formato de beneficiamento é possível encontrar sua aplicação em concreto/cimento (ASOKAN; OSMANI; PRICE, 2009; CORREIA; ALMEIDA; FIGUEIRA; 2011; CORINALDESI, 2012), argamassa (TITTARELLI; MORICONI, 2005; FARINHA; DE BRITO; VEIGA, 2019) e geopolímeros (RIVERA *et al.*, 2018). Também são estudadas formas de reaplicar o resíduo no processo produtivo, como no estudo de Barros (2019), onde é utilizado como substituto da fibra de vidro na produção.

Dentre os nichos de utilização do resíduo, destaca-se a sua possível utilização em concreto. É possível notar, porém, que não existem muitos estudos para utilização desse concreto com finalidade de conceber peças de concreto. Segundo a Norma Brasileira (NBR) 9781 (ABNT, 2013), peças de concreto são componentes pré-moldados de concreto, concebidos juntamente com agregados e água. Essas são utilizadas como material de revestimento em pavimento intertravado, os quais são pavimentos flexíveis, cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas em uma camada de assentamento, tendo as juntas entre as peças preenchidas por material de rejuntamento, sendo intertravamento do sistema proporcionado pela contenção. Esse pavimento, assim como as peças individualmente, é popularmente chamado de paver.

A utilização de blocos intertravados de concreto para pavimentação, atualmente, vem

crescendo, sendo utilizados principalmente em parques, praças, calçadas, ruas e pátios. O avanço de sua utilização se dá devido às suas características, entre elas o baixo custo de manutenção e o aumento no escoamento e infiltração das águas superficiais. Além disso, após a execução da pavimentação, o tráfego de pessoas e veículos é imediato, não há necessidade de aguardar o tempo de cura, a mão de obra não precisa ser especializada, há facilidade de assentamento das peças e ainda, o material possui uma diversidade de cores e formatos (WIEBBELLING, 2015).

Os estudos sobre pavers também vem crescendo, na literatura, encontra-se a utilização de diferentes resíduos para sua produção. Esses substituem um material padrão ou são adicionados na mistura, na intenção de encontrar uma nova destinação para o mesmo, além de baratear o custo de produção do paver (BITTENCOURT, 2012). Entre esses é possível observar a utilização de conchas do mar (NGUYEN *et al*, 2013), resíduos de construção/demolição (KUMAR; SHRIVASTAVA; GUPTA, 2020), fibra de juta (KUNDU; CHAKRABORTY; CHAKRABORTY, 2018), resíduo de pavimento asfáltico (HOSSINEY *et al*, 2020), resíduo de pedras ornamentais (AMARAL *et al*, 2019) e casca de coco (PENNARASI; SOUMYA; GUNASEKARAN, 2019). Também encontram-se estudos utilizando-se resíduos de natureza polimérica, assim como o PRFV, como o policloreto de vinila (PVC) (SANTOS; FERRARI, 2019) e politereftalato de etileno (PET) (ALMEIDA, 2016), no entanto, até o momento não explorou-se adequadamente a utilização de resíduo PRFV, com essa finalidade.

Outro benefício da aplicação do resíduo em paver, é o efeito de encapsulamento. O encapsulamento é o processo que consiste em prender o resíduo em um meio solidificante, reduzindo sua mobilidade, toxicidade e, muitas vezes, tornando-o inerte (TRUSSELL, 1994). Esse método é aplicado para diferentes resíduos de natureza perigosa, como os da indústria automobilística contendo metais pesados (SUCEK *et al*, 2005), resíduos inorgânicos industriais (SILVA, 2007), componentes eletrônicos (NAIA, 2014), lodo de curtume (BARRETO, 2016) e lodo de estação de tratamento de água (RAMIREZ, 2015).

Através do cenário apresentado, o presente trabalho objetiva estudar a aplicação de resíduo de PRFV na produção de pavers. Para tanto avaliou-se a aplicação do resíduo como substituinte ao agregado fino, visando a produção de peças de concreto para pavimento intertravado, estimulando a valoração e reciclagem do resíduo. Caracterizou-se o resíduo quanto a granulometria, massa específica e microestrutura, e produziu-se peças de concreto, com porcentagem de substituição de agregado fino por resíduo, de 0, 5, 10, 15%. Analisou-se a mistura de concreto pelo ensaio de tronco de cone e avaliou-se a resistência à compressão simples, a absorção de água por capilaridade e inspecionou-se visualmente as peças concebidas,

para efeitos de comparação entre a utilização do resíduo de PRFV moído, frente ao material padrão.

2 METODOLOGIA

A metodologia baseou-se nas normas brasileiras e do Mercosul (NM), disponibilizadas pela ABNT, além de literatura à respeito da utilização desse resíduo e do desenvolvimento de peças de concreto com diferentes resíduos. A sequência seguida para o desenvolvimento foi: coleta, redução, beneficiamento e caracterização do resíduo; produção, avaliação da qualidade das peças de concreto; tratamento estatístico dos resultados, comparação entre as diferentes substituições e determinação do melhor teor de substituição.

2.1 PREPARAÇÃO DO RESÍDUO

O resíduo de PRFV utilizado é proveniente de uma indústria do setor, localizada na cidade de Erechim – RS. A indústria trabalha com o método de aplicação de resina de poliéster insaturada mais fibra de vidro em moldes abertos, tendo uma porcentagem de perdas de material no ambiente, além das rebarbas removidas das peças, como apresentado na figura 1. A indústria gera cerca de 1 toneladas por mês e, visando a diminuição do volume de resíduo, utiliza um moinho de facas para moer as rebarbas, obtendo um resíduo de granulometria heterogênea, porém grosseira.



Figura 1 – Peça produzida em PRFV antes de passar por acabamento, contendo rebarbas.

Para o presente estudo utilizou-se a rebarba moída, apresentada na figura 2. Coletou-se uma amostra desse resíduo em campo, conforme o procedimento apresentado, segundo a ABNT (2001) na NBR NM 26, sobre amostragem de agregados, tendo cuidado para obter-se uma amostra representativa do resíduo. Por estar armazenado em um depósito comercial, seguiu-se o procedimento para amostragem em pilhas, onde recolheu-se 25 kg de resíduo para os ensaios

físico-químicos, em 5 amostras parciais, devido ao tamanho do mesmo ser menor ou igual a 9,5 mm.



Figura 2 – Resíduo de PRFV moído em seu estado bruto, obtido na empresa.

Após a coleta, reduziu-se e homogeneizou-se a amostra de campo, pelo procedimento de quarteamento, segundo a ABNT (2000), descrito na NBR NM 27, que estabelece as condições necessárias para a redução de uma amostra de agregados, coletada em campo para utilização no laboratório. Nesse processo, coloca-se o material sobre uma superfície plana, rígida e limpa e, com a ajuda de uma pá, o material é revolvido três vezes, para então se formar um tronco de cone, achatá-lo e separá-lo em 4 partes iguais, removendo-se 2 partes diagonais e juntando-se as 2 restantes para utilização. Repetiu-se o quarteamento até obter-se a quantidade necessária de material, cerca de 10 kg. Utilizou-se esse total de resíduo desde os ensaios até a produção das peças de concreto, sendo novamente quarteado quando necessárias menores quantidades.

