



## INCORPORAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS EM CONCRETO PERMEÁVEL NA PROMOÇÃO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

SANTOS, Estephane Caroline Silva<sup>1</sup>; ALMEIDA, Giovanna Fávero<sup>1</sup>  
Prof<sup>a</sup> M<sup>a</sup> Cristina das Graças Fassina<sup>2</sup>  
Universidade São Francisco

[estephane.santos@mail.usf.edu.br](mailto:estephane.santos@mail.usf.edu.br); [giovanna.almeida@mail.usf.edu.br](mailto:giovanna.almeida@mail.usf.edu.br)

<sup>1</sup>Alunas do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

<sup>2</sup>Professora Orientadora Cristina das Graças Fassina, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

**RESUMO.** O crescimento desordenado das áreas urbanas aumenta conforme o passar dos anos e uma de suas consequências é o desenvolvimento das áreas pavimentadas e construídas, e consequentemente, a diminuição das áreas permeáveis. Com isso, cada vez mais torna-se um desafio adequar o progresso com a preservação do meio ambiente. Dentre os principais problemas de regiões habitadas está a ocorrência de enchentes, porém não são efeito apenas da falta de superfície permeável, pois o descarte incorreto de detritos também pode ser fator de peso nesse problema ambiental. Há um alto índice de descarte inadequado de pneus inservíveis no Brasil, e por isso, esse trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da incorporação do pneu inservível no concreto permeável, visando a produção de uma pavimentação mais permeável para ser utilizada em locais de baixo tráfego, como uma ação sustentável. Foram realizados o levantamento bibliográfico a respeito do tema e o desenvolvimento experimental de concreto permeável com a incorporação de diferentes proporções de pneu inservível. A avaliação da viabilidade técnica se deu por meio de ensaios de resistência à compressão e ensaio de permeabilidade.

**Palavras-chave:** Concreto Permeável. Drenagem Urbana. Engenharia Civil. Pavimentação Permeável. Sustentabilidade Urbana.

**ABSTRACT.** *The urban area disorderly increases over the years, and one of the consequences is the paved and building areas that, consequently, causes the decrease of permeable areas. That's why exists the challenge about knowing how to match advancement with environmental preservation. The main problems in the most populated locals involve the occurrence of flooding, but this is not the consequence of lacking in permeable areas, but also the improper disposal of rubbish. Brazil has a high rate of improper rubbish disposal, specially of tyres, that's why, the proposal of this essay is the study of partial tyre incorporation in concrete, in order to produce a more permeable pavement for using in low traffic áreas, in sustainable action. Bibliographical searches will be done about the theme and experimental development of permeable concrete with diffent proportion of tyre incorporation. The technical avaliation are strenght compressive and permeability tests. Its expected to have good results once made the tests.*

**Key Words:** *Permeable Concrete. Urban Drainage. Civil Engineering. Permeable Pavemente. Urban Sustainability.*

## INTRODUÇÃO

A impermeabilização do solo tem crescido de forma intensa em decorrência do crescimento desordenado. Segundo Tucci (2008, apud RAMOS, 2018), o que vem acarretando uma série de problemas ao meio ambiente, envolve o fato de não haver planejamento adequado e fiscalização contínua.

A impermeabilização proporciona um forte impacto negativo ao solo, uma vez que acaba com quase todas as suas funções naturais. Sendo assim, o solo vem sendo impedido de infiltrar as águas pluviais e isso acontece, segundo Ramos (2018), pois são colocados materiais impermeáveis, sendo lajotas de basalto, concreto asfáltico e construções. Além das complicações na drenagem dos resíduos, o autor também afirma que a impermeabilização do solo gera um impacto hidrológico, pois influencia na movimentação do fluxo de água na bacia e causa uma diminuição do nível do lençol freático.

Não é somente o aumento da urbanização que influencia a impermeabilização do solo, mas por esse e outros motivos, são necessárias ações para melhorar o sistema de drenagem e diminuir os impactos causados ao meio ambiente. Segundo Tucci (2008), o desenvolvimento urbano aumentou especialmente na metade do século XX o que produziu uma certa competição pelos recursos naturais e assim boa parte da biodiversidade natural foi sendo destruída. Importante ressaltar que essa urbanização ocorreu principalmente pela busca da população para garantir suas necessidades frente a problemas econômicos e sociais.

Analisando do ponto de vista histórico, o problema que é enfrentado hoje sobre o acontecimento de enchentes devido a impermeabilização do solo, na realidade é apenas consequência do entendimento errado de gestão desde muitos anos atrás. Até o século XX, a “gestão” das águas urbanas era basicamente com o uso de fossas e não havia nenhum tratamento. De acordo com Tucci (2008), as comunidades rurais eram formadas por pequenos grupos de pessoas que hoje estão nas cidades, e a dificuldade principal da época era combater a disseminação de doenças. Esse período é denominado de fase pré higienista, e foi nessa época que começaram a surgir os primeiros problemas, porém, relacionados à contaminação dos recursos hídricos. Na Figura 01, pode-se entender de forma resumida sobre as fases do desenvolvimento das águas urbanas.

