



8º FÓRUM INTERNACIONAL ECOINNOVAR
Santa Maria/RS - 15, 16 e 17 de Outubro de 2019

Área: Sustentabilidade | **Tema:** Cidades Sustentáveis e Inteligentes

DIMENSIONAMENTO E EXECUÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SANTA MARIA - RS

DIMENSIONING AND IMPLEMENTATION OF PERMEABLE PAVEMENTS IN THE UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SANTA MARIA - RS

Lucas Alves Lamberti , Daniel Gustavo Allasia Piccilli, Carla Fernanda Perius, Bibiana Peruzzo Bulé e

Jonathan Rehbein Dos Santos

RESUMO

O presente trabalho buscou aplicar as recomendações da norma NBR 16416 (ABNT, 2015) e os métodos de dimensionamento presentes na literatura na elaboração e execução de vagas de estacionamento compostas por pavimentos permeáveis.

Palavras-Chave: Pavimento permeável; concreto permeável

ABSTRACT

This study intends to apply the NBR 16416 (ABNT, 2015) recommendations and the dimensioning methods present in the literature in the design and execution of parking lots composed of permeable pavements.

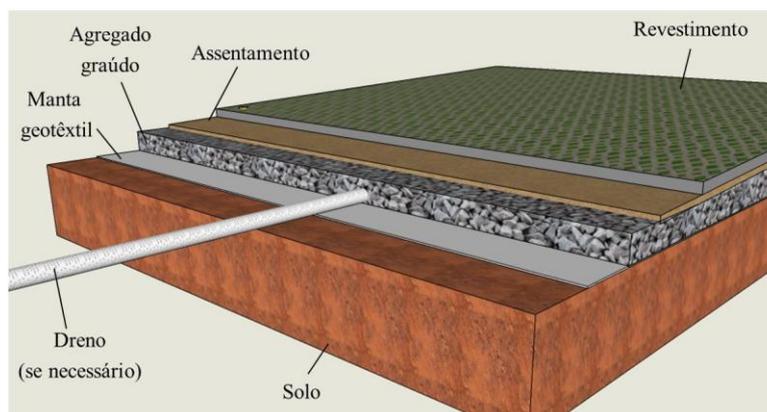
Keywords: Permeable pavement; pervious concrete

DIMENSIONAMENTO E EXECUÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - RS

1 INTRODUÇÃO

A concentração da ocupação urbana e a insuficiência da drenagem urbana trazem problemas frequentes de inundações, enchentes e enxurradas em locais de grandes centros. O solo, que naturalmente permite boa infiltração e retenção da água pluvial, é parcialmente vedado com o processo de urbanização. Neste contexto, os pavimentos permeáveis surgem como alternativa a pavimentação tradicional com o viés de facilitar a infiltração da água da chuva através de sua estrutura. Esta água pode ficar retida no interior da estrutura e verter para a rede de drenagem pluvial aos poucos ou infiltrar no solo local, a depender das especificações de projeto. Sua estrutura é composta de subleito (solo), manta geotêxtil (opcional), base permeável de agregado graúdo, dreno para auxiliar a verter a água da base (opcional), camada de assentamento com agregado miúdo (para assentar blocos do revestimento) e o revestimento (figura 1).

Figura 1 – Camadas de pavimentos permeáveis



Fonte: autores.

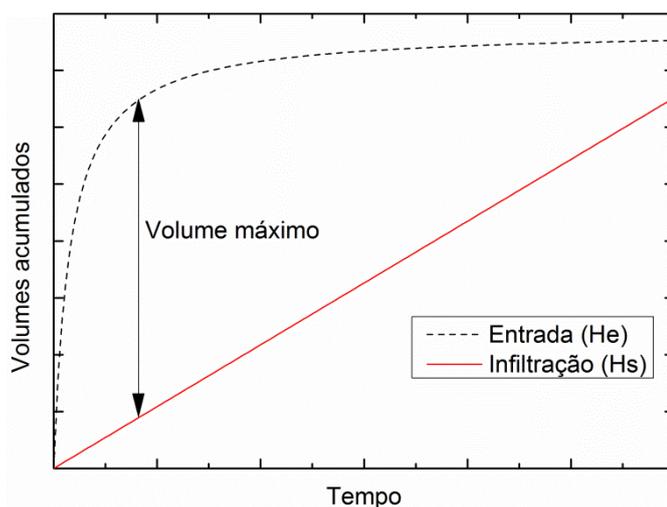
No Brasil, a regulamentação dos pavimentos permeáveis é recente. A NBR 16416 – Pavimentos permeáveis de concreto – requisitos e procedimentos (ABNT, 2015) fornece algumas diretrizes de projeto, porém, ainda há muitas particularidades nas etapas de projeto e dimensionamento a serem exploradas. A determinação das características do solo local, por exemplo, é imprescindível para determinar as espessuras das camadas e avaliar se a infiltração da água pluvial no solo pode comprometer a estrutura (EISENBERG et al., 2015).