Na amostra reduzida, realizou-se um processo de moagem, um beneficiamento através de ativação mecânica, executada por um moinho de facas tipo Willye, modelo STAR FT-50 da marca Fortinox. Utilizou-se a peneira de saída do moinho na abertura de 2 mm ou 10 mesh. Esse processo, segundo Morales (1999), é aplicado com o objetivo de reduzir as dimensões granulométricas das partículas e, conseqüentemente, homogeneizá-las ainda mais. Também se faz necessário, pela necessidade de um resíduo extremamente fino, capaz de substituir agregado miúdo. Essa etapa, desenvolveu-se no Laboratório de Resíduos e de Solos da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Erechim (UFFS).

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO

O material teve sua classificação ambiental analisada, especificado pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a), conforme laudos emitidos pela empresa geradora, para destinar o resíduo. Segundo essa norma, os resíduos sólidos podem ser enquadrados em duas grandes classes: perigosos (classe I) e não perigosos (classe II). Dentro da segunda classe ainda podem ser considerados não inertes (classe II-A) e inertes (classe II-B).

Com a caracterização granulométrica do resíduo beneficiado, segundo Colling *et al* (2020) foi possível comparar-se o substituinte com a areia média natural, observando-se o potencial uso do mesmo. Os dados granulométricos e de massa específica da areia utilizada, foram obtidos segundo Cima (2017).

Realizou-se também o ensaio de picnometria de gás hélio, junto ao Instituto de Engenharia e Tecnologia da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), em que determinou-se a massa específica do material, ao adicionar o mesmo em uma câmara de volume conhecido, mediu-se a diferença de pressão com e sem o material. O hélio é utilizado pela sua facilidade em penetrar nos poros, resultando-se em um valor mais confiável para materiais porosos (MOURA; FIGUEIREDO, 2002). O equipamento utilizado neste ensaio foi um picnômetro a gás hélio quantachrome instruments® modelo ultrapycnometer 1200e.

Também se analisou a microestrutura do resíduo, assim como seus principais componentes, por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV) com determinação elementar com sensor EDS em mapa químico. O MEV, segundo Dedavid, Gomes e Machado (2007), é uma das tecnologias mais importantes aplicadas no estudo de materiais sólidos, principalmente, no estudo de materiais até então não utilizados, pois fornece informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida. O ensaio foi realizado no Laboratório de metalografia da Universidade de Passo Fundo (UPF), e obteve-se imagens tridimensionais em modo elétrons secundários ampliadas em 70, 300 e 2.000 vezes.

2.3 PRODUÇÃO DAS PEÇAS

A produção das peças foi realizada em parceria com o Laboratório de Preparação de Amostras e de Técnicas Construtivas (LAPATEC) no Campus II da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI). Para a produção do concreto utilizou-se água, cimento, agregado fino, agregado graúdo, aditivo químico e resíduo de PRFV, seguindo o procedimento e as recomendações descritas na NBR 9781 (ABNT, 2013), sobre peças de concreto para pavimentação.

Utilizou-se para produção o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), sendo o mesmo empregado por produtoras de paver da cidade de Erechim – RS, além de suas características e disponibilidade no laboratório, que faz uso recorrente desse material. O uso desse tipo de cimento, segundo Cima (2017), é devido a sua característica de obter alta resistência em idades recentes, diminuindo o tempo necessário para a cura do material.

O agregado fino natural empregado foi uma areia média quartzosa, enquanto o agregado graúdo natural utilizado foi a brita 0, também conhecida como pedrisco, de origem basáltica. A água é disponibilizada para abastecimento pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), aplicada em uma relação água cimento (a/c) inicial de 0,43.

O aditivo químico utilizado foi um aditivo superplastificante de natureza líquida, de acordo com a NBR 11768, sobre aditivos químicos para concreto de cimento Portland (ABNT, 2011). As empresas produtoras de paver consultadas, fazem utilização desse produto e, segundo Colet (2017), esse aditivo tem ação dispersante do material cimentício, permitindo uma maior trabalhabilidade do concreto. O aditivo foi adotado em uma proporção de 0,1% da quantidade de cimento.

Produziram-se as peças em 4 diferentes proporções de substituição de areia pelo resíduo em análise, foram elas 0, 5, 10 e 15%. Para cada uma das porcentagens o traço utilizado é apresentado na tabela 1, sendo que essa quantidade resultou em 12 corpos de prova para cada traço.

Tabela 1 – Quantidades de material (traço) em cada porcentagem de substituição de areia por resíduo de polímero reforçado com fibra de vidro.

Materiais						
Substituição (%)	Relação a/c	Cimento (kg)	Areia (kg)	Resíduo (kg)	Brita 0 (kg)	Aditivo (g)
0	0,43	9,61	13,45	0	24,97	96,1
5	0,43	9,61	13,05	0,40	24,97	96,1
10	0,43	9,61	12,65	0,80	24,97	96,1
15	0,43	9,61	12,25	1,20	24,97	96,1

Durante a execução do concreto, realizou-se o ensaio de tronco de cone corrigindo-se a mistura quando necessário, e aplicou-se a mesma nas formas plásticas, dando o formato desejado, no caso para conceber peças do tipo I, de 16 faces, como apresentado na figura 3,

devido a permitirem um maior intertravamento e pela disponibilidade das mesmas no laboratório. Essas peças, segundo a ABNT (2013), são caracterizadas pelo seu formato próximo ao retangular, com relação de comprimento/altura igual a 2 e pelo encaixe nos quatro lados. Também se fez necessário a aplicação de desmoldante antes da inserção do concreto, facilitando a retirada da peça da forma.

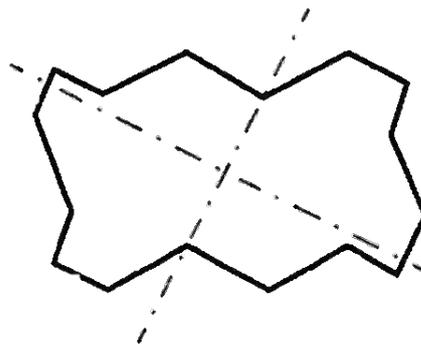


Figura 3 – Peça de concreto do tipo I de 16 faces e seus planos – comprimento e largura – para avaliação dimensional. (ABNT, 2013)

Para garantir uma mistura homogênea dos materiais, as peças foram adensadas com o auxílio de uma mesa vibratória. Os corpos de prova foram identificados e então levados para uma superfície plana. Após 24 horas, ocorreu a desmoldagem das peças, as quais permaneceram 28 dias em uma câmara úmida para completar o processo de cura exigido pela norma, e então serem avaliadas quanto à qualidade.