Fase	Características	Conseqüências
Pré-higienista: até início do século XX	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio.	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações.
Higienista: antes de 1970	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações.
Corretiva: entre 1970 e 1990	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento.	Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental.
Desenvolvimento sustentável: depois de 1990	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida.

Fonte: TUCCI, 2008

FIGURA 01 – Fases do desenvolvimento das águas urbanas

Um fato que vem gerando preocupação está relacionado ao processo de urbanização das cidades de médio porte. As regiões metropolitanas já passaram por um processo de adequação e boa parte dos problemas hidráulicos foram resolvidos ou estão em andamento. Entretanto muitos problemas estão se repetindo nas cidades de médio porte, o que mostra que mesmo com a melhoria apresentada ainda estamos frente a problemas hidráulicos, em especial, as enchentes. Por isso, assim como afirma Tucci (2008), “a base desse desenvolvimento no uso do solo é a implementação da urbanização, preservando os caminhos naturais do escoamento e priorizando a infiltração”.

Até o presente momento, autoridades tentam resolver esses problemas criando soluções que possam minimizar a ocorrência de enchentes, porém, umas das causas que preocupa é o progresso desordenado e constante, uma vez que não há planejamento urbano adequado na maioria das cidades. Segundo Tucci (2008), em algumas cidades brasileiras, empresas de saneamento estão tentando desenvolver soluções mais eficientes que envolvam as redes de coleta de esgoto e estações de tratamento, porém ainda não houve êxito em como tratar o grande volume gerado pelas cidades.

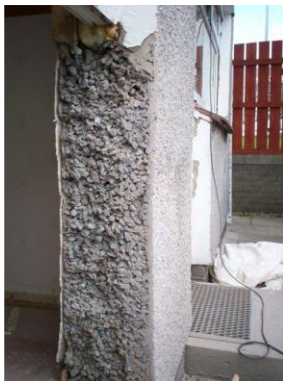
O concreto permeável é um revestimento com alta capacidade de permeabilidade por conta de sua estrutura porosa, de acordo com a Figura 02, e de acordo com Silva (2019), um pavimento em concreto permeável garante infiltração total ou parcial da água proveniente de precipitações devido às suas características, e por isso aparece como uma maneira para mitigar enchentes. Esse revestimento deve ser produzido de modo a favorecer a percolação da água e, por essa razão, Botteon (2017) afirma que, o concreto permeável apresenta um alto índice de vazios devido à combinação entre o aglomerante, o agregado graúdo e a água, preparado com pouco ou nenhum agregado miúdo. A restrição do agregado miúdo no traço do concreto causa poros interconectados que facilitam a infiltração de água em seu material.



Fonte: SILVA, 2019

FIGURA 02 - Amostra de uma placa de concreto permeável

Na década de 30, os primeiros registros da utilização de concreto permeável são no Reino Unido, e de acordo com Botteon (2017), apenas na década de 40 que essa técnica ganhou força, especialmente por conta da utilização no sistema “Wimpey no-fines house”. Esse método construtivo utilizava um concreto com uma quantidade muito pequena de areia e de agregados finos/miúdos, como pode ser observado na Figura 03.



Fonte: NSH – NON STANDARD HOUSE CONSTRUCTION

FIGURA 03 - Foto real de “concreto permeável” utilizado em construções populares no Reino Unido

No Brasil, o uso do concreto permeável teve seus primeiros registros em aeroportos, em meados de 1980 como revestimento asfáltico e logo em seguida como revestimento asfáltico drenante. Segundo Oliveira (2003 apud BOTTEON, 2017), nas rodovias, o uso iniciou em 1992, na Rodovia dos Bandeirantes, em São Paulo, e logo em seguida em 1997 foi utilizado na via marginal da Rodovia Presidente Dutra como revestimento asfáltico. O uso envolvendo a drenagem foi exclusivamente no ano de 2000.

Com relação às propriedades do concreto permeável, a utilização de um índice menor de agregados miúdos na composição pode interferir em sua resistência, e por esse motivo, Holtz

(2011) afirma que a na maioria dos casos, a utilização do revestimento é indicada para áreas com tráfego leve ou pouco intenso.

Uma atenção especial deve ser dada ao solo que irá receber o revestimento, pois não se pode simplesmente aplicá-lo e esperar respostas extremamente positivas se não houver uma análise da capacidade de infiltração do solo. Holtz (2011) afirma que a real absorção é dada pelo solo. Resumidamente, se ele apresentar uma baixa percolação efetiva, de nada adianta utilizar um pavimento de concreto super permeável.

A utilização desse revestimento apresenta vantagens econômicas e também de uso. Segundo Botteon (2017), o concreto permeável “pode ser utilizado como alternativa aos sistemas de drenagem complexos e áreas de retenção de água, sendo uma alternativa econômica, viável e ecologicamente correta para áreas urbanas”. A mão de obra para execução não exige ser especializada e de acordo com Holtz (2011) por conta da baixa densidade, esse revestimento pode ser executado in loco e assim, evitam-se gastos elevados com transporte. Além disso, o autor também ressalta que o revestimento não exige alto uso de energia para execução.

