



ANÁLISE DA RESISTÊNCIA E PERMEABILIDADE DE PISOS DRENANTES PRODUZIDOS COM PALHA DE CAFÉ

Leonardo Rocha Ottoni¹

Maria Thereza de Moraes Gomes Rosa²

Jorge Luiz da Paixão Filho³

Recursos Hídricos e Qualidade da Água

Resumo

Aumentar a infiltração das águas pluviais é fundamental para reduzir as inundações urbanas. Os pisos drenantes ou permeáveis são aqueles que permitem a passagem de água para o solo, evitando assim o empoçamento, entupimento de ralos, diminuindo o número de enchentes e alagamentos nas cidades. São recomendados para o uso externo como em jardins, bordas de piscinas, calçadas, estacionamentos, garagens, entre outros. Os principais constituintes do piso drenante no mercado atualmente são pedra, areia, cimento, fibras naturais, aditivos plastificantes e porcelana reciclada, o que remete a ideia de desenvolver protótipos utilizando outros materiais sustentáveis. O objetivo desse trabalho foi analisar a resistência a de compressão e a permeabilidade de pisos drenantes com adição de casca de café. A utilização da palha de café na produção dos pisos drenantes trouxe resultados satisfatórios para a permeabilidade dos pisos, aumentando em 2,41 vezes em comparação a um piso drenante sem a palha de café, mas sua resistência a compressão ficou em 1,9 Mpa, o que mostra necessário a busca por aditivos, já que em média os pisos no mercado estão com valores em torno de 15 Mpa de resistência. Conclui-se que a utilização da palha do café apresentou resultados promissores no aumento da permeabilidade em pisos drenantes, contudo é importante estudar maneiras de aumentar a resistência mecânica dos pisos drenantes feito a partir da casca de café.

Palavras-chave: sustentabilidade, permeabilidade, compressão.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de eventos extremos causados principalmente pelo aquecimento global tem se tornado recorrente. A falta de infraestrutura e o excesso da impermeabilização

¹Graduado em Engenharia de Produção, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Centro de Ciência e Tecnologia (CCT), leo.ottoni87@gmail.com

²Dra. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, gomes.mtms@gmail.com

³Prof. Dr. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, jorgepf@unicamp.br



do solo tem provocado cheias e inundações causando danos materiais as populações vulneráveis.

Devido a esses problemas causados pelo excesso do escoamento superficial é necessário que o sistema de drenagem esteja integrado no sistema ambiental urbano (FCTH, 1999). Para minimizar os efeitos adversos das chuvas em áreas urbanas pode-se implementar medidas não estruturais como o ordenamento do solo e sistemas de alerta ou medidas estruturais como a detenção, retenção e infiltração da água (CANHOLI, 2014).

O concreto é um material com baixa permeabilidade de alta resistência amplamente utilizado na construção civil. O crescimento de pesquisas relacionadas a concreto permeável tem crescido muito nos últimos anos. Segundo Maróstica (2021) entre 2010 e 2021 o número de publicações sobre concreto permeável foi de 787, ressaltando a importância desse tema.

Buscar soluções que promovam a infiltração da água contribui para a redução do escoamento superficial evitando-se alagamentos e contribui para a recarga de aquíferos devido ao escoamento de base. Com base no exposto, uma medida simples é a implementação de piso drenante em área que não ficam expostas a cargas elevadas.

A produção de concreto demanda diversos recursos naturais e energia. Para reduzir o impacto ambiental do ciclo de produção do concreto é fundamental o aproveitamento de materiais que seriam descartados, dando assim, um destino adequado e integrando a economia circular.

Para produção de piso drenante é necessário buscar materiais alternativos como a casca do café. O café é uma bebida consumida mundialmente, sendo um produto exportado pelo Brasil. Com a produção crescente desta commodity é essencial observar o ciclo de produção para implementar melhorias e reduzir o custo da produção. A casca do café é um resíduo gerado em grande quantidade em seu beneficiamento, precisando, portanto, de uma destinação adequada. Desta forma, aventa-se a utilização da casca do café na produção de piso drenante de baixo custo.