2.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE

Para avaliar a qualidade e a trabalhabilidade do concreto fresco, realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone, procedimento descrito na NBR NM 67 (ABNT, 1998). Segundo a norma, através do ensaio determina-se a consistência do concreto em estado fresco pela medida de seu assentamento, sendo buscado um valor de 70 ± 10 cm. Dessa forma, prepararam-se os 4 traços com a mesma qualidade, ao estarem dentro do valor normatizado.

Os ensaios realizados para avaliação da qualidade dos corpos de prova, após 28 dias de cura, são descritos na NBR 9781 (ABNT, 2013), sendo eles: inspeção visual, avaliação dimensional, resistência à compressão simples e absorção de água, permitindo-se uma avaliação mais criteriosa das peças geradas.

A inspeção visual consiste em buscar dentro do lote produzido, avaliando-se no mínimo

6 peças, defeitos que possam afetar negativamente o assentamento, o desempenho estrutural ou a estética do pavimento. Para tanto inspecionou-se em cada peça as arestas, ângulos e presença de rebarbas ou outros problemas. Na avaliação dimensional, descrita no anexo D da norma, tirou-se as medidas dos planos (comprimento, largura e espessura), conforme apresentado na figura 3, com auxílio de um paquímetro de resolução 0,1 mm. A norma cita uma tolerância de 3 mm para mais ou para menos, em relação as dimensões da forma, as quais são apresentadas na tabela 2, levando-se em conta a utilização da forma de 16 faces do tipo I (ABNT, 2013).

Tabela 2 – Avaliação dimensional: dimensões das formas utilizadas em cada plano e limites normalizados pela ABNT (2013), na NBR 9781.

Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
240 ± 3	100 ± 3	60 ± 3

Já a avaliação da resistência à compressão simples, consiste em aplicar uma força sobre a peça de concreto e avaliar qual a sua máxima resistência suportada, até sua ruptura. Para tanto necessitou-se das medidas exatas das peças, conforme avaliação dimensional, e de uma máquina de ensaio de compressão, além de duas placas auxiliares no formato circular confeccionadas em aço, com dureza superficial maior que 60 RC, diâmetro de 85±0,5mm e espessura de 20 mm, conforme descrito no anexo A da NBR 9781. Utilizou-se uma prensa hidráulica como máquina de ensaio, estando calibrada e, por conta de ser utilizada em laboratório, de classe I. Seis corpos de prova foram saturados por 24 horas antes do ensaio e dispostos, um por vez, na prensa, juntamente com as placas auxiliares. Aplicou-se um carregamento contínuo, com velocidade de 550±200 kPa/s, até a ruptura do corpo de prova. A máquina fornece o valor da resistência à compressão da peça, em megapascals (MPa), dividindo-se a carga de ruptura ensaiada, em Newtons (N), pela área de carregamento fornecida, em milímetros quadrados (mm²). Ainda é necessário multiplicar o valor por um fator multiplicativo, chamado *p*, em função da espessura nominal da peça, no caso 0,95, devido essas possuírem 60 mm de espessura. O valor obtido para resistência, permite classificar as peças entre duas finalidades: tráfego leve, com resistência maior ou igual 35 MPa, e tráfego pesado, para resistência maior ou igual a 50 MPa. O foco do presente estudo foram peças para tráfego leve (ABNT, 2013).

O ensaio de absorção de água, descrito no anexo B da NBR 9.781, representa a penetração de água nos poros da peça, através do aumento da massa, em relação ao estado seco. Realizou-se o ensaio através da saturação das peças, sendo necessárias no mínimo 3, durante

24 horas, para então tomar a medida da massa na condição saturada com superfície seca (m_2), obtida ao se drenar a peça sobre uma tela metálica por 1 minuto e remover a água superficial. Repete-se o processo a cada duas horas, até que não haja diferença de 0,5% entre as duas últimas medidas. Após a medição, as peças são levadas à estufa a $110\pm 5^\circ\text{C}$, por 24 horas, para então tomar novamente a medida da massa das peças em estado seco (m_1), respeitando-se a condição de não alteração de 0,5% entre duas medições no período de 2 horas. Com as medições da massa saturada e da seca, obtêm-se a absorção de água (A), em porcentagem, utilizando-se a seguinte equação:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

O valor, segundo a norma, deve ser menor que 6%, para a média das peças, não admitindo-se valor individual maior que 7% (ABNT, 2013).

Com os valores obtidos fez-se possível a comparação entre os corpos de prova com substituição e os somente com areia. Trataram-se estatisticamente os dados e, por meio do software Statistica, gerou-se gráficos de resistência à compressão simples e absorção de água em relação a substituição, além de realizar o Teste de Tukey da Diferença Honestamente Significativa (HSD), definindo-se a melhor porcentagem de substituição de areia por resíduo de PRFV.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO

O resíduo de PRFV foi classificado ambientalmente como classe II-A, em ensaios realizados pela empresa responsável pela sua destinação. Os resíduos dentro dessa classificação, resíduo não perigoso - não inerte, podem ter determinadas propriedades como solubilidade em água e combustibilidade (ABNT, 2004a).

O resíduo coletado na empresa, após o processo de beneficiamento, é apresentado na figura 4. Na mesma, para melhor observação, separou-se as diferentes granulometrias do resíduo, do mais fino ao mais grosso, conforme as peneiras solicitadas para composição granulométrica (ABNT, 2003).



Figura 4 – Resíduo de polímero reforçado com fibra de vidro após beneficiamento em moinho de facas de abertura 2 mm, segregado do tamanho mais grosso para o mais fino, para ensaio de composição granulométrica.

A média retida e a média retida acumulada, para cada abertura de peneira, segundo Colling *et al* (2020), são apresentadas na tabela 3. As peneiras são utilizadas conforme a ABNT (2003), normatizadas para determinação granulométrica dos agregados. Com os dados foi possível calcular o módulo de finura do material, sendo esse de 1,71.

Tabela 3 – Granulometria do resíduo de polímero reforçado com fibra de vidro beneficiado, segundo Colling *et al* (2020), conforme sua retenção na série de peneiras solicitadas para determinação granulométrica de um agregado (ABNT, 2003).

Abertura das peneiras (mm)	Média retida (%)	Média retida acumulada (%)
6,30	0,00	0,00
4,75	0,00	0,00
2,36	0,00	0,00
1,18	0,83	0,83
0,60	32,14	32,97
0,30	26,10	59,07
0,15	19,14	78,31
Fundo	21,60	99,91

Para efeitos de comparação, são apresentados os mesmos dados granulométricos da areia utilizada, a partir dos dados de Cima (2017), apresentado na tabela 4. O módulo de finura para areia tem valor de 1,98.

Tabela 4 – Granulometria da areia média natural, segundo Cima (2017), conforme sua retenção na série de peneiras solicitadas para determinação granulométrica de um agregado (ABNT, 2003).