A etapa de dimensionamento envolve a determinação da espessura das camadas do sistema permeável, em especial das camadas de revestimento e do reservatório de agregado graúdo. A determinação da espessura do reservatório de agregado depende do volume de água infiltrado a ser armazenado, ou seja, é condicionado pelo tempo de retorno da chuva utilizada. A espessura calculada deve ser comparada com a espessura especificada para suportar os esforços solicitantes, ou seja, oriunda do dimensionamento mecânico, adotando-se a maior entre as duas (EISENBERG et al., 2015; SWAN E SMITH, 2010). Há diversos métodos e *softwares* para o dimensionamento mecânico, tais como AASHTO, WinPAS, PCAPAV, ACI, entre outros (TENNIS et al., 2004), entretanto, segundo Weiss et al. (2017), pavimentos destinados a carregamentos leves, como veículos de passeio e pedestres, não exigem cuidados

quanto ao item de dimensionamento mecânico. A necessidade de incrementar as espessuras de um pavimento permeável é proveniente principalmente do dimensionamento hidrológico, conforme características climáticas da região.

A NBR 16416 (ABNT, 2015) apresenta uma referência de dimensionamento hidrológico, no entanto recomenda realizar o dimensionamento detalhado conforme condições locais. Um método bastante utilizado pela literatura é a Curva Envelope (rain-envelope method). Este método relaciona volumes acumulados de entrada (H_e) e de saída (H_s) da estrutura para determinar o volume máximo de armazenamento de estruturas de controle. O armazenamento máximo é obtido pela máxima diferença entre os dois volumes acumulados (figura 2) (SILVEIRA E GOLDENFUM, 2007). A equação de entrada (H_e) é obtida a partir da equação intensidade-duração-frequência (IDF) do local e é afetada pelo coeficiente de escoamento da superfície e relações de áreas, enquanto a equação de saída (H_s) é obtida em função da taxa de infiltração do solo, considerada constante.

Figura 2 – Volume de armazenamento pela diferença entre a curva de entrada e a de saída



Fonte: adaptado de Urbonas e Stahre (1993).

O presente trabalho buscou aplicar as recomendações da norma NBR 16416 (ABNT, 2015) e os métodos de dimensionamento presentes na literatura na elaboração e execução de vagas de estacionamento compostas por pavimentos permeáveis.

2 METODOLOGIA

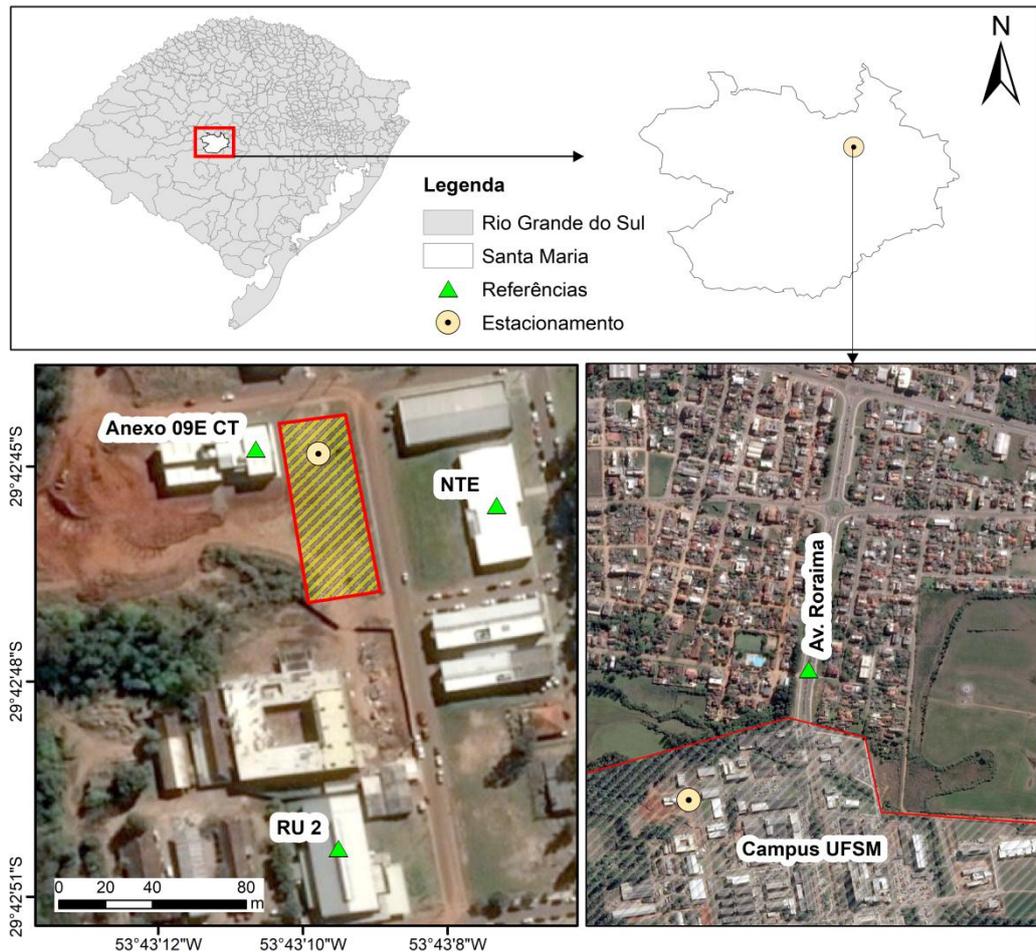
Foram construídas oito vagas de estacionamento em pavimentos permeáveis com quatro revestimentos diferentes:

