

CONCRETO PERMEÁVEL: ESTUDO SOBRE A RELAÇÃO ENTRE TEOR DE VAZIOS, PERMEABILIDADE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

**Maria Eduarda Rosa Marcelina¹, Karina Simas da Rosa Carvalho², Guilherme Rosa³,
Julio Cesar Abreu Filho⁴, Alexandre Lima de Oliveira⁵
Juliana Machado Casali⁶**

¹Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (dudarosam@gmail.com)

²Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (karinasimas21@gmail.com)

³Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (guilherme@cfo.eng.br)

⁴Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (julio.af@ifsc.edu.br)

⁵Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (alexandre@ifsc.edu.br)

⁶Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil (juliana.casali@ifsc.edu.br)

Resumo: Este trabalho avalia o impacto da granulometria e da quantidade de agregados (brita 0, brita 1 e agregado miúdo) no concreto drenante. Foram analisados o teor de vazios, a permeabilidade e a resistência à compressão de diferentes dosagens. Os resultados permitiram correlacionar o teor de vazios com o desempenho mecânico e hidráulico do material, identificando a composição ideal para garantir alta capacidade de drenagem sem comprometer significativamente a resistência.

Palavras-chave: Concreto permeável; Teor de vazios; Resistência à compressão.

INTRODUÇÃO

O concreto permeável, ou drenante, destaca-se por sua estrutura de vazios interconectados que permite a percolação de água e ar, diferenciando-se significativamente das superfícies convencionais impermeáveis. Essa funcionalidade é essencial para a gestão hídrica em centros urbanos, onde a substituição de solos naturais por pavimentos impermeáveis tem intensificado a ocorrência de enchentes e sobrecarregado os sistemas de drenagem. Segundo NBR 16416-1 (ABNT, 2026), este material é definido pela capacidade de permitir a passagem de água por gravidade, sendo que ACI (2010) estabelece que um concreto é considerado permeável quando apresenta teor de vazios entre 15% e 25%.

A composição desse material, caracterizada pela supressão ou redução drástica de agregados miúdos, resulta em uma estrutura porosa onde os agregados graúdos são unidos por uma fina camada de pasta de cimento Portland. No entanto, conforme apontado por Pereira *et al.* (2024), essa configuração gera um desafio técnico: a resistência à compressão costuma ser inferior à do concreto convencional, variando entre 3,5 MPa e 28 MPa, o que exige um controle rigoroso na dosagem para equilibrar o desempenho hidráulico e mecânico.

Atualmente, a dosagem de concretos permeáveis no Brasil ainda carece de métodos sistematizados, sendo frequentemente realizada de forma empírica. Pereira

et al. (2024), enfatizam que a adoção de uma abordagem experimental sistemática é fundamental para superar esse empirismo e garantir que o material atenda aos requisitos normativos de permeabilidade e resistência. O uso desse pavimento contribui diretamente para a sustentabilidade urbana, auxiliando na recarga de aquíferos e na manutenção do ciclo natural da água.

Diante da necessidade de parâmetros mais precisos para a dosagem, este trabalho tem como objetivo investigar a relação entre o teor de vazios, a permeabilidade e a resistência à compressão. A pesquisa busca determinar o ponto de equilíbrio que atenda aos critérios da NBR 16416-1 (ABNT, 2026), avaliando diferentes combinações granulométricas de brita 0, brita 1 e agregado miúdo para otimizar o desempenho final do material.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia compreendeu, inicialmente, a seleção dos materiais, seguida por duas etapas experimentais distintas: ensaios preliminares fundamentados na literatura (Etapa 1) e o refinamento das proporções de dosagem para a definição da mistura final (Etapa 2). Em ambas as fases, foram quantificados o teor de vazios, a permeabilidade e a resistência à compressão, visando correlacionar os parâmetros de dosagem ao desempenho técnico do concreto.

