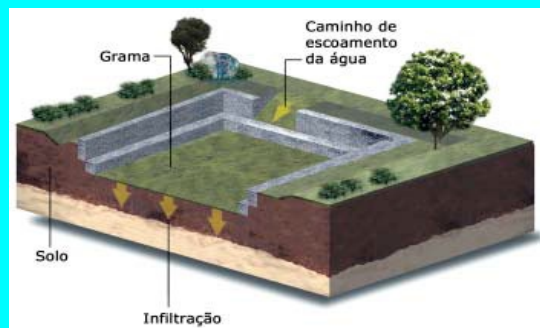


Dimensionamento de superfícies permeáveis para parques, praças e passeios



André L. L. Reda^{1,2}, Carolina de Oliveira Barbosa¹, Ludmilla Hanna Ribeiro El Atrache¹

¹ Escola de Engenharia Mackenzie, UPM, São Paulo, SP, Brasil

² Escola de Engenharia Mauá, IMT, São Caetano do Sul, SP, Brasil






**ESCOLA DE
ENGENHARIA
MACKENZIE**






**UNIVERSIDADE
PRESBITERIANA
MACKENZIE**




Introdução

-  Drenagem urbana até **meados do século XX** = metodologia similar à empregada pelas antigas civilizações: afastar a enxurrada para jusante, o quanto antes;
-  Esse modelo tradicional de drenagem **desloca o problema** da inundação para locais a jusante;
-  Utilização de **novos modelos a partir do final do século XX**.



IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

-  Grande parte da **alteração da paisagem**, causando **menor infiltração** das águas de chuva no solo e **mais rápido escoamento** superficial, com **mais altos picos** de inundação;
-  Necessidade de **métodos corretivos** (consumo de \$\$\$);
-  **Problemas sociais e econômicos** decorrentes das perdas de bens e capitais com o aumento das inundações (em frequência e magnitude).

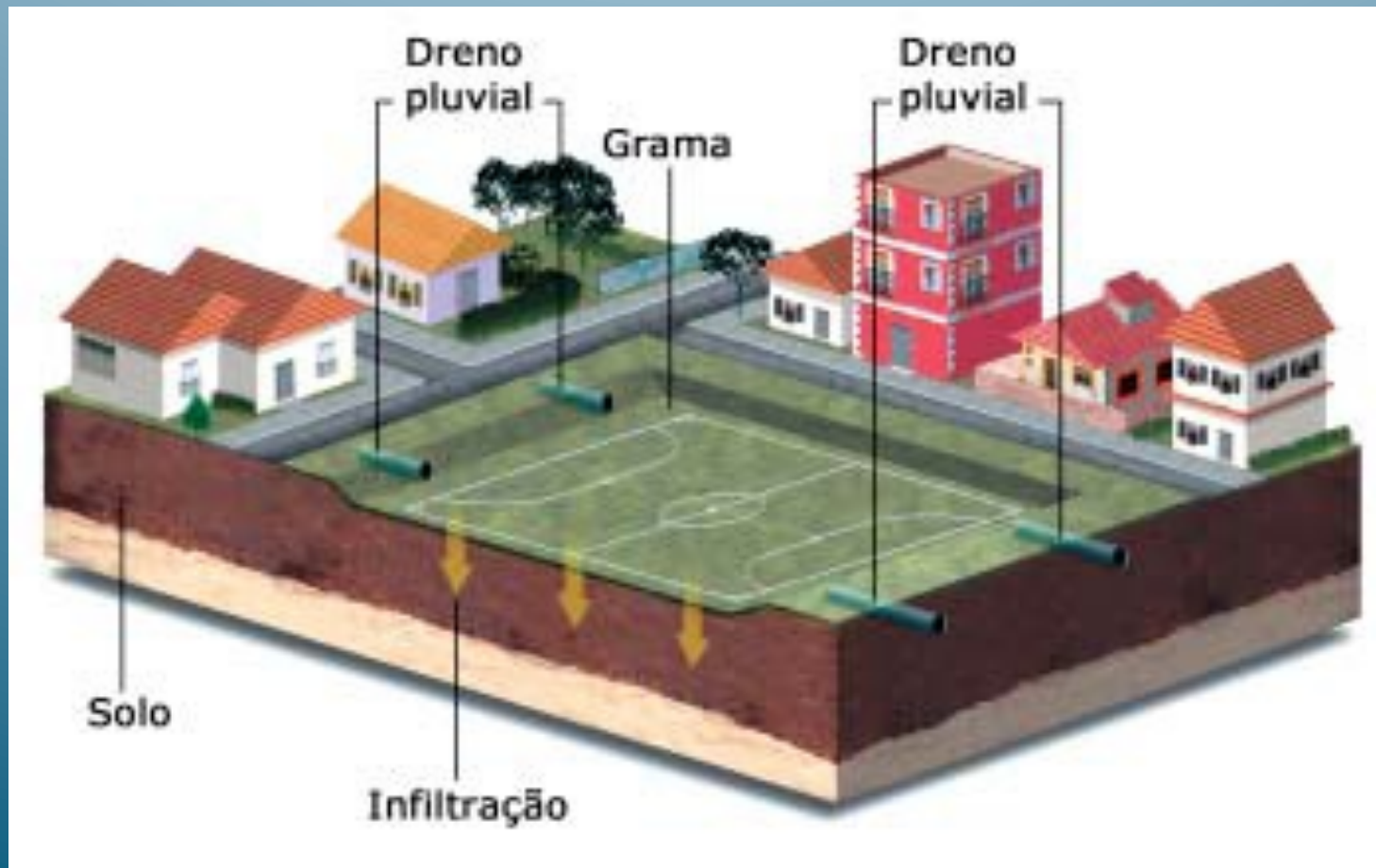
EXEMPLOS DE TIPOS DE SOLUÇÕES A SEREM APRESENTADOS:

-  Paisagens Multifuncionais;
-  Pavimentos Permeáveis;
-  Reservatórios de água subterrâneos.

Papel dos parques, praças e calçamentos na drenagem urbana

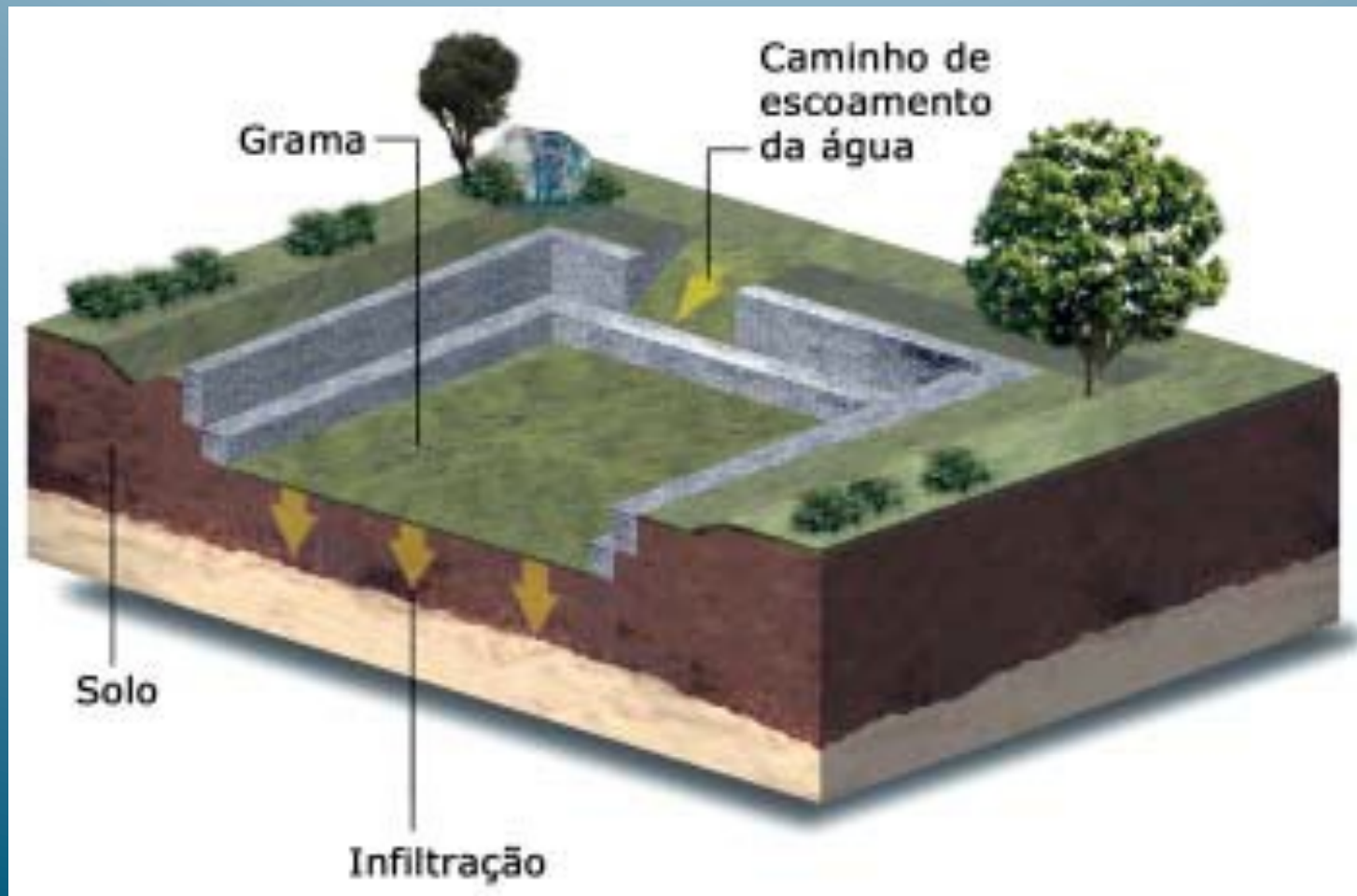
-  Elementos presentes nos centros urbanos para promover **conforto, segurança e facilidade de circulação**, amenizando e humanizando as feições e o uso prático do solo;
-  **Parte da infraestrutura social** urbana, visando promover conagraçamento, cultura, lazer e educação.
- **Parte da infraestrutura de drenagem** urbana, cujos custos de implantação e de manutenção podem atingir valores elevados se for desejada maior eficiência -- por tal motivo, nem sempre implantados para promover tal eficiência.