- duas vagas com intertravado de concreto permeável (comercial);
- duas vagas com intertravado convencional (comercial);
- duas vagas com concreto permeável (moldado in loco);
- duas vagas com blocos de Pisograma (comercial).

2.1. LOCAL DE IMPLANTAÇÃO E PROJETO

Os pavimentos permeáveis foram construídos na Universidade Federal de Santa Maria, próximo aos prédios 09E e Restaurante Universitário 2 (RU 2). O local foi escolhido porque o projeto para a construção deste estacionamento já estava em andamento, com a previsão de 56 vagas de veículos. A figura 3 mostra o local do estacionamento.

Figura 3 – Local de implantação

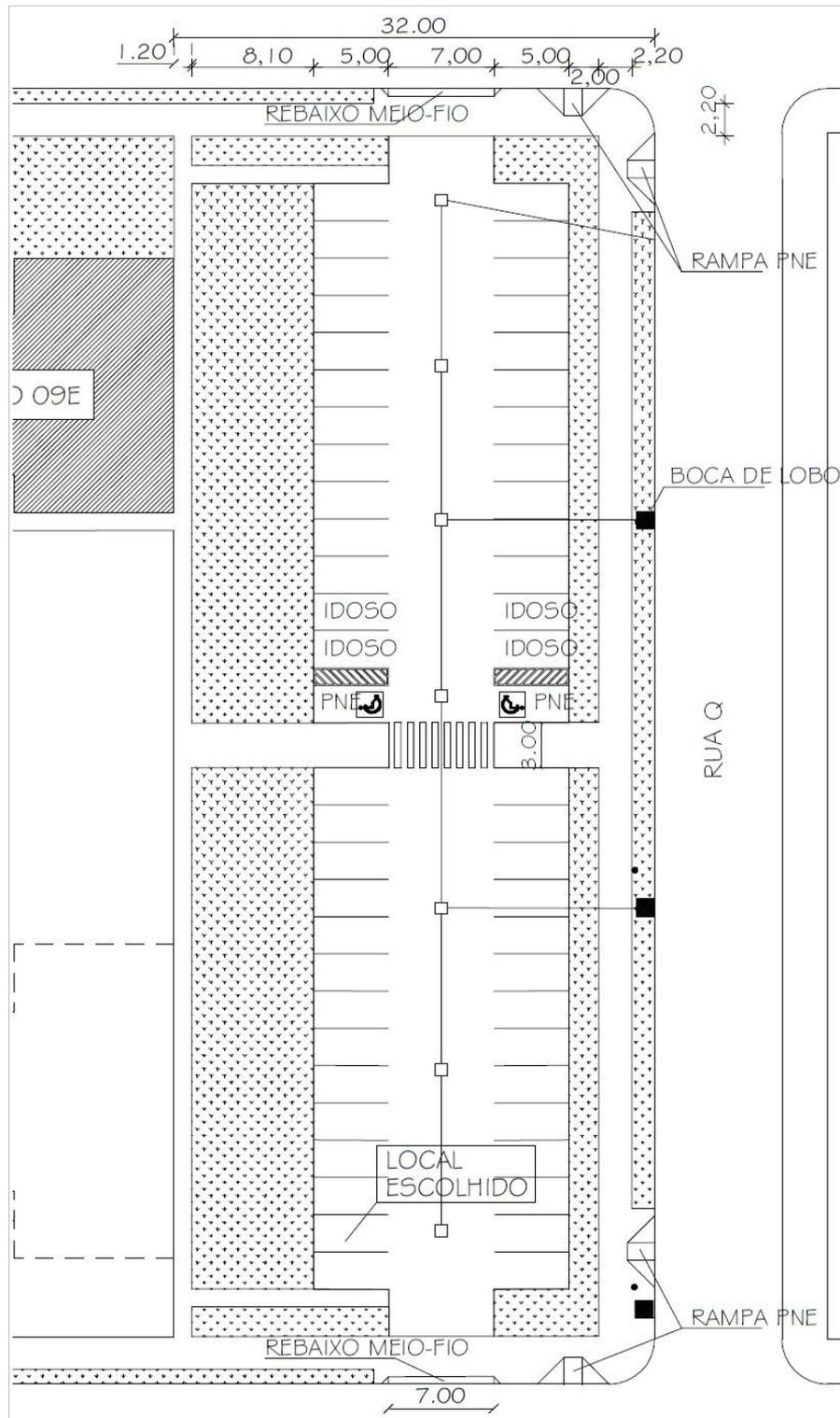


Fonte: autores.

O local apresentava cobertura vegetal rasteira com pequena declividade em direção às ruas asfaltadas. Por questões construtivas, a declividade foi mantida durante os processos de terraplanagem e construção da estrutura, desta forma, foi