Os materiais selecionados para produção do concreto drenante, objeto deste estudo, foram: Cimento Portland composto com pozolana - CP II - Z - 40, agregado graúdo (Brita 1), agregado graúdo 2 (Brita 0) e areia industrializada. Para a caracterização dos agregados foi determinada a composição granulométrica, conforme NBR 17054 (ABNT, 2022) e massa específica aparente conforme NM 52 (ABNT, 2009) apresentadas nas Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3..

Tabela 1. Propriedades físicas do agregado graúdo - Brita 1

Abertura de peneira (mm)	Porcentagem Retida Acumulada (%)
19,1	0,96
12,2	54,3
9,5	82,48
6,3	98,53
4,8	99,57
2,4	99,57
1,2	99,57
0,6	99,57
0,3	99,57
0,15	99,57
Fundo	100,00
Módulo de Finura	6,81
Massa específica (g/cm ³)	2,62

Fonte: Autores (2026).

Tabela 2. Propriedades físicas do agregado graúdo - Brita 0

Abertura de peneira (mm)	Porcentagem Retida Acumulada (%)
19,1	0,00
12,2	0,76
9,5	16,37
6,3	74,27
4,8	94,87
2,4	99,82
1,2	99,82
0,6	99,82
0,3	99,82
0,15	99,82
Fundo	100,00
Módulo de Finura	6,10
Massa específica (g/cm ³)	2,62

Fonte: Autores (2026).

Tabela 3. Propriedades físicas areia industrializada

Abertura de peneira (mm)	Porcentagem Retida Acumulada (%)
6,3	0,33
4,8	5,35
2,4	26,96
1,2	47,95
0,6	60,56
0,3	76,48
0,15	90,26
Fundo	100,00
Módulo de Finura	3,08
Massa específica argamassa anidra (g/cm ³)	2,57

Fonte: Autores (2026).

Na primeira etapa preliminar, avaliaram-se seis traços baseados na literatura [6], com variações na proporção de agregados graúdos e na inclusão de areia (Tabela 1). Utilizou-se brita 0 (4,8–12,5 mm) para densificação do esqueleto granular e brita 1 (9,5–19,0 mm) para favorecer vazios interconectados essenciais à drenagem. Traços específicos receberam agregado miúdo para analisar o incremento na resistência mecânica em contrapartida à redução da permeabilidade pelo preenchimento de poros.

A dosagem dos materiais foi calculada para a produção de 0,0017m³ de concreto, este volume representa o equivalente à moldagem de uma amostra. Para definir a quantidade total de materiais, apresentados na Tabela 4, adotou-se o dobro do volume. A quantidade de cimento Portland era fixa em 500 g.

Tabela 4. Composição dos traços de concreto na Etapa 1

Mistura	Brita 1 (kg)	Brita 0 (kg)	Areia indus. (kg)	a/c
1	1,60	0,40	-	0,27
2	2,00	-	-	0,28
3	-	2,00	-	0,30
4	1,44	0,36	0,2	0,30
5	1,80	-	0,2	0,29
6	-	1,80	0,2	0,28

Fonte: Autores (2026).

O preparo iniciou-se com a homogeneização a seco do cimento e agregados por 1 minuto. Após a adição gradual de água, a mistura foi processada manualmente por 5 minutos até atingir consistência uniforme. Foram moldados dois corpos de prova

cilíndricos (100 mm x 80 mm) em duas camadas, cada uma adensada com 10 golpes utilizando compactação manual (Figura 1). Após 24 horas, as amostras foram desmoldadas e submetidas à cura submersa em água saturada com cal por 7 dias.

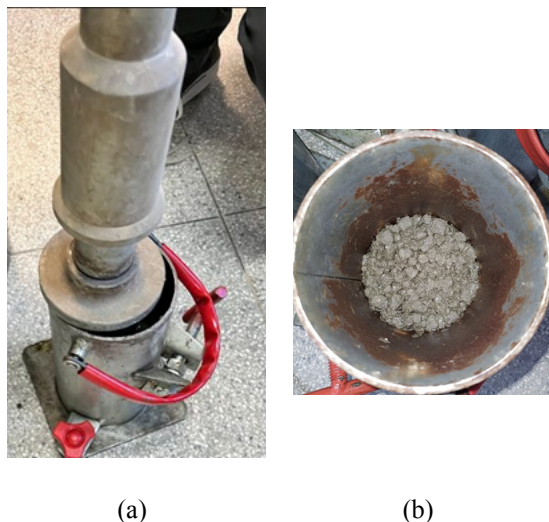


Figura 1. Moldagem dos corpos de prova: molde e compactador (a) e vista superior do corpo de prova moldado (b).