Os pneus demoram anos para se decompor no meio ambiente, principalmente se forem descartados incorretamente ou simplesmente abandonados em um aterro sanitário. Muitas vezes os pneus são armazenados em fundo de quintais, em terrenos baldios ou amontoados em borracharias ou ferro velho, e no pior dos casos, acabam na beira dos rios (Figura 04). Segundo Bertollo (2002), quando ocorrem as chuvas o pneu acaba acumulando a água e com isso tem a possibilidade que o ambiente proporcione a proliferação de mosquitos, roedores e outros vetores de doenças.

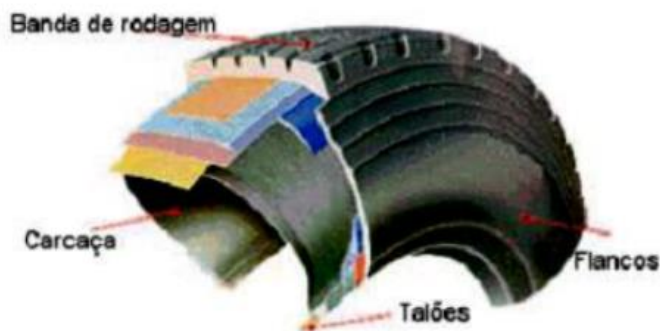


Fonte: PAIVA, 1999

FIGURA 04 - Lixo acumulado nas margens do rio Tietê

O pneu é um item muito utilizado atualmente já que compõe de forma essencial os processos de transporte. Porém no Brasil esse material é descartado incorretamente, na mesma proporção que é usufruído. Sendo assim, entende-se que é mais que necessário que as autoridades competentes sejam mais severas tanto na fiscalização dos consumidores quanto dos produtores, que também devem ser responsáveis por garantir um fim adequado para os bens que criam.

O descarte dos pneus não é problemático apenas pela borracha que os compõem, mas envolve também uma dificuldade em destinar todos os materiais que fazem parte da estrutura dos pneus assim como mostra a Figura 05, e por isso é tão complexo garantir uma disposição final para esse produto.



Fonte: RODRIGUES, 2008

FIGURA 05 - Partes que compõem o pneu

Desse modo, Rodrigues (2008) afirma que “para que possamos realmente resolver a questão, temos que mudar a ótica de destinação final adequada para melhor tecnologia de tratamento disponível, ambientalmente segura e economicamente viável para os pneus inservíveis”.

Diante disso, segundo Rodrigues (2008), 29 a Resolução SMA/SS-1, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo, na data 5 de março de 2002, garante novas normas para a destinação final ambientalmente apropriada de pneus em aterros sanitários. A autora ainda afirma que os pneus inservíveis, quando depositados em aterros sanitários, devem ser triturados e misturados com resíduos domiciliares para garantir que após serem aterrados, não interfiram na desestabilização dos aterros sanitários.

Contudo, observa-se ainda que é necessário o aperfeiçoamento nas leis e nas normas existentes, além de uma garantia melhor na fiscalização por parte das autoridades, já que cada vez mais fica evidente os impactos negativos que o homem provoca na natureza, causados pela poluição, destruição de habitats, e principalmente pelo acúmulo de resíduos sólidos, como por exemplo os pneus inservíveis.

Como a reciclagem da borracha é consideravelmente improvável atualmente, seria muito interessante se o pneu passasse a ser tratado corretamente quando considerado inservível. Rodrigues (2008) afirma que, “se admitirmos que a melhor solução consiste em dar tratamento ao resíduo e não simplesmente a sua “destinação final adequada”, teremos um maior ganho ambiental para a sociedade e uma série de utilidades para as carcaças de pneus”.

Por isso, tendo em vista a dificuldade em conseguir reciclar de modo ambientalmente seguro o pneu, atualmente é sugerido como alternativa o tratamento desse resíduo através do

reuso ou da inserção do material na construção civil. Além disso, o pneu também pode ser 31 utilizado, segundo Rodrigues (2008), como matéria prima na fabricação de brinquedos de playground, na contenção de encostas e também, em projetos de aterros sanitários que utilizam a estabilização da manta impermeável com pneus amarrados.

Na data 26 de agosto de 1999, segundo Rodrigues (2008), foi criado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA a resolução nº 258, que reforça a obrigatoriedade de um destino adequado para os pneus. Segundo a autora, a resolução entende como pneu, “todo artefato, inflável, constituído basicamente por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem em veículos.”

Cada vez mais os fabricantes têm investido em recursos tecnológicos para garantir uma durabilidade maior dos pneus. Segundo Bertollo (2002), um dos processos de reutilização do pneu é a recauchutagem, que se troca a banda de rodagem desgastada por uma nova camada de borracha, sendo assim aproveita-se a carcaça por mais duas vezes. Porém, se a carcaça do pneu não estiver em condições de reciclagem a recauchutagem não pode ser feita, surgindo assim os pneus inservíveis.