escolhida a região de maior cota para a execução dos pavimentos permeáveis evitando-se, assim, a contribuição hidrológica do restante do estacionamento (figura 4).

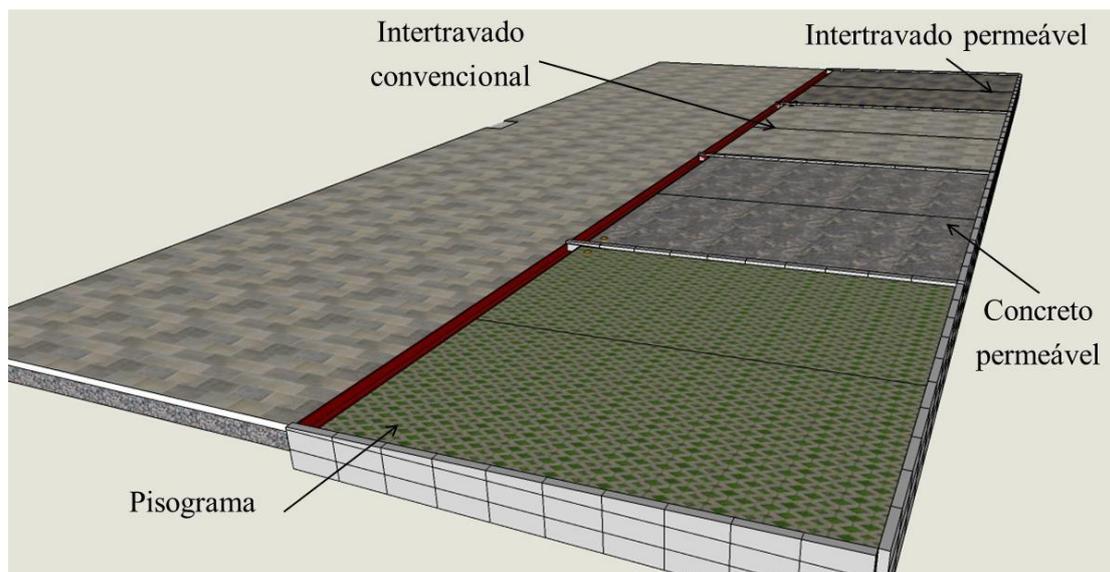
O esboço do projeto para observar os possíveis problemas construtivos, realizado através do software SketchUp®, é mostrado na figura 5. Especificou-se um isolamento ao redor de cada par de vagas com blocos de concreto para que cada tipo de pavimento funcione independentemente.

Figura 4 – Posição das vagas permeáveis no projeto do estacionamento



Fonte: autores.

Figura 5 – Esboço do estacionamento



Fonte: autores.

Foi realizada a investigação do solo local para que, em seguida, fosse realizado o dimensionamento mecânico e hidrológico. Os ensaios realizados foram:

- granulometria;
- proctor normal com reuso da amostra;
- índice de suporte Califórnia (CBR);
- infiltração do solo (anéis concêntricos).