Abertura das peneiras (mm)	Média retida (%)	Média retida acumulada (%)
6,30	0,00	0,00
4,75	0,15	0,15
2,36	2,17	2,32
1,18	7,67	9,99
0,60	13,14	23,12
0,30	48,05	71,18
0,15	20,34	91,52
Fundo	8,47	100,00

Pela observação dos dados, pode-se perceber que, apesar do comportamento diferente entre os dois materiais, o resíduo possui maior quantidade de finos, principalmente, pela quantidade de material retido no fundo. Dessa forma, o resíduo possui potencial para preencher vazios, os quais não seriam preenchidos utilizando-se apenas areia, comprovado pelos valores de módulo de finura, menores para o PRFV.

A massa específica do material, conforme ensaio de picnometria de gás hélio, é de 1,53 g/cm³, ou seja, mais leve que a areia média utilizada, que possui 2,59g/cm³. A leveza em relação a areia, pode ser benéfica, ao tornar as peças concebidas mais leves, porém ao mesmo tempo, ocupa um maior volume, requerendo mudanças no traço, conforme o aumento da substituição.

As imagens de microscopia eletrônica de varredura, ampliadas em 70, 300 e 2.000 vezes, são apresentadas na figura 5. Nessas, pode-se perceber claramente as fibras de vidro encapsuladas na resina endurecida, sendo esse o motivo da resistência do material. Através do mesmo ensaio foi possível observar uma composição quase que exclusiva de carbono no resíduo, figuras 6 e 7, com traços de cálcio, silício, magnésio, alumínio, ferro e titânio, todos em pequenas quantidades. A predominância do carbono já era algo esperado, devido à natureza dos materiais utilizados na confecção do PRFV.

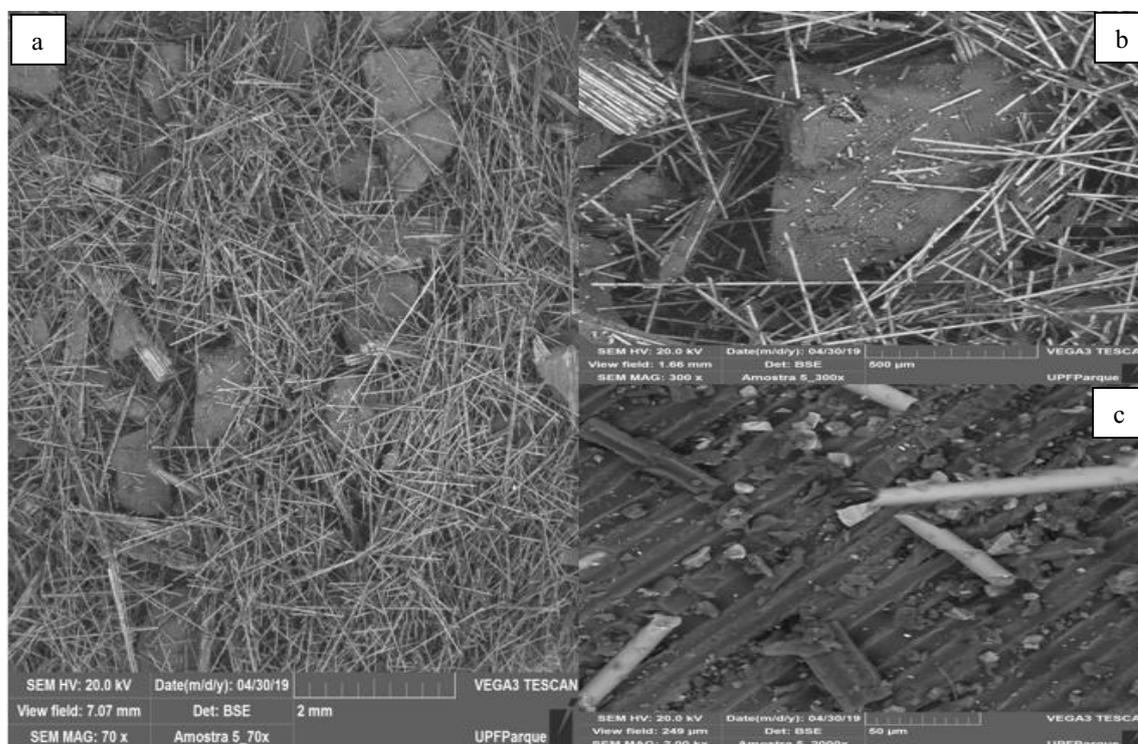


Figura 5 – Imagens obtidas pela Microscopia Eletrônica de Varredura do resíduo de polímero reforçado com fibra de vidro, ampliações de (a) 70x, (b) 300x e (c) 2000x.

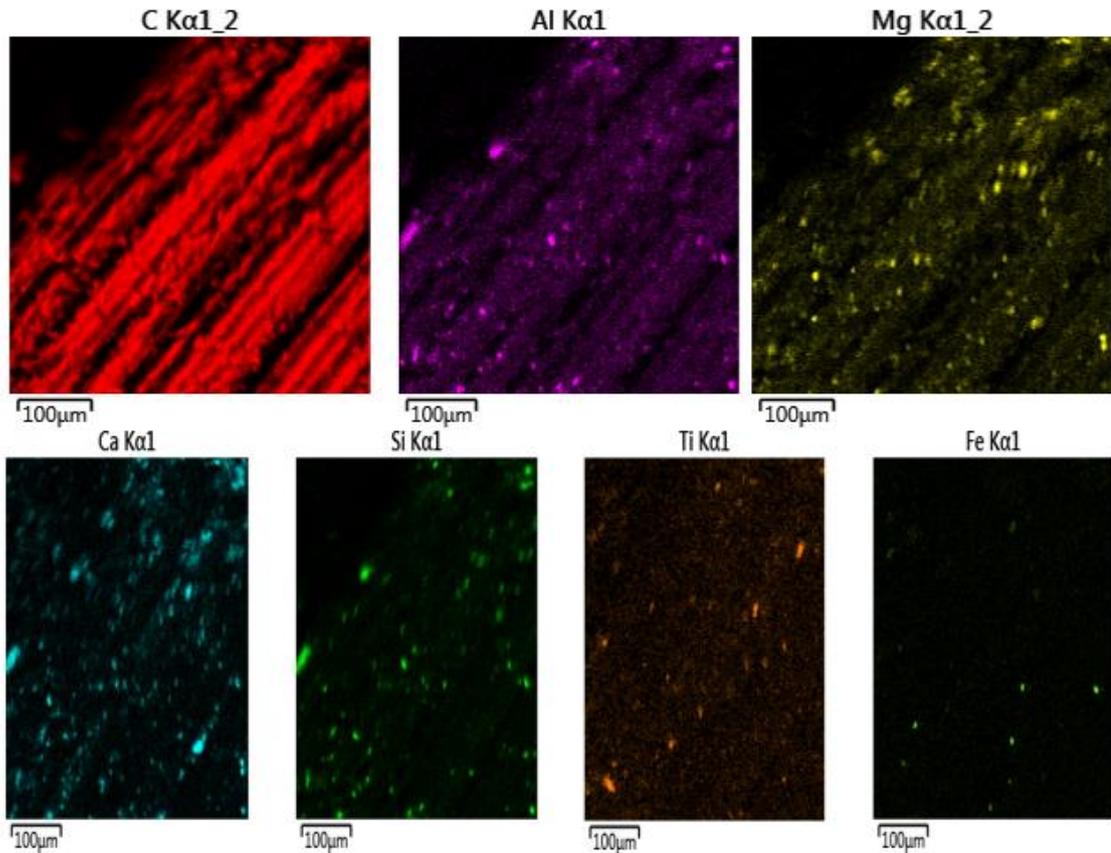


Figura 6 – Mapa químico com elementos predominantes na composição do resíduo de polímero reforçado com fibra de vidro.