METODOLOGIA

Nesse experimento será abordado a fabricação de pisos drenantes, feitos

Realização





basicamente com os agregados básicos cimento (CP-II), areia (tipo média), palha de café, brita (Passante em peneira 19, retida em peneira 4,8) e água.

Foi adotado um traço de concreto permeável sem a palha de café denominado de “traço testemunha”, protótipo “1”, com proporções de 1:1,25:5,25 (cimento: areia: brita) com a relação a/c 05, para servir como parâmetro de comparação com os outros traços (Alencar, 2013). Os protótipos numerados de “2 e 3”, são os que foram elaborados com a presença da palha de café “in natura”. Foram idealizados para ser possível a realização do concreto permeável de uma maneira mais acessível à população, sendo possível realizar o piso drenante “in loco”, sem a utilização de testes granulométricos.

Para a realização do protótipo numerado como 4 o traço de concreto foi executado com presença de palha de café. Foi realizado o ensaio de granulometria, utilizando o equipamento “solotest agitador de peneiras” e as peneiras 9,5mm; 6,3mm; 2,0mm; uma tampa e uma base. Foi acionado o temporizador do agitador com a potência máxima ajustada para 10 minutos, sendo observado que, quando chegava em 7 minutos, o processo já havia sido finalizado, porém era deixado até o final para garantir que as partículas haviam sido separadas por completo.

Para a realização deste ensaio foi utilizada a norma NBR 5739, “Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos”, e como norma complementar ao ensaio NBR 6156, “Máquina de ensaio de tração e compressão - Verificação - Método de ensaio” e a NBR 16416, “Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos”.

Para o desenvolvimento do experimento foram realizados em laboratório quatro traços para o concreto do piso drenante, sendo completados 20 corpos de provas cilíndricos com diâmetro de 10 centímetros e 20 centímetros de altura (5 corpos de provas por traço, 4 corpos para compressão e 1 para permeabilidade), o primeiro traço foi realizado com base na literatura e conseqüentemente sem a palha (testemunha), para que ele se tornasse base para os outros três traços que teriam a palha adicionada, sendo que os traços 2 e 3 a palha foi utilizada “in natura” e no traço 4 graduada, para fins de comparação com o traço 1, desta forma teríamos um traço sem a palha como base, dois com palha natural e um graduado, com diferentes proporções.

Para o traço 1 primeiramente foi adicionada a brita (50% da quantidade total), após

Realização



isso foi adicionado água (50% da quantidade total), com a brita e água a betoneira permaneceu ligada por 4 minutos para poder ser umidificada por igual, após a equalização da umidade a betoneira foi desligada, acrescentado o cimento por inteiro, por fim areia e água foram sendo dosadas até o a massa se tornar homogênea. Nos demais traços em que havia a presença de palha, foi acrescentada juntamente a areia e água até o final do experimento.

Os moldes para os corpos de prova já haviam sido montados e passado óleo em seu interior (ABNT NBR 5738, 1994). Após concreto permeável estar pronto, os corpos de prova foram devidamente preenchidos e anotados os números (1, 2 e 3) na data (25/04/2022), referentes ao traço e dia de execução do experimento. O traço 4 foi moldado na data 04/05/2022, uma vez que o traço 3 não havia oferecido consistência.

A tabela 1, apresenta os traços que foram executados no experimento, os traços 2 e 3 tiveram que sofrer mudanças nas quantidades de água e em especial no traço 3 também teve alteração na quantidade de cimento, devido a palha absorver muito os componentes da massa.