Três amostras de pontos distintos do local foram coletadas a uma profundidade de 40 cm da superfície (cota aproximada do leito dos pavimentos) e levadas à estufa. Foram obtidas amostras suficientes para a realização dos ensaios de granulometria, Proctor Normal e Índice de Suporte Califórnia. Após secagem e destorção, as amostras foram pesadas para iniciar o processo de peneiramento. Foram utilizadas as peneiras nº 4 (4,8 mm), nº 10 (2 mm), nº 16 (1,2 mm), nº 30 (0,6 mm), nº 40 (0,42 mm), nº 60 (0,25 mm), nº 100 (0,15 mm) e nº 200 (0,075 mm).

Para a definição das espessuras das camadas dos pavimentos permeáveis, foram realizados dois dimensionamentos: mecânico e hidrológico. O primeiro foi realizado por meio do software gratuito DimPav versão 1.0, desenvolvido pelo Laboratório de Mecânica de Pavimentos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP, 2018). O segundo foi calculado através do método da Curva Envelope.

As vagas de estacionamento são restritas a veículos leves, então as simulações do dimensionamento mecânico envolveram carregamentos majorados de 12,8 tf. Para uma vida útil de projeto de 15 anos obteve-se um número de repetições do eixo padrão de 10.180. Segundo os fabricantes, o intertravado permeável é produzido com resistência à compressão de 25 MPa, o intertravado convencional com resistência à compressão de 35 MPa, o bloco de Pisograma é fabricado com 25 MPa, e o concreto permeável produzido em usina e moldado in loco tem resistência de 10 MPa, todos aos 28 dias de acordo com a norma (ABNT, 2015).

Para o dimensionamento hidrológico, foi necessário ajustar a equação genérica de relação intensidade-duração-frequência (IDF) mais atual de Santa Maria (Roman, 2015) no formato Talbot (equação 1), conforme prescreve as equações da curva envelope.

$$I = \frac{a * Tr^b}{(t + c)} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo I a intensidade da chuva (mm/h); Tr o tempo de retorno da chuva de projeto (anos); t duração da chuva de projeto (min); a, b, c os parâmetros da equação IDF.

Adotou-se tempo de retorno (TR) e duração da chuva (t) de 10 anos e 60 minutos, respectivamente, valores mínimos recomendados pela norma de pavimentos permeáveis (ABNT, 2015). Os parâmetros são empregados na equação 2 para o cálculo do volume de armazenamento no pavimento permeável.

$$V_{\text{máx}} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} * \sqrt{\beta} * Tr^{\frac{b}{2}} - \sqrt{\frac{c}{60}} * \sqrt{q_s} \right)^2 \quad \text{Equação 2}$$

Sendo V_{máx} o volume máximo armazenado (mm); β o produto do coeficiente de escoamento pela razão entre a área de contribuição e área do dispositivo; q_s a taxa de infiltração do solo (mm/h).

Quando o dispositivo não recebe água do escoamento de áreas próximas, chamada de área de contribuição, é contabilizado apenas a água infiltrante do pavimento na variável β. O coeficiente de escoamento varia de 0 a 1 e representa a parcela de água que escoar, portanto, a parcela que infiltra é (1 - C).

A altura da camada de reservatório do dispositivo é calculada pela divisão do volume máximo de armazenamento pela porosidade (η) do material pétreo utilizado no reservatório (equação 3).

$$H = \frac{V_{\text{máx}}}{\eta} \quad \text{Equação 3}$$

É preciso verificar o tempo de esvaziamento do reservatório, para permitir a secagem do solo e manutenção da capacidade drenante. De acordo com o Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PDDU, 2005), o sistema deve prever um esgotamento do volume acumulado em um período entre 6 e 12 horas. Já no manual SUDS (WOODS-BALLARD et al., 2015), a determinação do tempo de esvaziamento depende das variáveis hidrológicas adotadas, por exemplo, se o dimensionamento foi realizado para uma chuva com tempo de retorno entre 10 e 30 anos, é aconselhável especificar que metade do esvaziamento ocorra em 24 horas. Para eventos com tempo de retorno superior, este tempo de esvaziamento pode ser insuficiente até o momento da chuva subsequente. O tempo de esvaziamento é calculado pela equação 4.