Segundo Bertollo (2002), a engenharia civil traz projetos que envolvem a utilização do pneu, e garante soluções que na maioria das vezes são de custos baixos. Alguns exemplos do uso do pneu na engenharia civil são: aplicação em obras de contenções nas margens de rios, construção de parques infantis, barreiras em acostamento e uso em obras de contenções.

Como a reciclagem do pneu ainda é um processo difícil de ser realizado, algumas soluções vêm sendo apresentadas para a utilização dessa borracha, assim como indica a figura 06, com exemplos simples do uso do pneu no cotidiano.



Fonte: TYREDRAIN, 2001 apud BERTOLLO, 2002

FIGURA 06 - Exemplos de utilização de pneus no escoamento de água pluvial (acostamento e talude

No Brasil, entretanto, a tecnologia ainda está em análise e em estudo, mas o uso dos pneus na pavimentação seria interessante, visto que o país possui um número considerável de rodovias pavimentadas. Desse modo, é importante avaliar a alternativa dessa inserção, visto que se deve levar em conta também o problema ambiental que estaria sendo minimizado. De acordo com Ballié e Roffé (2000, apud BERTOLLO, 2002), os revestimentos asfálticos com adição de

borracha também podem garantir uma melhora nas condições de circulação, pois tendem a diminuir os riscos de derrapagem no caso de pista molhada, e também são capazes de diminuir os ruídos causados no contato do pneu dos carros com o pavimento.

Existem dois processos para a inserção da borracha no asfalto, sendo eles chamados de “processo úmido” e “processo seco”. De acordo com Bertollo (2002), no processo úmido, o cimento asfáltico aquecido recebe partículas finas de borracha, e assim é produzido um ligante denominado “asfalto-borracha”. De modo geral, o asfalto obtido a partir do processo úmido tem seu uso aconselhado apenas para selagem de trincas e juntas ou quando for necessário um reforço. Sobre o processo seco, é obtido um asfalto modificado com adição de borracha. Segundo Bertollo (2002), nesse caso, os agregados pétreos que compõem o pavimento são substituídos por partículas maiores de borracha e a resposta da interação com a incorporação do ligante asfáltico é um asfalto conhecido como “concreto asfáltico modificado com adição de borracha”

Do ponto de vista de Bertollo (2002, p. 91), o método mais indicado para o Brasil seria pelo processo seco, já que se adequa melhor ao contexto brasileiro, especialmente por conta de se adaptar com mais facilidade às usinas além de exigir maior consumo de pneus. A autora ainda afirma que:

No Brasil, a necessidade de estudos complementares, para um melhor entendimento dos efeitos dos fatores intervenientes sobre as propriedades de engenharia das misturas asfálticas com adição de borracha de pneus usados, ganha ainda maior importância em razão de termos diferentes materiais (agregados pétreos e ligantes asfálticos), técnicas e cuidados construtivos e condições climáticas quando comparado com as condições que prevalecem nos Estados Unidos e Europa. (BERTOLLO, 2002, p. 92).

Em suma, esse trabalho tem como principal objetivo avaliar as características de permeabilidade, morfologia e resistência mecânica da incorporação de pneus inservíveis em concreto permeável, visando a sua aplicação em pavimentação de baixo impacto.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O primeiro ensaio realizado foi o de granulometria do pneu e da brita. Foi essencial fazer esse ensaio para que fosse possível comparar a curva granulométrica de ambos os agregados. No caso do pneu, foi utilizado 1kg de material, que passou por um processo de separação em peneiras vibratórias. Foram utilizadas peneiras de 19, 9,5, 4,75, 2,36, 1,18 e 600 $\mu$  (mm) e as porções retidas em cada peneira foram pesadas e reservadas. Para o ensaio com a brita, foi utilizado 1kg de material, entretanto, as peneiras usadas foram de 9,5, 6,3, 4,75, 2,36 e 1,18mm, e foi realizado em peneiras vibratórias. As porções retidas em cada peneira foram pesadas e reservadas. Importante ressaltar que os ensaios foram realizados com base na ABNT NBR 7217:1987, e com os dados obtidos, foram formados os gráficos para a curva granulométrica do pneu e da brita.

Visando avaliar as características físicas e mecânicas do concreto permeável com adição de pneu, foi necessário inicialmente produzir os corpos de prova. Sendo assim, tendo como base a bibliografia estudada, foram definidos os traços dos concretos a serem produzidos e a partir da NBR 5735/91 e NBR 7225/93 (que tratam do Cimento Portland de Alto-forno e dos Materiais de Pedra e Agregados Naturais, respectivamente) os agregados foram selecionados.

Para confeccionar os corpos de prova utilizou-se como parâmetro a NBR 5738/03 que regulamenta sobre a Moldagem e Cura de Corpos-de-prova Cilíndricos ou Prismáticos de Concreto. Com relação aos materiais utilizados foram: Brita zero, água, cimento Portland CPII, aditivo plastificante e pneu triturado.