Fonte: Autores (2026).

Na etapa 2 foram investigados traços, definidos a partir da análise crítica dos resultados obtidos na primeira etapa, com o objetivo de identificar as propriedades influenciadas por cada traço e apontar um traço final de estudo. Na Tabela 5 é apresentado a quantidade de material utilizado nesta etapa. A quantidade de cimento Portland era fixa em 500 g.

Tabela 5. Composição dos traços de concreto na Etapa 2

Mistura	Brita 1 (kg)	Brita 0 (kg)	Areia indus. (kg)	a/c
I	1,40	0,60	-	0,28
II	1,26	0,54	0,2	0,31
III	1,20	0,80	-	0,28
IV	1,08	0,72	0,2	0,30

Fonte: Autores (2026).

Nesta etapa foi utilizado o mesmo procedimento de preparo das amostras adotado na Etapa 1, com exceção do método de mistura, que foi realizado com o auxílio de um misturador mecânico do tipo HM-40 (Figura 2).



Figura 2. Misturador mecânico utilizado.
Fonte: Autores (2026).

As propriedades avaliadas foram permeabilidade, teor de vazios e resistência à compressão que serão descritas a seguir.

A permeabilidade por vazão foi realizada de forma idêntica em ambas as etapas. O corpo de prova saturado foi inserido em um sistema sob coluna d'água constante, onde mensurou-se o tempo necessário para a passagem de um volume conhecido de fluido. Com o auxílio de uma válvula de controle, registrou-se o tempo de escoamento através da amostra, conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 3. Permeabilidade - ensaio de vazão.
Fonte: Autores (2026).

O teor de vazios das amostras foi determinado por meio da relação entre o volume geométrico e o volume da fase sólida, fundamentado no Princípio de Arquimedes. O procedimento consistiu em mensurar o volume geométrico total através das dimensões físicas das amostras e, posteriormente, obter a massa saturada e a massa imersa (balança hidrostática), permitindo quantificar o volume de vazios pela

diferença entre o volume total e o volume deslocado pelo sólido.

A resistência à compressão foi avaliada nas Etapas 1 e 2 após 21 dias de cura imersa. Para garantir a distribuição uniforme de carga, as faces superior e inferior dos corpos de prova foram regularizadas com capeamento de nata de cimento. O ensaio foi realizado em prensa universal, conforme ilustrado na Figura 4.

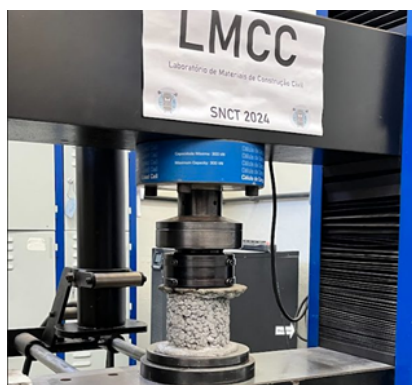


Figura 4. Determinação da resistência à compressão.
Fonte: Autores (2026).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 são apresentados os valores de teor de vazios médio, média da vazão e média da resistência à compressão de cada mistura obtidos na Etapa 1.

Tabela 6. Teor de vazios médio e média da velocidade (permeabilidade) dos concretos drenantes da Etapa 1

Mist.	Teor de vazios (%)	Desvio padrão (%)	Velocidade (10-3 m/s)	Desvio padrão (10-4 m/s)
1	25,10	0,03	13,756	2,83
2	21,26	2,71	18,025	0,00
3	18,04	2,06	9,844	1,41
4	19,42	2,92	7,486	3,54
5	19,81	0,37	11,449	0,71
6	14,05	3,01	6,456	0,71

Fonte: Autores (2026).