$$t_{\text{esv}} = \frac{H}{q_s} \quad \text{Equação 4}$$

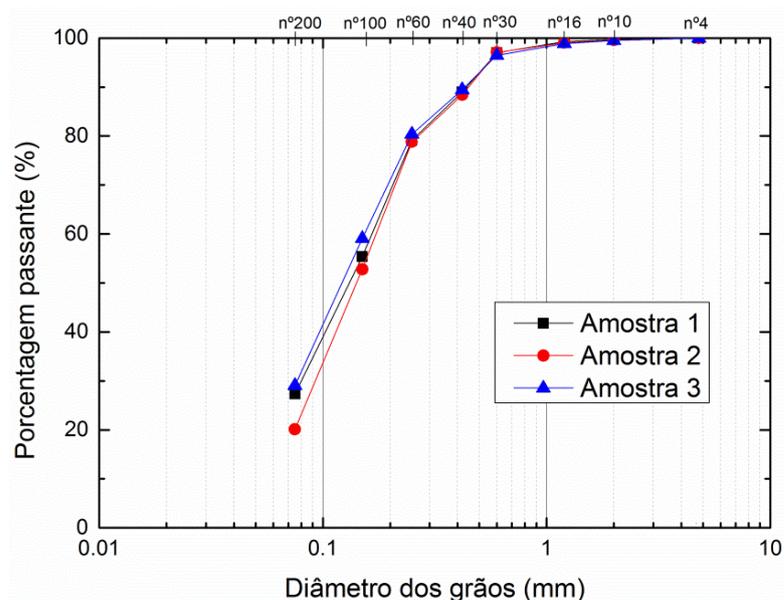
Prevendo a redução da capacidade de infiltração com o tempo e variações do solo no local do dispositivo, é importante aplicar um coeficiente de minoração na taxa de infiltração do solo. Para pavimentos permeáveis, a recomendação sugere que adote um coeficiente de segurança de 1,5 (WOODS-BALLARD et al., 2015).

3 RESULTADOS

3.1.1 Análise do solo

O resultado da granulometria das três amostras está na figura 6.

Figura 6 – Curvas granulométricas do solo local



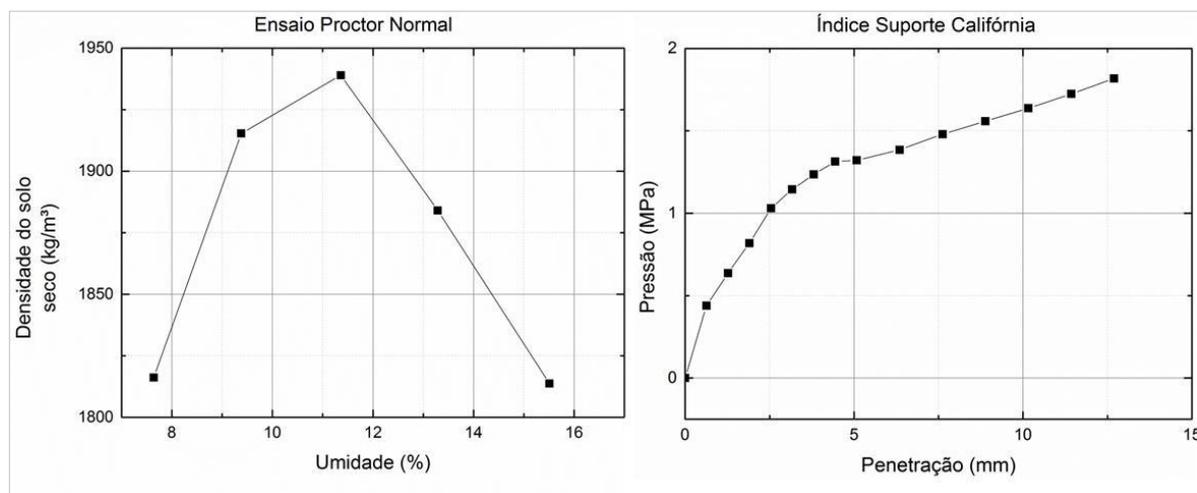
Fonte: autores.

Aproximadamente 20% do material tem granulometria inferior a 0,075 mm, o que corresponde ao material argiloso. A maior quantidade do solo tem granulometria entre 0,075 mm e 0,42 mm, indicando permeabilidade moderada.

A figura 7 apresenta a curva de compactação média das amostras analisadas. Verificou-se uma umidade ótima em torno de 11,4%, com densidade máxima de 1939 kg/m³. O ensaio de CBR foi realizado com o ajuste do solo na umidade ótima e o índice CBR obtido foi de 14,94%.

O ensaio de infiltração do solo foi realizado pelo de Anéis concêntricos com ajustamento da curva Horton. Para um $\beta = 0,026$ a taxa de infiltração do solo em condição saturado foi de 8,15 mm/h. Com isso, a taxa de infiltração do solo minorada pelo uso do coeficiente de segurança de 1,5 é de $q_s = 5,43$ mm/h.