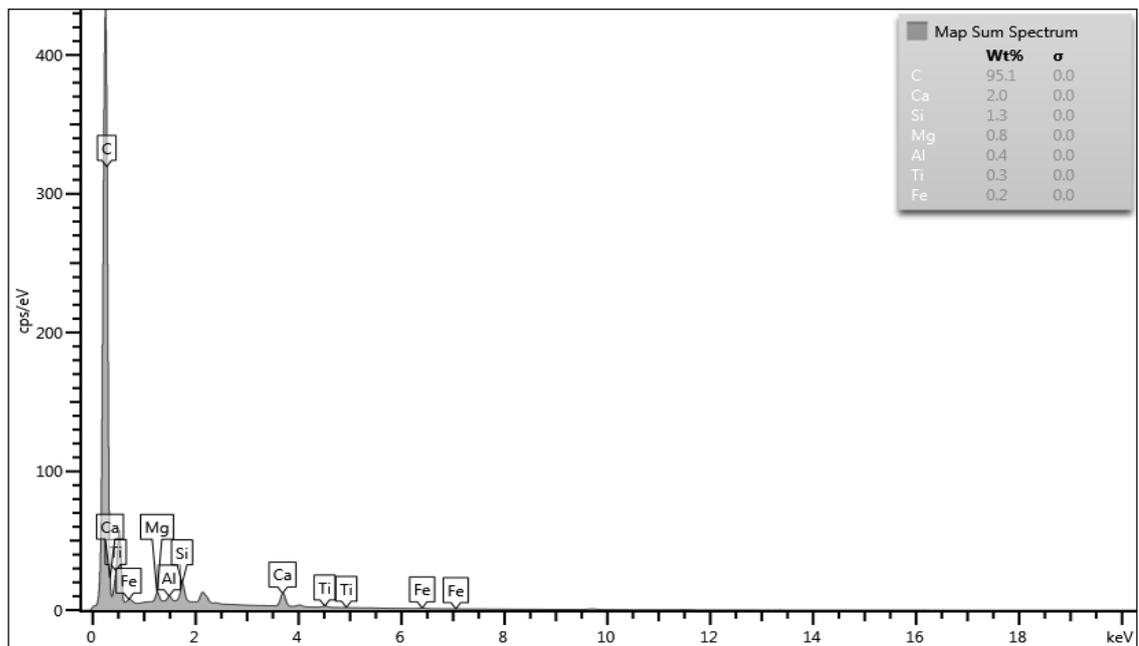


Figura 7 – Composição quali-quantitativa do resíduo de polímero reforçado com fibra de vidro obtida nos mapas químicos.

3.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE

3.2.1 Ensaio tronco de cone

Através do ensaio de tronco de cone, realizado com o concreto fresco, foi necessária a adição de maior quantidade de água para alguns dos traços, conforme tabela 5, sendo apenas o traço com substituição de 0% o único sem necessidade dessa. Essa adição pode estar associada a substituição, pois o resíduo é um material menos denso que a areia e, portanto, possui maior volume para a mesma quantidade, dessa forma, com maior volume de material, é necessário maior quantidade de água para a mistura ter trabalhabilidade. Esse resultado vai de acordo com Rahmani *et al* (2013), que cita a necessidade de maior quantidade de água para substituições de areia por materiais mais leves.

Tabela 5 – Resultados do ensaio de tronco de cone e quantidade de água adicionado para substituição de areia por resíduo de polímero reforçado com fibra de vidro em 0, 5, 10 e 15%.

Substituição (%)	Medida do tronco de cone (cm)	Água adicionada (g)
0	70	0
5	70	100
10	80	100
15	60	240

3.2.2 Inspeção visual e avaliação dimensional

Todas as peças geradas passaram na avaliação dimensional, devido a padronização da produção pela utilização de formas, resultando-se em dimensões iguais nos planos das peças. Na inspeção visual, notou-se apenas defeitos na homogeneidade das peças, pela formação de bolhas de ar na superfície, devido ao assentamento. A figura 8 apresenta algumas das peças produzidas, onde observam-se as bolhas de ar, assim como ocorrido nos estudos de Cima (2017).



Figura 8 – Peças de concreto produzidas substituindo areia por resíduo de polímero reforçado com fibra de vidro, nas porcentagens de (a) 0%, (b) 5%, (c) 10% e (d) 15%.

3.2.3 Resistência à compressão simples

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão simples, com e sem tratamento estatístico, para cada um dos traços, após 28 dias, são apresentados no Apêndice A (Tabela 8), considerando área do corpo de prova igual a 6361 mm², velocidade de 550 kPa/s, altura do corpo de prova de 60 mm e fator P de 0,95. Na tabela 6 são apresentadas as médias, para cada um dos traços.

Tabela 6 – Média da resistência à compressão simples das peças de concreto com substituição de areia por resíduo de polímero reforçado com fibra de vidro, após 28 dias.

Substituição (%)	Resistência (MPa)
0	37,87
5	27,59
10	31,08
15	25,64

Os dados obtidos, após tratamento estatístico, são apresentados na Figura 9.

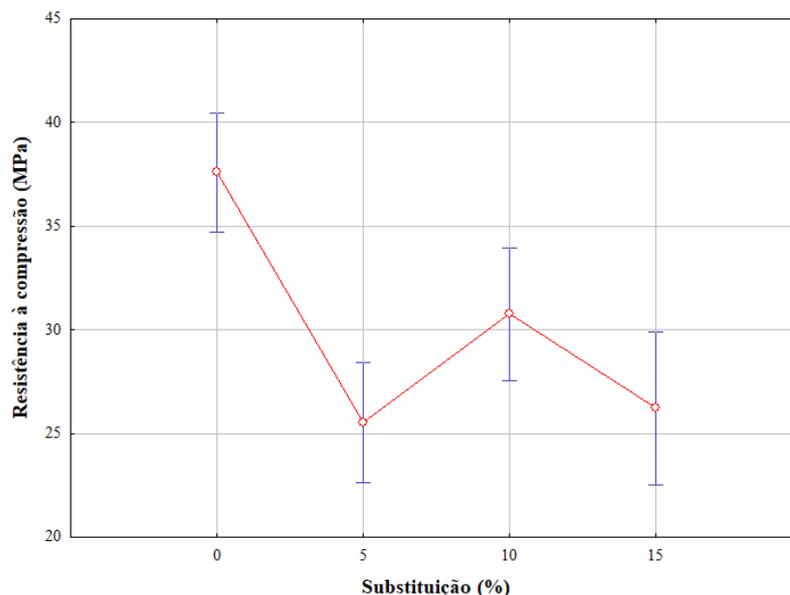


Figura 9 – Resistência à compressão simples das peças de concreto com substituição de areia por resíduo de polímero reforçado com fibra de vidro em 0, 5, 10 e 15%, após 28 dias, com tratamento estatístico (Teste Tukey com 95 % de confiança).