Os resultados obtidos na Tabela 6 confirmam que a granulometria governa a porosidade da matriz. A Mistura 1 apresentou a maior porosidade (25,10%), indicando estrutura aberta, enquanto a Mistura 6 obteve o menor teor de vazios (14,05%), denotando elevada compactidade. A Mistura 3 (18,04%) equilibrou densidade e porosidade. Essa correlação entre macroestrutura e condutividade hidráulica é

ratificada pelos dados de permeabilidade, representada pela velocidade (Tabela 6).

Quanto à NBR 16416 (ABNT, 2026), todas as composições foram aprovadas, com vazões entre $4,9 \cdot 10^{-5}$ e $1,39 \cdot 10^{-4}$ m³/s. A Mistura 2 destacou-se pela uniformidade de infiltração ($SD = 0,000052$ m/s), enquanto a Mistura 4 apresentou maior heterogeneidade de vazios interconectados, fator que influencia a perenidade do pavimento.

Na Tabela 7 apresenta os valores de resistência à compressão média corrigida conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013).

Tabela 7. Resistência à compressão dos concretos drenantes da Etapa 1

Mistura	Resistência à Compressão (MPa)	Desvio padrão (MPa)
1	15,48	3,95
2	17,63	0,42
3	21,41	4,59
4	23,31	2,43
5	16,76	1,67
6	28,08	4,75

Fonte: Autores (2026).

Em relação à resistência à compressão (21 dias), apresentadas na Tabela 7, as normas NBR 9781 (ABNT, 2013) e NBR 16416 (ABNT, 2026) exigem o mínimo de 20 MPa para o tráfego de pedestres. Apenas as Misturas 3, 4 e 6 foram aprovadas; as demais (1, 2 e 5) demandam ajustes de dosagem ou adensamento. A variabilidade observada (de 2% a 26%) reforça a necessidade de controle tecnológico, visto que a heterogeneidade da Mistura 1 (26%) compromete a segurança estrutural. A relação entre teor de vazios e resistência é detalhada na Figura 5.

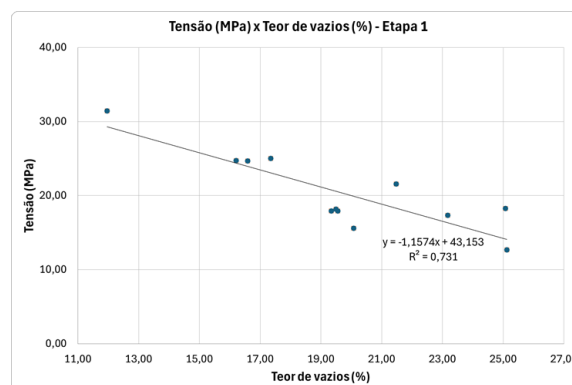


Figura 5. Resistência à compressão versus teor de vazios.

Fonte: Autores (2026).

Observa-se na Figura 5 uma boa correlação entre a resistência à compressão e o teor de vazios. O resultado reforça a necessidade de equilibrar drenagem e desempenho mecânico. No entanto, não foi observada uma correlação direta entre a velocidade de escoamento de cada corpo de prova e o teor de vazios (Figura 6).

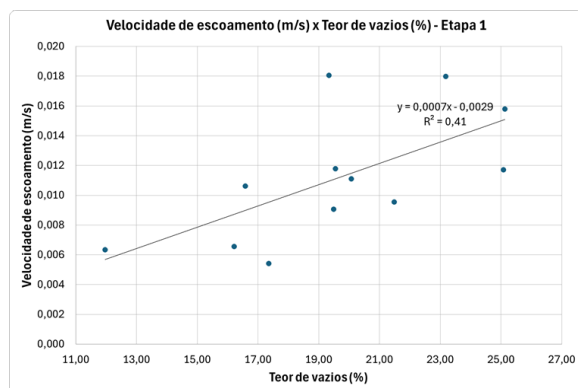


Figura 6. Velocidade *versus* teor de vazios.