Tabela 1. Traços do Concreto

TRAÇO	CIMENTO	AREIA	PALHA	BRITA	ÁGUA
1	1	1,25	0	5,25	0,5
2	1	1	0,25	5,25	0,78
3	1	0,8	0,8	4,8	1
4	1	1,25	0,05	5,25	0,7

Os corpos de provas dos traços 1, 2 e 3 foram desmoldados depois de 7 dias a partir da data de moldagem devido a disponibilidade do laboratório, ou seja, dia 02/05/2022, mas o traço 3 não foi possível fazer o desmolde, uma vez que não apresentou consistência alguma o corpo de prova desmanchou por inteiro, fato que tornou necessário a realização de um quarto traço, que foi moldado no dia 04/05/2022.

Os traços 1 e 2 após serem desmoldados foram colocados na sala úmida do laboratório da Universidade Presbiteriana Mackenzie, para que após 28 dias fossem rompidos.

Referente ao traço 4, foi desmoldado no dia 09/05/2022 e rompido no dia 26/05/2022, não deixando os 28 dias para o ensaio, totalizando 22 dias após a moldagem



dos corpos de prova. Para a realização do ensaio de compressão, os corpos de provas foram medidos em altura e diâmetro com um paquímetro digital, e o resultado foi anotado no software do rompedor do equipamento. As faces dos pratos de carga do equipamento e do corpo-de-prova foram limpas e secas, as faces dos corpos de provas rematadas e centralizadas com o eixo central dos pratos da máquina.

Para a realização do ensaio de permeabilidade foi utilizada a norma NBR 13292: Solos – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante (ABNT, 1995), adaptando a aparelhagem para a realização do ensaio e a NBR 16416, “Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos”.

Foi desenvolvido uma aparelhagem que consiste em deixar um reservatório de água inicialmente com 10 litros e uma mangueira acoplada a uma torneira com vazão constante para o mesmo não esvaziar, fixado em um nível acima do recipiente que se localiza o corpo de provas, uma mangueira interliga ambos permitindo que a água escoe por gravidade (Figura 1A).

O corpo de provas é alocado dentro do equipamento “SOLOTEST”, de maneira centralizada e os vazios entre o corpo de provas e o equipamento preenchidos com argila, a fim da água contabilizada ser somente a que passou pelo interior do corpo de provas. Esse sistema é ligado por outra mangueira até uma proveta graduada de 2 litros, para fins da medição da água, conforme a figura 1a.

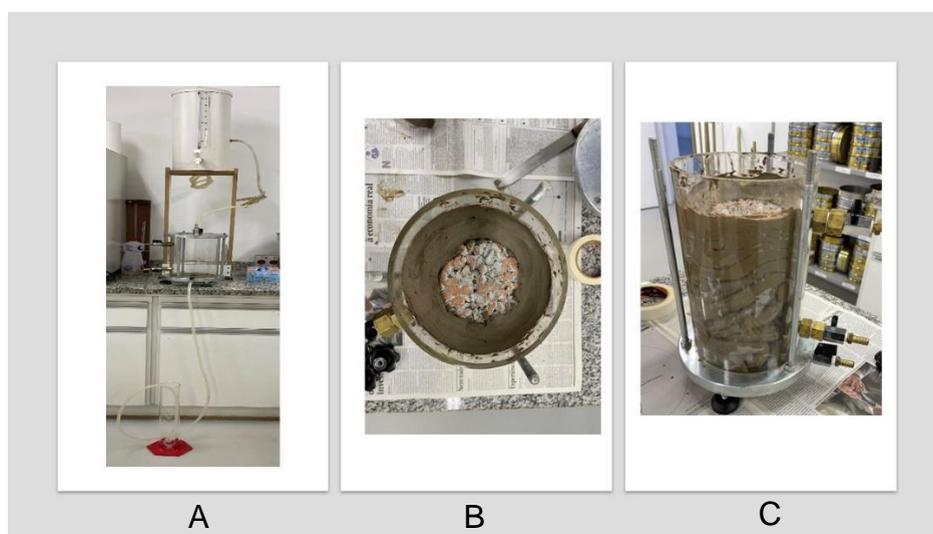


Figura 1 - Esquema para o Ensaio de Permeabilidade

Realização



O primeiro passo após a montagem do equipamento foi a introdução do corpo de provas do traço 1 no equipamento “SOLOTEST”, após a centralização foi realizado cilindros de argila para o preenchimento dos vazios.