Através da interpretação do gráfico e dos dados brutos obtidos, conclui-se que, apesar das peças desenvolvidas com substituição possuírem alguns valores dentro do mínimo solicitado pela norma, somente as peças sem substituição atendem a legislação, estando a sua média acima dos 35 MPa. A substituição de 10% é a mais bem-sucedida, por seu limite superior estar mais próximo estatisticamente do valor de 35 MPa, ainda assim com uma perda de, aproximadamente, 18% de resistência em relação ao padrão. Apesar disso, o teste Tukey apresenta que, com 95% de confiança, as três substituições possuem a mesma significância, devido aos seus intervalos se cruzarem.

Os valores não são distantes dos mínimos 35 MPa exigidos pela norma nacional, a qual se mostra antiquada quando comparada a dos países que utilizam essa tecnologia a mais tempo, onde os valores de resistência à compressão são menores, além de avaliarem parâmetros como a resistência à abrasão. Os valores obtidos se enquadrariam, avaliando-se normas internacionais. Por exemplo, a norma sul africana define valores de resistência à compressão de 25 MPa para tráfego leve e 35 MPa para pesado. A norma australiana cita 15 MPa para ciclovias e estacionamentos, os mesmos 25 MPa para tráfego leve e 60 MPa para pesado (BITTENCOURT, 2012).

Ao comparar a resistência com paviers produzidos com outros resíduos poliméricos, PVC, segundo Santos e Ferrari (2019) e PET, segundo Almeida (2016), observa-se que o

decréscimo na resistência é próximo aos valores obtidos em uma substituição de 10%, cerca de 18%. O caso do PVC é muito próximo ao do estudo, pois o melhor resultado foi obtido na substituição de 10%, sendo 5 e 15% inferiores. Já no caso do PET, menores substituições obtiveram melhores resultados, no caso, 2,5, 5 e 7,5%.

Em outros estudos envolvendo a substituição de agregado fino por resíduo de PRFV para produção de concreto, também se observou decréscimos na resistência à compressão, como nos desenvolvidos por Asokan, Osmani e Price (2009) e Correia, Almeida e Figueira (2011). Essa redução na resistência pode ser explicada, segundo Sharma e Bashal (2016), pois os materiais poliméricos, quando inseridos na produção de concreto, reduzem a resistência, isso ocorre devido a fraca ligação superficial entre esses e a mistura de concreto. Para corrigir essa fraca ligação, seria necessário um tratamento químico na superfície do polímero com substâncias reativas, nesse caso a superfície tratada reagiria produzindo reações pozolânicas adicionais.

3.2.4 Absorção de água

Os resultados da absorção de água, após 28 dias, são apresentados no Apêndice B (Tabela 9), de forma individual, para cada um dos 3 corpos de prova e as médias, bruta e tratada estatisticamente. Na tabela 7, seguem os valores médios, para cada um dos traços.

Tabela 7 – Média da absorção de água das peças de concreto com substituição de areia por resíduo de polímero reforçado com fibra de vidro em 0, 5, 10 e 15%, após 28 dias.

Substituição (%)	Absorção (%)
0	3,588
5	5,248
10	4,199
15	4,631

Os dados da absorção de água, após tratamento estatístico, são apresentados na Figura 10.

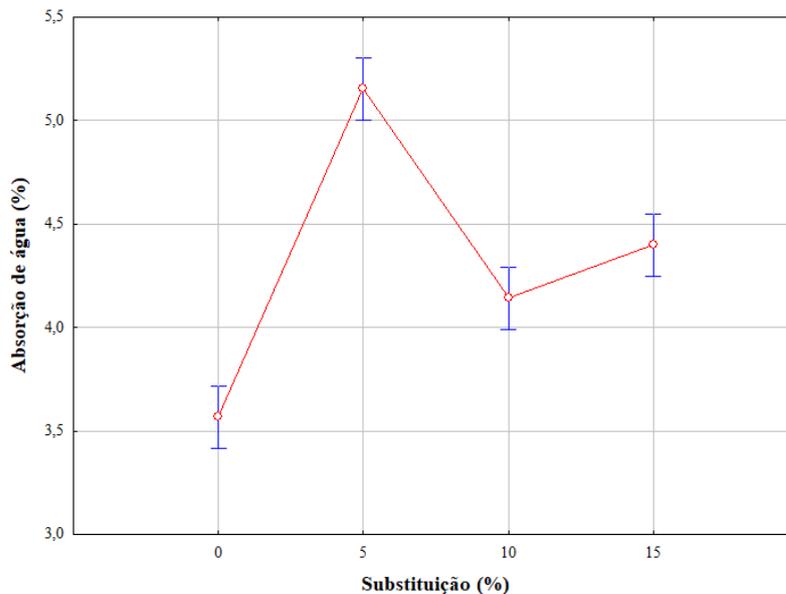


Figura 10 – Absorção de água das peças de concreto com substituição de areia por resíduo de polímero reforçado com fibra de vidro em 0, 5, 10 e 15%, após 28 dias, com tratamento estatístico (Teste Tukey com 95 % de confiança).

Para todas as substituições, os valores encontraram-se dentro da norma, ou seja, média menor que 6% e nenhuma valor individual acima de 7%. A peça sem substituição obteve o melhor resultado, seguido pelas substituições de 10 e 15% com valores estatisticamente iguais (Teste Tukey com 95 % de confiança), enquanto a substituição de 5% obteve o resultado mais elevado, mas ainda dentro do permitido.

Pelo ensaio também foi possível perceber que a substituição torna o produto final mais leve, como dados apresentados no Apêndice B (tabela 9). É possível perceber, que todas as substituições reduzem a massa final do paver e, para a maior porcentagem de substituição, ocorre uma redução de cerca de 9% da massa do paver.

Comparando-se novamente com os estudos envolvendo PVC (SANTOS; FERRARI, 2019) e PET (ALMEIDA, 2016), pode-se perceber que o resíduo de PVC causou uma redução na absorção de água, enquanto o PET teve um comportamento similar ao resíduo de PRFV, o qual causou aumento na absorção. Na produção de concreto com resíduo de PRFV por Correia, Almeida e Figueira (2011), houve uma redução na absorção de água para o traço de 5%, enquanto para os traços com maior substituição, houve aumento na absorção de água, com um comportamento similar ao apresentado. Esse aumento na absorção de água, para os traços com substituição de areia por resíduo, segundo os autores, se deve ao fato da maior utilização de água na produção.