Fonte: Autores (2026).

Assim, para atender à NBR 16416 (ABNT, 2026), a dosagem deve priorizar a formação de macroporos interconectados, minimizando a perda de carga onde foram selecionados traços para Etapa 2. A Tabela 8 apresenta os valores médios do teor de vazios e da velocidade de percolação de cada mistura, enquanto a Tabela 9 exibe as médias da resistência à compressão, ambas referentes aos resultados obtidos na Etapa 2.

Tabela 8. Teor de vazios médio e média da velocidade (permeabilidade) dos concretos drenantes da Etapa 2

Mist.	Teor de vazios (%)	Desvio padrão (%)	Velocidade (10-3 m/s)	Desvio padrão (10-4 m/s)
I	23,99	0,48	16,142	0,707
II	15,18	2,37	4,488	0,707
III	19,85	0,21	11,986	2,82
IV	15,69	0,58	4,343	0,707

Fonte: Autores (2026).

Tabela 8. Resistência à compressão dos concretos drenantes da Etapa 1

Mistura	Resistência à Compressão (MPa)	Desvio padrão (MPa)
I	17,37	3,86
II	24,97	0,52

III	17,62	1,96
IV	21,33	1,01

Fonte: Autores (2026).

A Mistura I apresentou o maior teor de vazios médio (23,99%) e boa uniformidade. Em contraste, a Mistura II obteve o menor teor de vazios (15,18%), porém com a maior dispersão dos resultados.

Quanto à NBR 16416 (ABNT, 2026), todas as composições foram aprovadas pela permeabilidade, com velocidades de infiltração entre 0,004 e 0,017 m/s (acima do mínimo de 0,0003 m/s). A Mistura I é a mais recomendada para drenagem superior devido à sua alta permeabilidade.

Em relação à resistência à compressão (21 dias), o requisito de 20 MPa da NBR 16416 (ABNT, 2026) para o tráfego de pedestres, apenas as Misturas II e IV foram aprovadas. A Mistura II obteve o melhor desempenho (24,97 MPa) seguida pela Mistura IV (21,33 MPa).

Foram obtidas baixas correlações entre a resistência à compressão e o teor de vazios (Figura 7) e entre a velocidade de escoamento e a resistência à compressão (Figura 8). No entanto, foi verificada uma excelente correlação entre a velocidade de escoamento e o teor de vazios, conforme apresentado na Figura 9.

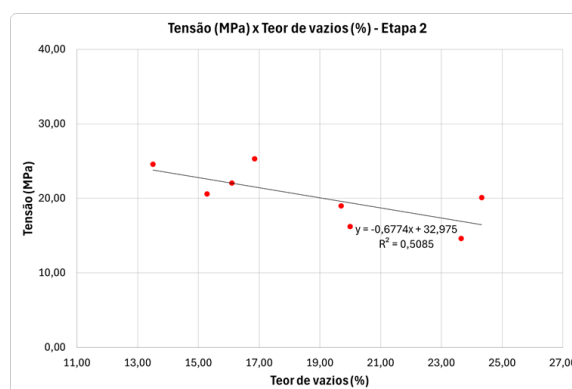


Figura 7. Tensão *versus* teor de vazios.

Fonte: Autores (2026).

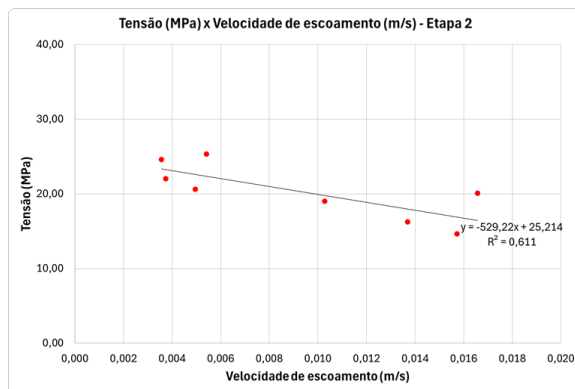


Figura 8. Tensão *versus* velocidade de escoamento.
Fonte: Autores (2026).