Foram produzidos dezoito corpos de prova de 10x20cm de acordo com o traço 1:0:2,85 (sendo a proporção de cimento, areia e brita, respectivamente). No traço 1 não foi adicionada nenhuma quantidade de pneu, no traço 2 foi adicionado 7,5% de pneu e no traço 3, foi adicionado 10% de pneu, conforme indicados na Tabela 01. Importante ressaltar que a porcentagem de pneu é proporcional à quantidade de cimento no traço e o aditivo utilizado é do tipo plastificante.

**TABELA 01** - Traços desenvolvidos na moldagem dos corpos de prova analisados

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (l)	Pneu (g)	Aditivo (ml)
1	1,875	0	5,350	0,525	0	1,687
2	1,875	0	5,350	0,525	93,750	1,687
3	1,875	0	5,350	0,525	140,000	1,687

Fonte: Autoras (2022)

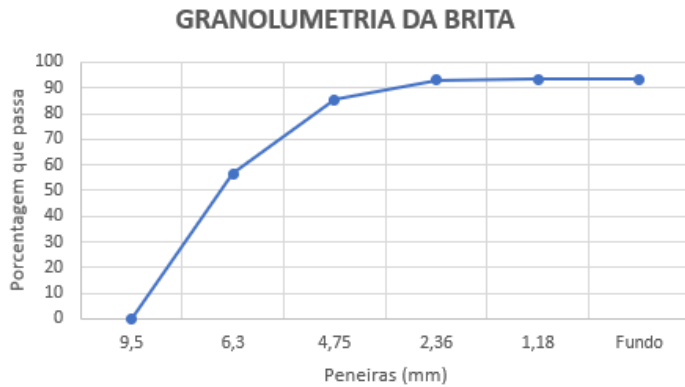
Após a moldagem dos corpos de prova, foram reservados por dois dias e no terceiro dia depois da confecção, colocados em cura úmida, que permaneceram por três dias. A partir disso, foi realizado o ensaio de compressão considerando 14 e 28 dias de idade, embasado na NBR 5739/07 que regulamenta sobre Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos.

Para avaliar a porosidade e a permeabilidade do concreto produzido foi realizado um ensaio adaptado pela NBR 9778:2005 que regulamenta sobre a Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica. Os corpos de prova foram deixados por 72 horas em estufa a 80°C, antes da execução do ensaio, visando obter a melhor condição seca do material. Para o teste, em um balde contendo 4 litros de água, os corpos de prova de dimensões 10x20cm foram inseridos e ficaram submersos durante 20 minutos. Após esse tempo, mediu-se o volume de água com o corpo de prova. Logo após, foi obtido o volume do sólido que basicamente é a soma do volume de água com o volume do corpo de prova subtraído ao volume de água inicial. Com isso, calculou-se o volume de vazios, e a porosidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

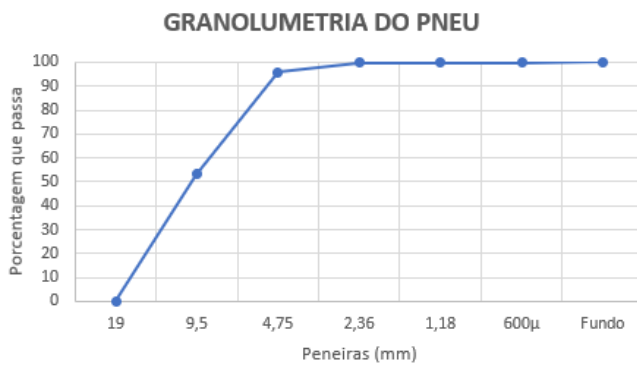
De acordo com o ensaio de granulometria dos agregados realizados, foi possível observar uma certa semelhança entre a curva granulométrica da brita com a do pneu, o que indica que a interação dos agregados com compõem o concreto, pode ser favorável com o pneu,

assim como é com a brita, conforme indicam Figuras 07 e 08 abaixo:



Fonte: Autoras, 2022

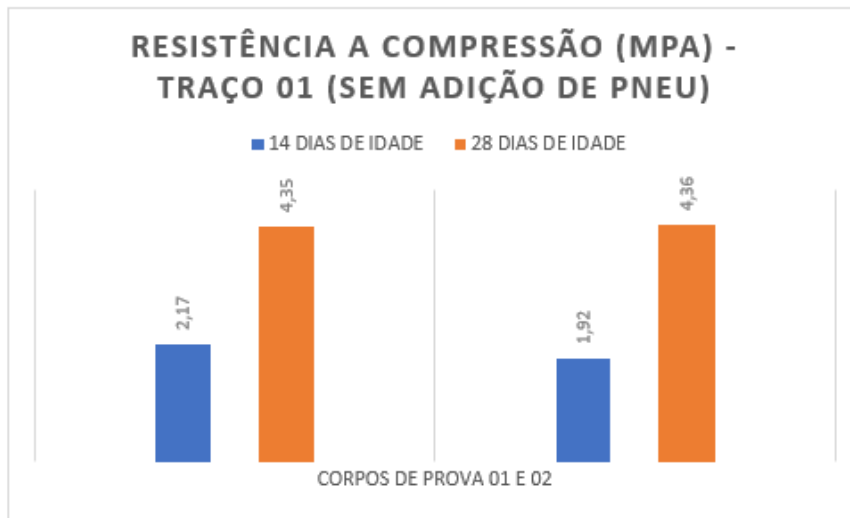
FIGURA 07 – Granulometria da brita



Fonte: Autoras, 2022

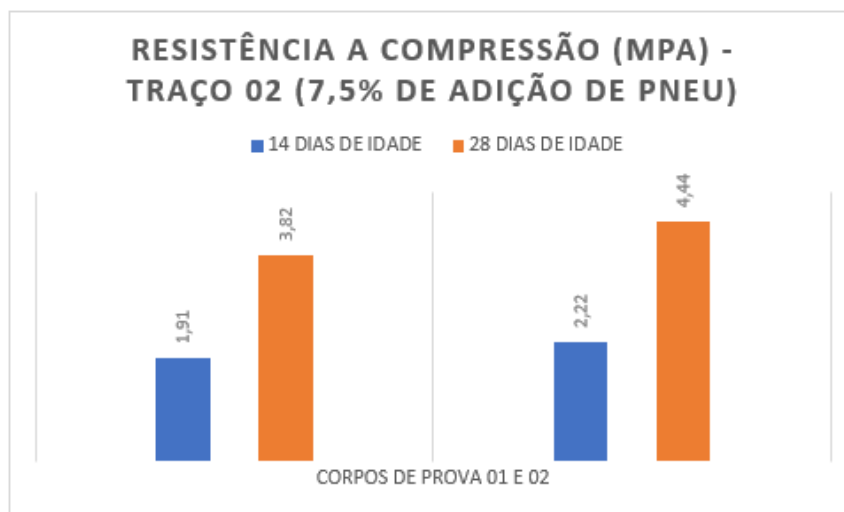
FIGURA 08 – Granulometria do pneu

Ao comparar os resultados obtidos durante os ensaios de compressão com os doze corpos de prova avaliados, constata-se que o melhor resultado encontrado foi no concreto com 7,5% de adição de pneu, visto que as maiores resistências foram observadas nesse traço tanto com 14 dias quanto com 28 dias de idade, a qual praticamente dobrou ao longo do tempo. No concreto com 10% observou-se uma queda quando comparada ao traço de 7,5% de adição de pneu com a mesma idade, ficando por volta de 15,63% aos 14 dias e 14,43% aos 28 dias de idade. Os resultados podem ser avaliados conforme a Figuras 9 a 11 a seguir:



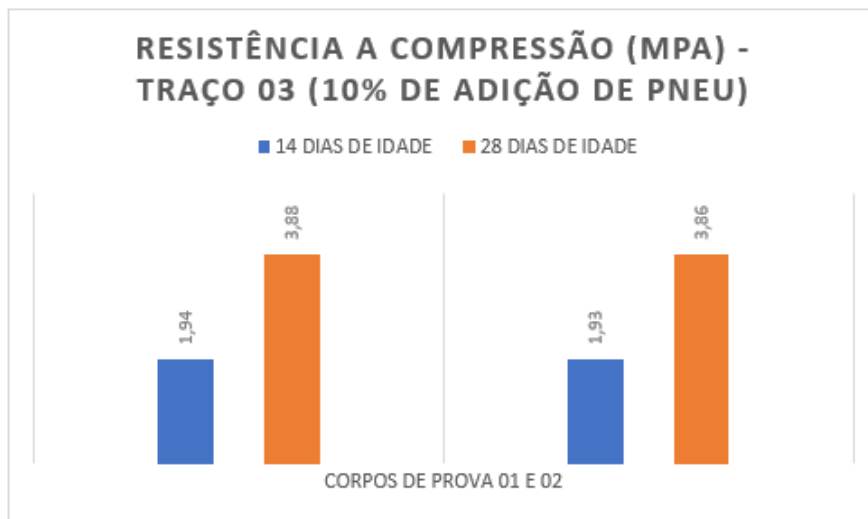
Fonte: Autoras, 2022

FIGURA 09: Resistência a compressão em MPa conforme a idade e o traço de cada corpo de prova - traço 01 (sem adição de pneu)



Fonte: Autoras, 2022

FIGURA 10: Resistência a compressão em MPa conforme a idade e o traço de cada corpo de prova - traço 02 (com adição de 7,5% pneu)



Fonte: Autoras, 2022

FIGURA 11: Resistência a compressão em MPa conforme a idade e o traço de cada corpo de prova - traço 03 (com adição de 10% pneu)

Analisando a questão da interferência do pneu na resistência a compressão do concreto permeável, entende-se que do primeiro para o segundo traço aos 14 dias de idade, houve praticamente os mesmos resultados, porém, é possível avaliar uma diminuição de aproximadamente 29% na resistência entre a incorporação de 7,5% para 10%. Com 28 dias de idade, os maiores resultados obtidos foram sem a incorporação de pneu, mas, do primeiro para o segundo traço, a queda ficou por volta dos 54%, enquanto do segundo para o terceiro traço, a queda avaliada foi de aproximadamente 56%.