3.3 CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL

O resíduo inserido no paver é encapsulado na matriz cimentícia, com sua mobilidade reduzida, sendo esperado que sua classificação ambiental continue como classe II, assim como observado no estudo semelhante utilizando-se PET de Almeida (2016). Os resíduos de características mais perigosas, de classe I, como os da indústria automobilística contendo metais pesados (SUCEK *et al*, 2005), também obtiveram classificação ambiental final como classe II, porém como classe II A, não inertes. No entanto, pode ocorrer a interação entre a água que infiltra pelos poros e entra em contato com o resíduo, lixiviando ou solubilizando alguns contaminantes. Para evitar a ocorrência disso, segundo Magagnin Filho (2015), é necessário um revestimento selante no paver ou a realização de um pré-tratamento, utilizando-se cimentos especiais e aditivos, o que ocasiona um aumento nos custos de produção e uma necessidade de técnicas aprimoradas para seu uso adequado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com um viés ambiental, social e econômico, o presente trabalho apresentou uma forma possível e inovadora de utilizar o resíduo de PRFV como matéria-prima na confecção de pavers. O resultado final é de um resíduo encapsulado em peças de concreto, sendo uma forma de destinação satisfatória, como realizado para resíduos de outras características. Porém, maiores estudos de lixiviação e solubilização das peças são necessários para verificar a real eficácia do método para o resíduo de PRFV, sendo que espera-se que a classificação ambiental continue como classe II, não perigoso, avaliando-se apenas a questão de ser inerte ou não inerte.

Quanto ao comportamento mecânico, o traço sem substituição obteve melhor desempenho, inserindo-se dentro da classe de peças para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais. Já as peças com substituição tiveram um bom resultado, apresentando decréscimo mínimo de 18% na resistência, valor próximo ao obtido em estudos com outros resíduos e se enquadrando nas normas internacionais sul africana e australiana. O resultado do ensaio de absorção de água foi satisfatório, pois todos os traços ficaram dentro dos limites avaliados.

Pode-se perceber, portanto, que os resíduos provenientes de empresas que confeccionam peças em PRFV, após beneficiamento, apresentam potencial e podem substituir a areia, em proporção de 10 a 15 %, conforme os resultados obtidos neste trabalho, para a produção de concreto para confecção de peças para pavimento intertravado. Para se enquadrar nos requisitos nacionais, o traço da produção deve ser levemente alterado, se adequando ao comportamento do resíduo de PRFV na mistura, no entanto, cumpre salientar que as peças produzidas atendem à normativas internacionais para baixo tráfego. Outros ensaios também podem ser realizados, visando um melhor conhecimento sobre o comportamento do resíduo na produção de paver como, por exemplo, o ensaio de abrasão, além de aplicar as peças em um pavimento experimental, demonstrando-se na prática o comportamento das mesmas. Além disso pode-se estudar outras porcentagens de substituição, avaliando-se porcentagens menores que 5% e maiores que 15%.

Com as alterações, a substituição pode tornar comercialmente viável o processo, diminuindo o custo convencional da produção de pavers, ao substituir uma matéria prima com valor agregado, por um resíduo, atualmente, sem valor. Dessa forma, a empresa geradora do resíduo também terá redução nos gastos, ao eliminar o custo de destinação ao aterro. Essa utilização, aumenta a vida útil e agrega valor ao material, além de ser um produto com apelo ambiental, possível de ecomarketing ou marketing ambiental, estratégia de publicidade focada

em ações que beneficiem o meio ambiente, nesse caso, a utilização ambientalmente adequada do resíduo.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9.781**: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

_____. **NBR 11.768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR ISO 14.001**: Sistemas da gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004b.

_____. **NBR NM 26**: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 27**: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ALMACO - ASSOCIAÇÃO LATINO-AMERICANA DE MATERIAIS COMPÓSITOS. **Caracterização dos indicadores produtivos e monitoramento do desempenho da indústria de materiais compósitos no Brasil**. São Paulo: ALMACO, 2019. 12 p. Disponível em: almaco.org.br/wp-content/uploads/2020/02/Indicadores_ALMACO-final-02-de-Maio-de-2019.pdf. Acesso em: 28 mar. 2020.

ALMEIDA, S. P. **Uso de politereftalato de etileno (PET) como agregado em peças de concreto para pavimento intertravado**. 2016. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia de Processos, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016

AMARAL, L. F.; DE CARVALHO, J. P. R. G.; DA SILVA, B. M.; DELAQUA, G. C. G.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Development of ceramic paver with ornamental rock waste. **Journal Of Materials Research And Technology**, v. 8, n. 1, p.599-608, 2019.

ASOKAN, P.; OSMANI, M.; PRICE, A. D. F. Assessing the recycling potential of glass fibre reinforced plastic waste in concrete and cement composites. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. 821–829, 2009.

BARRETO, B. C. **Encapsulamento de lodo de curtume com cromo em concreto não estrutural**. 2016. 26 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

BARROS, L. H. V. **Reciclagem de resíduos de plástico reforçado com fibras de vidro na indústria de piscinas**. 2019. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

BITTENCOURT, S. F. **Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição e areia de fundição**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Tecnologia, Unicamp, Limeira, 2012.

CASAGRANDE, M. C.; SARTOR, M. N.; GOMES, V.; DELLA, V. D.; HOTZA, D.; DE OLIVEIRA, A. P. N. Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v. 13, p. 34-42, 2008.

CIMA, E. **Aplicação de resíduos de construção e demolição na fabricação de peças para pavimento intertravado (pavers)**. 2017. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2017.

COLET, R. **Análise de reaproveitamento de resíduos de construção e demolição na substituição do agregado graúdo no paver**. 2017. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2017.

COLLING, A. H. K.; POLLON, R.; PAZZA, R.; PARIS, F.; KORF, E. P. Estratégia de valorização de resíduos de PET e PRFV através da utilização como agregado miúdo. In: Congresso de Engenharia Ambiental do Sul do Brasil, 3, Lajeado. **Anais**. Lajeado: 2020. p. 371-376.

CORINALDESI, V. Influence of lightweight aggregates and GRP by-product powders on the properties of self-compacting concretes. **Advanced Materials Research**, v. 548, p. 215–220, 2012.

CORREIA, J.; ALMEIDA, N. FIGUEIRA, J. Recycling of FRP composites: reusing GFRP waste in concrete mixtures. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, p. 1745–1753, 2011.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras**. Porto Alegre: Edipucrs, 2007. 60 p. Disponível em: <pucrs.br/edipucrs/online/microscopia.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2020.

FARINHA, C. B.; DE BRITO, J.; VEIGA, R. Assessment of glass fibre reinforced polymer waste reuse as filler in mortars. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 1579–1594, 2019.