Figura 7 – Resultado do ensaio de Proctor Normal e CBR



Fonte: autores.

3.2. DIMENSIONAMENTO

A seguir, nos itens 3.2.1 e 3.2.2, são apresentados os resultados de dimensionamento mecânico e dimensionamento hidrológico, respectivamente. Em seguida, no item 3.3, têm-se as dimensões que foram empregadas na construção.

3.2.1 Dimensionamento mecânico

No dimensionamento do intertravado permeável e Pisograma como um pavimento flexível, foi verificada uma espessura mínima de 7 cm de revestimento (blocos) e 10 cm de base granular. No dimensionamento do intertravado convencional, verificou-se uma espessura mínima de 6 cm para uma base granular de 10 cm. O concreto permeável foi tratado como pavimento rígido e resultou em uma espessura de 12 cm para a mesma base de 10 cm. A tabela 1 resume as espessuras mínimas obtidas no dimensionamento mecânico.

Tabela 1 – Espessuras mínimas do dimensionamento mecânico

Revestimento	Resistência à compressão axial (MPa)	Espessura de base mínima (cm)	Espessura de revestimento mínima (cm)
Intertravado permeável	25	10	7
Intertravado convencional	35	10	6
Concreto permeável	10	10	12
Pisograma	25	10	7

Fonte: autores.

3.2.2 Dimensionamento hidrológico

A equação genérica de relação intensidade-duração-frequência (IDF) de Santa Maria (Roman, 2015) ajustada para o formato Talbot é apresentada na equação 5.

$$I = \frac{3182,552 * Tr^{0,1632}}{(t + 18,9121)} \quad \text{Equação 5}$$

Como as vagas de pavimentos permeáveis foram posicionadas na região mais elevada do estacionamento, não há área de contribuição externa, portanto, o coeficiente β é dependente do coeficiente de escoamento superficial ($\beta = 1 - C$). Adotou-se $C = 0,1$ (ACIOLI, 2005) para concreto permeável moldado no local, intertravado permeável e pisograma; e $C = 0,78$ (ALESSI, et al., 2006; ARAUJO et al., 2000) para blocos de concreto convencional.

Com estes parâmetros, fez-se o cálculo do volume de armazenamento de cada pavimento permeável (equação 6).

$$V_{m\acute{a}x} = \left(\sqrt{\frac{3182,552}{60} * \sqrt{\beta} * 10^{\frac{0,1632}{2}}} - \sqrt{\frac{18,9121}{60} * \sqrt{5,43}} \right)^2 \quad \text{Equação 6}$$

Obteve-se o volume de armazenamento máximo de $V_{m\acute{a}x} = 49,4$ mm para os pavimentos mais permeáveis (menores coeficientes de escoamento). Estimando-se um índice de vazios de $\eta = 32\%$ do agregado que será utilizado na camada de reservatório (ABNT, 2015), obtêm-se uma altura $H = 154,4$ mm. O maior tempo de esvaziamento calculado foi de $t_{sv} = 28$ h, valor adequado de acordo com as recomendações da literatura (WOODS-BALLARD et al, 2015; EISENBERG, 2015; PDDU, 2005).

Por meio do dimensionamento mecânico/hidrológico, definiu-se a colocação de manta geotêxtil sobre o solo local levemente compactado para, então, lançar uma camada de 200 mm de agregado graúdo na base. Especificou-se blocos intertravados (convencional e permeável) de 8 cm sobre uma camada de 5 cm de assentamento em areia, Pisograma de 7 cm sobre uma camada de 5 cm de assentamento e 15 centímetros de concreto permeável moldado diretamente sobre o agregado.

3.3. EXECUÇÃO

As obras tiveram início no dia 04 de junho de 2018 com a terraplanagem e limpeza do local (figura 8 a). Foi retirada uma camada de solo de aproximadamente 30 cm com retro escavadeira e caminhão basculante. O trabalho de topografia ocorreu em seguida com a marcação a cada 10 metros nos dois sentidos do estacionamento. Toda a área foi compactada com rolo compactador tipo liso com intensidade moderada.

No dia 26 de junho de 2018, deu-se início ao isolamento da área dos pavimentos permeáveis com blocos de concreto (figura 8 b). O terreno dos pavimentos permeáveis foi nivelado novamente, desta vez manualmente e, em seguida, o solo foi revestido com manta geotêxtil. O agregado graúdo foi colocado sobre a manta geotêxtil com carrinho de mão, tomando-se o cuidado para não danificar a manta (figura 8 c). A compactação do agregado foi feita manualmente em camadas de 5 a 8 cm com um equipamento construído em madeira.