Assim como no concreto convencional, no concreto permeável com a inserção de pneu, houve um aumento das resistências a compressão conforme o tempo, sendo essa uma resposta positiva.

Para avaliar a porosidade do concreto confeccionado, foi adaptado o ensaio segundo a norma vigente, conforme o seguinte memorial de cálculos:

a) Volume sem o corpo de prova (VI):

Em um balde graduado de 25cm de diâmetro, foi adicionado 4 litros de água e a altura d'água observada foi de 11cm. Com isso, foi calculado o volume sem o corpo de prova:

$$V = \pi * r^2 * h \rightarrow VI = 3,14 * 12,5^2 * 11 \rightarrow VI = 5,39L$$

b) Volume com o corpo de prova após 20 minutos (VF):

Cada corpo de prova ficou submerso por 20 minutos em cada balde, e após esse tempo, foi medida a diferença na altura d'água indicada no balde graduado. Analisou um aumento de 3 centímetros na altura d'água. Sendo assim, foi calculado o volume com o corpo de prova após o tempo de imersão:

$$V = \pi * r^2 * h \rightarrow VF = 3,14 * 12,5^2 * 14 \rightarrow VF = 6,86L$$

c) Volume do sólido (VS):

Para conseguir calcular o volume de vazios no ítem “e” é necessário calcular o volume do sólido, que é dado pela diferença entre os volumes medidos com e sem o corpo de prova.

$$VS = VF - VI \rightarrow VS = 6,86 - 5,39 \rightarrow VS = 1,47 L$$

d) Volume do molde (VM):

Como foram utilizados corpos de prova de 10cm de diâmetro por 20cm de altura, é necessário calcular o volume do molde para também aplicar na fórmula do volume de vazios do ítem “e”.

$$VM = \pi * r^2 * h \rightarrow VM = 3,14 * 5^2 * 20 \rightarrow VM = 1,57L$$

e) Volume de vazios (VV):

Para o cálculo da porosidade no ítem “f”, é necessário identificar o volume de vazios, ou também chamado de volume de poros.

$$VV = VM - VS \rightarrow VV = 1,57 - 1,47 \rightarrow VV = 0,10L$$

f) Porosidade

A porosidade (P) é dada pelo resultado da divisão entre o volume de vazios (VV) pelo volume total (Vt). Para isso, é necessário calcular o volume total (Vt), que é dado pela soma entre o volume do sólido (VS) pelo volume de vazios (VV).

$$Vt = VS + VV \rightarrow Vt = 1,47 + 0,10 \rightarrow Vt = 1,57L$$

$$P = \frac{VV}{Vt} \rightarrow P = \frac{0,10}{1,57} \rightarrow P = 0,00636 \rightarrow P = 6,37\%$$

Segundo Monteiro (2010), a porosidade obtida em um concreto permeável deve ficar entre 15 e 20%, e o índice alcançado nesse trabalho ficou em torno de 6%, o que indica um resultado contrário ao esperado.

## CONCLUSÃO

A impermeabilização do solo é um fator decorrente do super desenvolvimento das cidades brasileiras e realmente trás diversos danos ambientais e hídricos, que conforme o passar dos anos, se intensificam e causam malefícios à população. Por isso, é sugerido o uso de pavimentos permeáveis, para garantir que o escoamento superficial seja absorvido pelo revestimento e assim, direcione a água pluvial para o solo ou para bacias de captação.

Conforme os resultados obtidos, nota-se que a granulometria do pneu não interfere negativamente na resistência do concreto permeável, visto que a curva granulométrica da brita é semelhante. Além disso, pode-se dizer que a inserção de borracha contribui para aumentar a incorporação de ar, tornando assim o concreto mais poroso, sendo esse um acontecimento importante para o concreto permeável. Pode haver uma redução da trabalhabilidade do concreto a partir do momento que se adiciona o pneu, porém, não tende a prejudicar a moldagem das peças.

Sobre a resistência a compressão, entende-se que a inserção do pneu não indica prejuízos para as propriedades mecânicas do concreto permeável, já que os baixos valores obtidos durante os ensaios são decorrentes do alto índice de vazios. Além disso, a inserção de pneus no concreto permeável não interfere de forma significativa no ganho da compressão, visto que esse índice é afetado principalmente pelo tempo de cura do concreto. Mesmo assim a inserção do pneu no concreto permeável é considerada válida partindo do princípio que não interfere negativamente nos principais pontos analisados, e refletindo sobre sustentabilidade e meio ambiente é interessante considerar sua inserção no meio da construção civil, já que estaria sendo reutilizado de forma correta e positiva. O melhor traço obtido foi o de incorporação de 7,5% de pneu proporcionalmente à quantidade de cimento.