Campo de futebol utilizado no período de chuva para amortecimento da cheia.



Fonte: FEAM-MG (2006, n.p.)

Reservatório em parque municipal utilizado no período de chuva para amortecimento da cheia.






Fonte: FEAM-MG (2006, n.p.)

Pavimentos permeáveis utilizados no período de chuva para amortecimento da cheia.

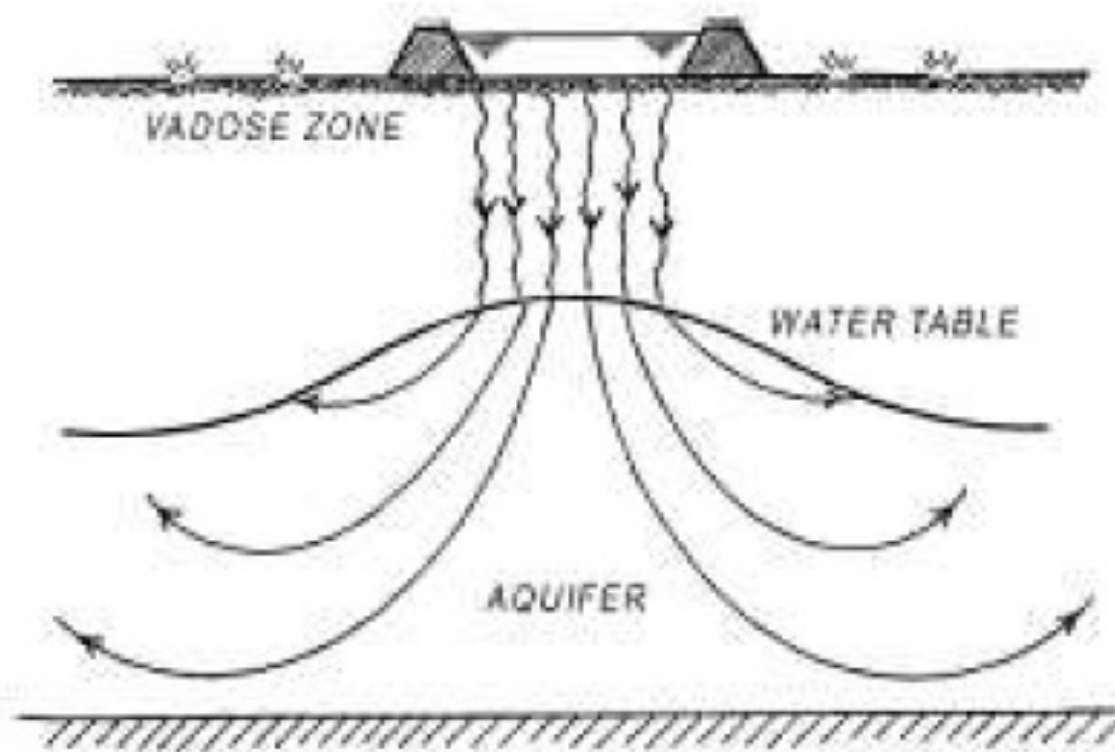


Fonte: Virgilius (2009, n.p.)

RECARGA DE AQUÍFEROS -- FUNÇÃO DAS CHUVAS

-  Linha de topo do aquífero freático (“lençol freático”) tende a ir baixando à medida que o solo vai sendo impermeabilizado;