Figura 8 – Execução de terraplanagem (a); vedação das vagas permeáveis (b); camada de agregado graúdo (c).



Fonte: autores.

Após a colocação e compactação de 20 centímetros de agregado graúdo, foi inserido uma camada de 5 centímetros de pó de pedra diretamente sobre a superfície do agregado graúdo. Os blocos de pisograma, intertravados de concreto convencional e intertravados de concreto permeável foram assentados sobre a camada de pó de pedra e rejuntados com o mesmo material (figura 9 a). A grama foi plantada sobre uma pequena porção de terra adubada no dia 10 de setembro de 2018. Tomou-se o cuidado para manter as mudas abaixo do nível superior do pavimento e assim evitar o esmagamento.

A placa de concreto permeável foi executada no dia 02 de outubro de 2018 (figura 9 b). Foi escolhido um dia nublado e de temperatura baixa (aproximadamente 15 °C) para retardar o tempo de pega do concreto permeável. O caminhão betoneira despejou o material diretamente sobre o agregado graúdo. O espalhamento do material foi feito com equipamentos manuais e o acabamento foi realizado com uma régua vibratória a gasolina.

Após a concretagem, as duas vagas foram cobertas com lona preta. O concreto foi hidratado diariamente durante sete dias para evitar trincas de retração. A lona preta foi mantida durante sete dias e o tráfego foi liberado após 30 dias da concretagem (figura 9 c).

Figura 9 – Colocação dos blocos Pisograma (a); execução do concreto permeável (b); pavimentos concluídos (c).



Fonte: autores.

4 CONCLUSÃO

As etapas de dimensionamento e projeto foram fundamentais para a execução dos pavimentos permeáveis. Destaca-se que:

- Análise prévia do solo é necessária para o dimensionamento hidrológico e mecânico dos pavimentos;

- Faz-se necessário aplicar um coeficiente de segurança para minorar a capacidade de infiltração do solo, prevendo problemas pontuais do solo e redução desta capacidade ao longo do tempo;

- É importante realizar os dimensionamentos mecânico e hidrológico para especificar as dimensões mínimas das camadas para atender adequadamente às duas condições.

No período de execução, constatou-se que:

- O solo não pode ser fortemente compactado para não limitar a capacidade de infiltração do sistema;

- Deve-se colocar o agregado graúdo com muito cuidado para não furar a manta geotêxtil;

- A escolha do dia para execução do concreto permeável é importante para facilitar o espalhamento.

REFERÊNCIAS

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, 2005.

ALESSI, F.; KOKOT, P. J.; GOMES, J. **Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso**. Revista da Vinci, vol. 3, n. 1, p. 139-156, Curitiba, 2006.

ARAUJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação da eficiência os pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 5, n.3, p. 21-29, Porto Alegre, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

EISENBERG, B.; LINDOW, K. C.; SMITH, D. R. (Eds.). **Permeable Pavements**. American Society of Civil Engineers, Virginia, 2015.

EPUSP. **DimPav (Dimensionamento de pavimentos pelas normas da PMSP-2004)**. Acesso em 27/05/2018. Disponível em < <http://sites.poli.usp.br/ptr/lmp//sofdown.htm> >, 2018.

PDDU – PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA. **Manual de drenagem urbana**. Departamento de Esgotos Pluviais, Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Vol. VI, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

ROMAN, C. A. **Controle da drenagem na fonte e sua compatibilização ao plano municipal de saneamento ambiental de Santa Maria**. Dissertação (Mestrado), Programa de

Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SILVEIRA, A. L. L.; GOLDENFUM, J. A. **Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 12, n.2, p. 157-168, 2007.

SWAN, D. J.; SMITH, D. R. **Development of design system for permeable interlocking concrete pavement.** Green Streets and Highways Conference, p. 314-322. ASCE, Reston, Virgínia, 2010.

TENNIS, P. D.; LEMING, M. L.; AKERS, D. J. **Pervious Concrete Pavements.** EB302, Portland Cement Association, 36p., Skokie, Illinois, 2004.

URBONAS, B.; STAHERE, P. **Stormwater best management practices and detention.** Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450p. 1993.

WEISS, P. T.; KAYHANIAN, M.; GULLIVER, J. S.; KHAZANOVICH, L. **Permeable pavement in northern north american urban areas: research review and knowledge gaps.** International Journal of Pavement Engineering, p. 1-20, 2017.

WOODS-BALLARD, B., et al. **The SUDS manual (C753).** CIRIA - Construction Industry Research and Information Association, London, 2015.