Com relação ao valor obtido na porosidade, que ficou abaixo do esperado, entende-se que pode ter ocorrido devido a duas principais causas: a primeira envolve a questão do traço, que possivelmente não garantiu a percolação da água por uma má interação entre os agregados. A segunda possível causa envolve a questão da compactação do concreto, pois durante a execução se houver uma grande compactação do revestimento, pode acontecer o entupimento dos poros pelas partículas dos agregados, processo esse chamado de colmatação, que afeta na eficiência da permeabilidade.

Em suma, a inserção de pneus inservíveis no concreto permeável é uma técnica válida em obras de pavimentação de baixo tráfego, em especial em locais que sofrem com a falta de permeabilidade no solo. Entende-se que é válido sugerir o uso do concreto permeável já que apresenta interferências positivas na resolução de problemas ambientais e hídricos.

Para a continuidade dessa pesquisa, sugere-se o desenvolvimento do ensaio de resistência à tração por compressão diametral, visto que avalia de forma simples o estado de tensão que acontece em campo nas camadas dos pavimentos. Além disso, recomenda-se também a execução do ensaio de permeabilidade para calcular o valor do coeficiente de permeabilidade (K).



## AGRADECIMENTOS

Esse trabalho de conclusão de curso contou com a ajuda de pessoas que merecem destaque pela sua contribuição, dentre as quais agradecemos, a professora orientadora, Cristina das Graças Fassina e a professora da disciplina do Trabalho de Graduação, Cândida Maria Costa Baptista, que nos conduziram de forma dedicada, compartilhando seus conhecimentos no decorrer do nosso estudo.

Agradecemos também à Universidade São Francisco por ter cedido o Centro Tecnológico Frei Constâncio Nogara para o desenvolvimento dos ensaios práticos, essenciais para esse trabalho de graduação.

Aos demais que tornaram essa jornada mais rica em experiências e saberes, nosso muito obrigada.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217. Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778. Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735. Cimento Portland de alto-forno.** Rio de Janeiro, 1990.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7225. Materiais de pedra agregados naturais.** Rio de Janeiro, 1982.

BERTOLLO, Sandra Aparecida Margarido. **Avaliação Laboratorial de Misturas Asfálticas Densas Modificadas com Borracha Reciclada de Pneus.** Orientador: José Leomar Fernandes Júnior. 2002. 252 f. (Tese de Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-14122015-152916/en.php>. Acesso em: 17 abr. 2022

BOTTEON, Letícia Machado. **Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamentos.** Orientadora: Camila Aparecida Abelha Rocha. 2017. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil,



Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/5255>. Acesso em: 27 mar. 2022

HOLTZ, Fabiano da Costa. **Uso De Concreto Permeável Na Drenagem Urbana: Análise Da Viabilidade Técnica E Do Impacto Ambiental**. Orientador: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho. 2011. 138 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/35615>. Acesso em: 27 mar. 2022

MONTEIRO, Anna Carolina Neves. **Concreto Poroso: Dosagem e Desempenho**. Orientador: André Luiz Bortolacci Geyer. 2010. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Federal Goiás, 2010. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/557672754/Concreto-Poroso-Dosagem-e-Desempenho#:~:text=CONCRETO%20POROSO%3A%20DOSAGEM%20E%20DESEMPELHO%20Trabalho%20de%20conclus%C3%A3o,Goi%C3%A1s%20para%20obten%C3%A7%C3%A3o%20do%20t%C3%ADtulo%20de%20Engenheiro%20Civil>. Acesso em: 26 out. 2022

OLIVEIRA, Carlos Gustavo Macedo. **Estudo de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante**. Orientador: José Camapum De Carvalho. 2003. 104 f. Tese (Mestrado em Geotecnia) - Faculdade de Tecnologia - Departamento De Engenharia Civil e Ambiental, UnB, Brasília, 2003. Disponível em: <https://docplayer.com.br/10222064-Estudo-de-propriedades-mecanicas-e-hidraulicas-do-concreto-asfaltico-drenante-carlos-gustavo-macedo-oliveira.html>. Acesso em: 10 mai. 2022.

RAMOS, Gustavo Moreira. **Análise Das Propriedades Do Concreto Permeável Com Adição De Agregado Miúdo E Resíduo (Cinza Madeira)**. Orientadora: Valéria Bennack. 2018. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018. Disponível em: 61 <https://1library.org/document/zg8kw02yanalise-propriedades-concreto-permeavel-adicaoagregado-residuomadeira.html>. Acesso em: 05 abr. 2022

RODRIGUES, Mara Regina Pagliuso. **Caracterização E Utilização Do Resíduo Da Borracha de Pneus Inservíveis Em Compósitos Aplicáveis Na Construção Civil**. Orientadora: Akemi Ino. 2008. 290 f. (Tese de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2008. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-17112008-104700/en.php>. Acesso em: 10 abr. 2022

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>. Acesso em: 20 mar. 2022