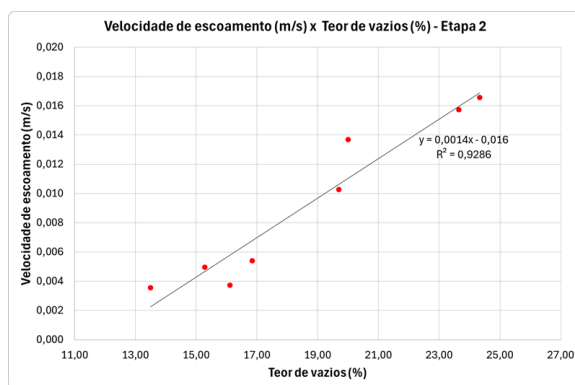


Figura 9. Velocidade *versus* teor de vazios.
Fonte: Autores (2026).

Após a obtenção dos resultados nas duas etapas foi realizada uma correlação entre todos os dados individuais de velocidade de escoamento e teor de vazios (Figura 10). Destaca-se que os pontos dispostos na cor azul da Figura 10 são referentes aos resultados encontrados na Etapa 1 e da cor vermelha são referentes à Etapa 2.

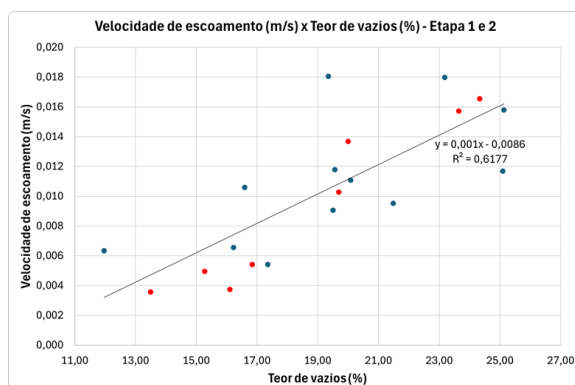


Figura 10. Velocidade *versus* teor de vazios etapa 1 e etapa 2.
Fonte: Autores (2026).

O Figura 10 demonstra uma tendência entre a velocidade de escoamento e o teor de vazios

($R^2=0,6177$), confirmando que o teor de vazios eleva a permeabilidade, conforme a literatura. Todas as amostras superaram o coeficiente mínimo de 0,001 m/s exigido pela NBR 16416 (ABNT, 2026), validando o desempenho de drenagem do material. Tais dados reforçam que o controle do teor de vazios é crucial para otimizar a permeabilidade dentro dos critérios normativos.

Por fim, a correlação entre a tensão de ruptura e o teor de vazios das misturas é apresentada no Figura 11.

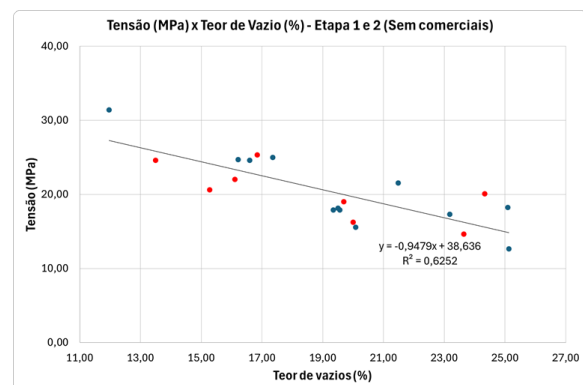


Figura 11. Tensão *versus* teor de vazios etapa 1 e etapa 2.
Fonte: Autores (2026).

Embora observe-se uma tendência linear de redução da resistência mecânica com o aumento do teor de vazios, a correlação global foi baixa. Os dados indicam que, quando os vazios superam 21%, a resistência à compressão frequentemente decai para níveis inferiores aos 20 MPa exigidos pela NBR 16416 (ABNT, 2026), evidenciando o impacto crítico da macroestrutura no desempenho estrutural.