HOSSINEY, N.; SEPURI, H. K.; MOHAN, M. K.; R, A. H.; GOVINDARAJU, S.; CHYNE, J. Alkali-activated concrete paver blocks made with recycled asphalt pavement (RAP) aggregates. **Case Studies In Construction Materials**, v. 12, p.1-13, 2020.

KUMAR, G.; SHRIVASTAVA, S.; GUPTA, R. C. Paver blocks manufactured from construction & demolition waste. **Materials Today**, v. 27, p. 311-317, 2020.

KUNDU, S. P.; CHAKRABORTY, S.; CHAKRABORTY, S. Effectiveness of the surface modified jute fibre as fibre reinforcement in controlling the physical and mechanical properties of concrete paver blocks. **Construction And Building Materials**, v. 191, p.554-563, 2018.

MAGAGNIN FILHO, N. **Resíduos da construção civil na cidade de Londrina: análise da política de gerenciamento de resíduos da construção civil adotada pelo município e estudo de caso utilizando uma proposta de reciclagem baseada na técnica de estabilização por solidificação à base de cimento Portland**. 2015. 296 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, USP, São Carlos, 2015.

MORALES, G. Aproveitamento do lodo de esgoto sanitário como matéria prima para a produção de pozolana. **Seminário: Ciências Exatas e Tecnológicas**. Londrina, v. 18, p. 39-45, 1999.

MOURA, M. J.; FIGUEIREDO, M. M. Aplicação das Técnicas de Picnometria de Gás e de Porosimetria de Mercúrio à Caracterização da Madeira de *E. globulus*. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 10, p. 207-216, 2002.

NAIA, G. L. **Desenvolvimento de produto sustentável: aproveitamento de placas de circuito impresso descartadas como agregado na fabricação de blocos de alvenaria para construção civil**. 2014. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.

NGUYEN, D. H.; BOUTOUIL, M.; SEBAIBI, N.; LELEYTER, L.; BARAUD, F. Valorization of seashell by-products in pervious concrete pavers. **Construction And Building Materials**, v. 49, p.151-160, 2013.

PENNARASI, G.; SOUMYA, S.; GUNASEKARAN, K. Study for the relevance of coconut shell aggregate concrete paver blocks. **Materials Today: Proceedings**, v. 14, p.368-378, 2019.

PUSAVEC, F.; KRAJNIK, P.; KOPAC, J. Transitioning to sustainable production – Part I: application on machining technologies. **Journal Of Cleaner Production**, v. 18, p.174-184, 2010.

RAHMANI, E.; DEHESTANI, M.; BEYGI, M. H. A.; ALLAHYARI, H.; NIKBIN, I. M. On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles. **Construction And Building Materials**, v. 47, p. 1302-1308, 2013.

RAMIREZ, K. G. **Viabilidade do aproveitamento de resíduo de estação de tratamento de água (ETA) na confecção de concretos**. 2015. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

RIVERA, J. F.; CUARÁN-CUARÁN, Z. I.; VANEGAS-BONILLA, N.; DE GUTIÉRREZ, R. M. Novel use of waste glass powder: production of geopolymetric tiles. **Advanced Powder Technology**, v. 29, p. 3448–3454, 2018.

SACCARO JUNIOR, N. L. A conexão entre crise econômica e crise ambiental no brasil. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, v. 13, p.27-31, 2016.

SANTOS, A. G.; FERRARI, A. K. Influência do resíduo de PVC como agregado no concreto para peças de pavimentos intertravados. **Ambiente Construído**, v. 19, p. 39-51, 2019.

SHARMA, R.; BANSAL, P. Use of different forms of waste plastic in Concrete: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 473-482, 2016.

SILVA, M. A. R. **Solidificação e estabilização de resíduos inorgânicos industriais**: estudo da eficiência do processo e evidência de mecanismos de imobilização. 2007. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SUCEK, T. M.; TEH, J. Y.; AMORIM, R. C. C.; SILVA, C. M. G. da; CERRI, J. A. Encapsulamento de metais pesados da indústria automobilística (do processo de fosfatização) em matriz de cimento portland. In: ICTR 2004 - Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável e NISAM - Ciclo de Conferências sobre Política e Gestão Ambiental, 1, Florianópolis. **Anais**. São Paulo: 2005. p. 3986-3995.

TITTARELLI, F.; MORICONI, G. Re-use of GRP industrial waste in cementitious products. In: International Conference On Young Researchers' Forum, 6, 2005, Dundee. **Proceedings**. Londres: 2005. p. 153-164.

TRUSSELL, S.; SPENCE, R. D. A review of solidification/stabilization interferences. **Waste Management**, v. 14, p. 507-519, 1994.

WAIT, C. F. **The reuse and recycling of glass fibre waste**. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado) – School of Metallurgy and Materials, University of Birmingham, Birmingham, 2010.

WIEBBELLING, P. O. G. **Pavimento com blocos intertravados de concreto**: estudo de caso na Univates. 2015. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Univates, Lajeado, 2015.

ZATTERA, A. J.; CARVALHO, G. A.; FREIRE, E.; ZENI, M. Reuso de Resíduos de Laminados de Fibra de Vidro na Construção Civil. In: Seminário Nacional Sobre Reuso/Reciclagem De Resíduos Sólidos Industriais, 1, São Paulo. **Anais**. São Paulo: 2000. p. 1 – 15.

APÊNDICE A - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Tabela 8 - Resultados ensaio de resistência à compressão simples, aos 28 dias, valores com e sem tratamento estatístico, para cada uma das substituições.

Substituição (%)	Corpo de prova	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à compressão média (MPa)	Resistência à compressão média tratada (MPa)
0	1	35,15	37,87	37,60
	2	43,33		
	3	41,72		
	4	31,29		
	5	22,42		
	6	36,50		
5	1	37,93	27,59	25,52
	2	25,06		
	3	27,84		
	4	24,62		
	5	25,98		
	6	24,12		
10	1	35,15	31,08	30,75
	2	43,33		
	3	41,72		
	4	31,29		
	5	22,42		
	6	36,50		
15	1	37,93	25,64	26,21
	2	25,06		
	3	27,84		
	4	24,62		
	5	25,98		
	6	24,12		

APÊNDICE B – ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Tabela 9 - Resultados ensaio de absorção de água, aos 28 dias, valores com e sem tratamento estatístico, para cada uma das substituições.

Substituição (%)	Corpo de prova	Massa seca (kg)	Massa saturada (kg)	Absorção de água (%)	Absorção de água média (%)	Absorção de água média tratada (%)
0	1	3,638	3,770	3,628	3,588	3,567
	2	3,684	3,816	3,583		
	3	3,660	3,790	3,552		
5	1	3,488	3,668	5,161	5,248	5,155
	2	3,418	3,594	5,149		
	3	3,496	3,686	5,435		
10	1	3,344	3,484	4,187	4,199	4,143
	2	3,464	3,606	4,099		
	3	3,48	3,63	4,310		
15	1	3,302	3,444	4,300	4,631	4,398
	2	3,336	3,486	4,496		
	3	3,376	3,548	5,095		