A argila foi pressionada com uma espátula com a intenção de compactá-la, acrescentado mais material para o preenchimento total dos vazios até o topo do corpo de provas, onde foi alisado para impossibilitar infiltrações conforme as figuras 1b e 1c.

Com a finalização da vedação do corpo de provas o equipamento “SOLOTEST” foi vedado e levado ao sistema do ensaio, as mangueiras foram acopladas e foi realizado uma saturação do corpo de provas, que consiste em deixar a água circular por todo o equipamento até começar a sair pela proveta, feito isso os registros foram fechados e permitido a saída total da água.

Quando constatado que toda água havia saído do equipamento, a proveta foi esvaziada na pia do laboratório, e iniciada as medições para todos os traços.

Os dados foram anotados e para o cálculo do coeficiente de permeabilidade foi utilizada a equação Darcy.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A palha de café nos traços de concreto para os pisos drenantes demonstrou um resultado diferente do esperado. Foi notado um consumo maior de água na massa, fazendo com que fosse adicionado um volume maior do que havia sido previsto, isso se deve ao fato da palha ser um agregado com baixa densidade, sendo assim o volume do concreto se torna mais alto.

Na realização do traço 2 inicialmente foi adotado 3,6 kg de cimento, 3,6 kg de areia, 0,9 kg de palha, 18,9 kg de brita e 1,8 litros de água, com a realização do ensaio foi necessário ir adicionando mais água, sendo as seguintes quantidades, 200 ml, 300 ml e 500 ml.

Ao final do traço 2 a massa não apresentava consistência muito fraca, estava bem agregada, porém não se demonstrava de maneira homogênea, fato pode ser explicado a

Realização



grande quantidade de agregados graúdos para permanecer os espaços vazios e ser possível a permeabilidade da água. Para a realização do traço 3 a qual a relação cimento/palha inicialmente era 1:1, foi estabelecido inicialmente as quantidades 2 kg de cimento, 2 kg de areia, 2 kg de palha e 12 kg de brita, porém, a palha por ser um material com uma densidade muito baixa o volume se torna alto em comparação aos outros materiais, por esse motivo foi necessário adicionar mais cimento. Inicialmente 1 kg e depois de alguns instantes com a betoneira ligada, mais 500 g, fato que consumiu uma quantidade de água maior, a qual foi sendo graduada e adicionada conforme o experimento tinha andamento. Inicialmente havia sido previsto 2,5 l de água, e foi adicionado mais 1 litro com o andamento do experimento.

Após finalizado o traço 3 era visível que não aparentava com o traço 1, e nem com o traço 2, era notável enxergar a palha como agregado predominante (Figura 2).



Figura 2. Traço do concreto 3

Ao final, o traço 3 não apresentava liga, mas foi moldado nos corpos de prova afim de saber qual seria o resultado após a desforma. Como esperado não deu consistência e desmanchou antes mesmo de abrir o corpo de prova.

No caso do traço 4, antes de iniciar a execução da massa, foi realizado o ensaio granulométrico da palha, graduando como passante em 6,3 mm e retida em 2,00. De forma

Realização



a palha ficasse livre de gravetos, terra e cascas maiores.

A quantidade de palha foi de 0,05 em relação ao cimento. Em questões de volume, a palha ficou mais próximo dos outros componentes como a areia e o cimento. Após a realização do concreto permeável foi observado que teve uma consistência melhor que dos traços 2 e 3, não desagregando facilmente e mantendo-se hidratado, além de que a quantidade de água não teve que ser aumentada (Figura 2).



Figura 3. Comparativo entre os traços

A norma NBR 16416, “Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos” diz que placas de concreto permeável para o tráfego de pedestres deve possuir espessura mínima de 60 mm e tráfego leve deve possuir espessura mínima de 80 mm, e para isso é necessária uma resistência mecânica maior ou igual a 2,0 Mpa. Os resultados dos experimentos são apresentados na tabela 2.