Mesmo que a maioria das amostras situe-se no intervalo (15% a 25%), os resultados confirmam que teores elevados de vazios tornam a conformidade normativa mais desafiadora. Isso reforça a necessidade de uma dosagem equilibrada, capaz de garantir eficiência de escoamento sem comprometer a integridade da matriz cimentícia. Cabe ressaltar que não foi observada uma correlação entre a tensão (MPa) e a velocidade de escoamento na Figura 12. Contudo, existe uma tendência entre as propriedades: o elevado teor de vazios, embora favoreça o escoamento, reduz a área de seção transversal para transmissão de cargas. Consequentemente, estruturas mais densas elevam a resistência mecânica em detrimento da capacidade de infiltração.

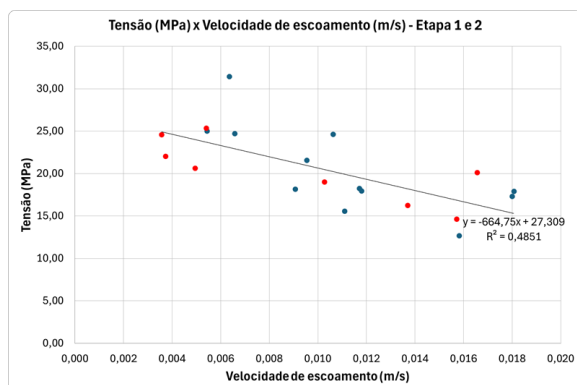


Figura 12. Tensão *versus* velocidade de escoamento etapa 1 e etapa 2.

Fonte: Autores (2026).

CONCLUSÃO

Este estudo investigou a interdependência entre teor de vazios, capacidade de infiltração e resistência à compressão em concretos permeáveis, buscando o equilíbrio entre os requisitos da NBR 16416 (ABNT, 2026). Os resultados ratificam que, embora a permeabilidade seja favorecida pelo aumento do teor de vazios, a resistência mecânica é inversamente proporcional a esse teor, dependendo diretamente da compacidade interna da matriz.

A progressão experimental da Etapa 1 para a Etapa 2 permitiu o refinamento dos traços, demonstrando que a redução do teor de vazios não inviabiliza o desempenho do escoamento. Evidenciou-se que misturas com teores de vazios inferiores a 20% podem conciliar resistências à compressão superiores a 20 MPa com velocidades de infiltração acima do limite normativo de 0,001 m/s.

Conclui-se, portanto, que é tecnicamente viável otimizar o desempenho estrutural do concreto permeável através da redução controlada do teor de vazios. A chave para essa otimização reside na preservação da conectividade dos poros, garantindo que a eficiência de escoamento seja mantida mesmo em matrizes mais densas, atendendo integralmente às demandas de pavimentos para tráfego de pedestres e veículos leves.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seu sincero agradecimento aos acadêmicos Caio Rogério Endler Brito, Radhamés Zardo von Mecheln e Rafael Andrade de Souza pela colaboração na realização deste trabalho.

Agradecem também ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) — Campus Florianópolis, pelo fornecimento da infraestrutura laboratorial essencial para a execução das etapas experimentais e a obtenção dos resultados apresentados.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9781-1: Componentes de concreto para pavimentação intertravada — Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2026.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16416-1: Pavimento permeável — Parte 1: Execução de pavimento permeável intertravado. Rio de Janeiro: ABNT, 2026.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 17054: Agregados - Determinação da massa específica e absorção de água de agregado graúdo. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 522R-10: Report on pervious concrete. ACI, 2010.
- BALBO, J. T. Pavimentos de concreto permeáveis: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.
- PEREIRA, Raquel Serquiz Arruda et al. Contribuição ao estudo de dosagem de peças intertravadas de concreto permeável para pavimentação. In: Anais do CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 65., 2024, Florianópolis: IBRACON, 2024. Anais... Disponível em: <https://cbc.ibracon.org.br>. Acesso em: 12/07/2025.