Tabela 2. Resultados de resistência a compressão

Traço	Desvio Padrão	Máxima	Média	Mínima
1	1,022	8,23	6,84	5,97
2	0,058	0,20	0,15	0,07
4	0,691	2,92	1,91	1,47

Os pisos drenantes produzidos possuem como objetivo a sua utilização em áreas externas de residências como áreas gourmet, pisadas de entradas principais, quintais, quadras esportivas e praças públicas, para propor a ecologia, inovação, drenagem, revitalização de lençóis freáticos se enquadrando nos modelos sugeridos pela ABNT NBR 16416 que determina como resistência mecânica mínima 2,0 Mpa.

O traço 1 (testemunha) apresentou uma resistência média de 6,8 Mpa, e possuindo no lote uma resistência máxima de 8,2 Mpa e resistência mínima de 5,9 Mpa. O traço 2 apresentou resistência média em torno de 0,15 Mpa e seu máximo 0,20Mpa (Tabela 2), tal fato pode ser explicado pela utilização de um volume maior de palha de café.

O traço 4 não atingiu os 28 dias para o rompimento, totalizando 22 dias de cura após a realização do traço, de acordo com a ABNT NBR 16416 os lotes de peças com idade inferior a 28 dias, devem apresentar no mínimo 80% da resistência especificada, ou seja, o valor mínimo para o traço 4 seria 1,6 Mpa, e sua resistência média ficou em 1,9 Mpa, fato que possibilita a utilização do mesmo como placa de concreto permeável. Para aumentar a resistência dos pisos drenantes pode ser adicionado junto da casca de café a sílica ativa e superplastificante (Lian e Zhuge, 2010).

O coeficiente de permeabilidade para os corpos de traços 1, 2 e 4 foram respectivamente: 0,001661 cm/s; 0,002278 cm/s e 0,0040 cm/s. Tendo como base os valores obtidos pelo ensaio e pelo cálculo do coeficiente de permeabilidade notou-se que a palha aumentou significativamente o coeficiente de permeabilidade. O traço 4 apresentou uma permeabilidade duas vezes maior que o traço 1 (testemunha), já o traço 2 apresentou uma permeabilidade 30% maior que o traço 1.

Os traços 1, 2 e 4 são classificados como permeabilidade média a partir da norma ABNT NBR 16416 – Pavimentos Permeáveis de Concreto – Requisitos e Procedimentos.

Realização



CONCLUSÕES

O piso drenante é uma ótima solução quando se trata de problemas com águas pluviais, já que evitam o escoamento superficial da água da chuva. Como verificado nos ensaios de permeabilidade realizados, a palha de café alterou de maneira significativa e positiva nos resultados.

Os protótipos produzidos com palha de café tiveram um ganho elevado na permeabilidade em relação aos pisos que não possuíam, isso se deve ao fato de a palha ter criado vazios nas placas, mas diminui a resistência das placas.

Em relação a resistência a compressão, as placas tiveram basicamente o mínimo previsto pela norma NBR 16416, desta maneira poderia ser melhorado se utilizado um plastificante, que melhora a resistência mecânica e durabilidade.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, A. C. M. F. **Avaliação de piso drenante com a utilização de agregados reciclados**. 2013. 65 f. TCC (Graduando em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13292: Solos – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante**, Rio de Janeiro, 1995.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16416, “Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos”, 2015 NBR 5738 - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**, Rio de Janeiro, 1994.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e controle de enchentes**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2014.

LIAN, C, ZHUGE, Y. Optimum mix design of enhanced permeable concrete – An experimental investigation. Elsevier Journal Construction and Building Materials, 2010.

MARÓSTICA, William Falasca. **IMPLANTAÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL EM PASSEIOS URBANOS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA**. 2021. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Campinas, 2021.

FCTH; PMSP. Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo.

Realização



[S.1.]. 1999

Realização