-  Problemas gerados pela redução da água retida no aquífero:
 - contaminação;
 - recalque do solo => instabilidade de estruturas;
 - avanço das águas subterrâneas sobre a água doce subterrânea.
-  Tecnologias básicas para recarga de aquíferos:
 - reservatório de infiltração;
 - trincheira de infiltração;
 - poço seco de recarga da zona vadosa;
 - poço tubular profundo de recarga da zona saturada.

Reservatório de infiltração



Trincheira de infiltração

Corte:

manta permeável



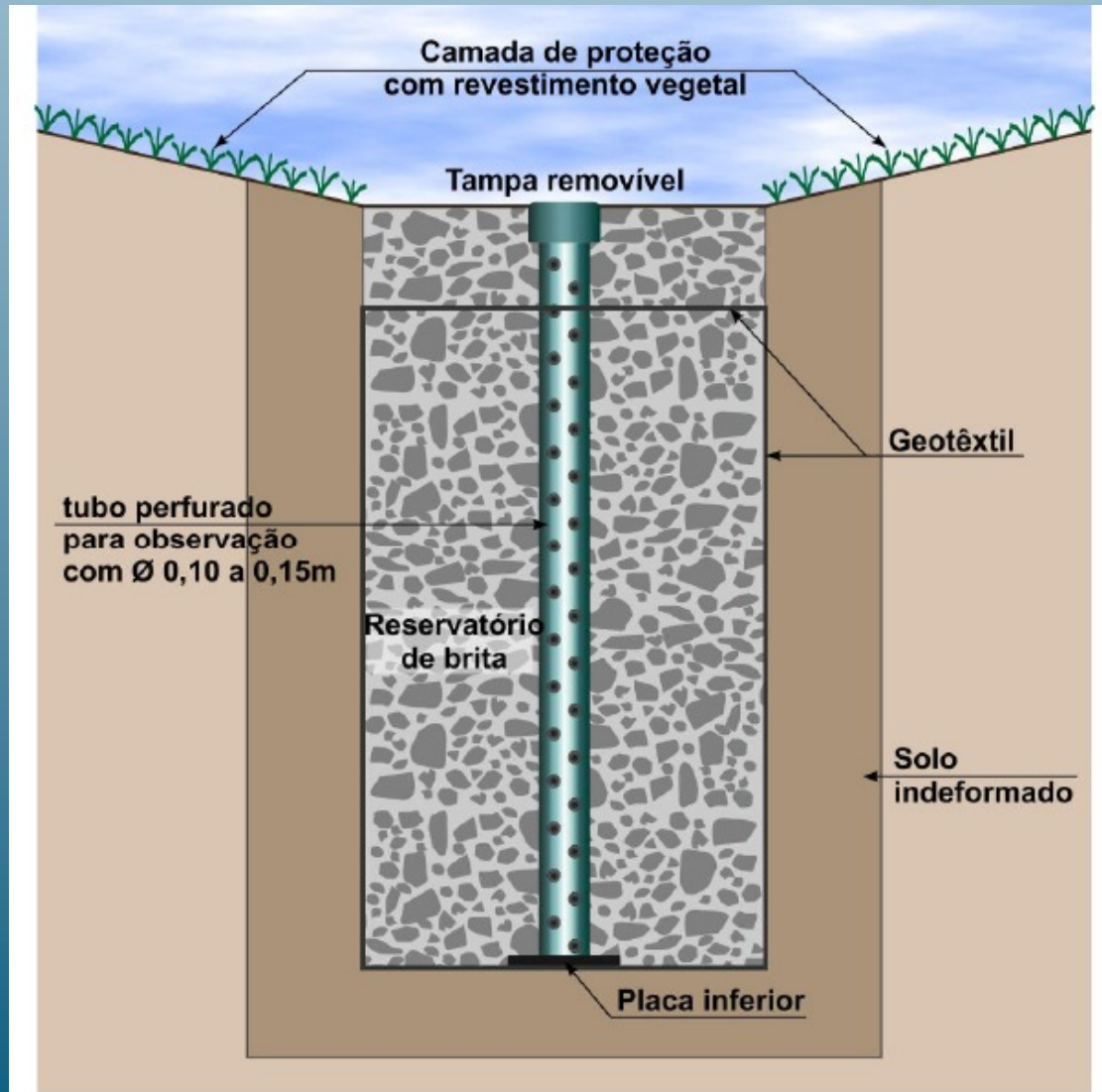
Perfil:



berço de areia

Fonte: Fujita (1984, apud SILVA, 2004)

Poço seco de recarga na zona vadosa






Fonte: adaptado de Roesner; Urbonas e Sonnen (1988 apud PINTO, 2011)

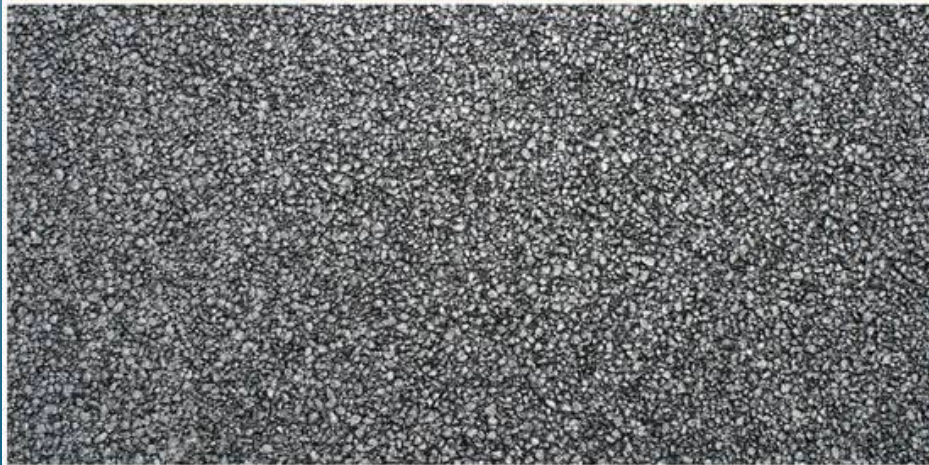
Poço tubular profundo de recarga na zona saturada.



TIPOS DE REVESTIMENTOS POROSOS

-  1) **Revestimentos** para captação da água da chuva (com considerável **volume de vazios**);
-  2) Introdução de **infraestrutura porosa** juntamente com os pavimentos permeáveis, resultando em maior capacidade de drenagem (armazenamento ocorre na camada inferior ao pavimento -- ela, então, deve ser bem porosa);
-  3) **Armazenamento** da água **temporariamente** numa camada que componha o pavimento e que tenha índice de vazios relativamente alto (com o passar do tempo, posteriormente à chuva, a água infiltra no solo -- que, neste caso, não precisa ser tão poroso quanto no tipo '2', acima).

CONCRETO ASFÁLTICO POROSO



PAVIMENTOS INTERTRAVADOS SOBRE BASE POROSA






Fonte: Virgiliis (2009)

ECOPAVIMENTO

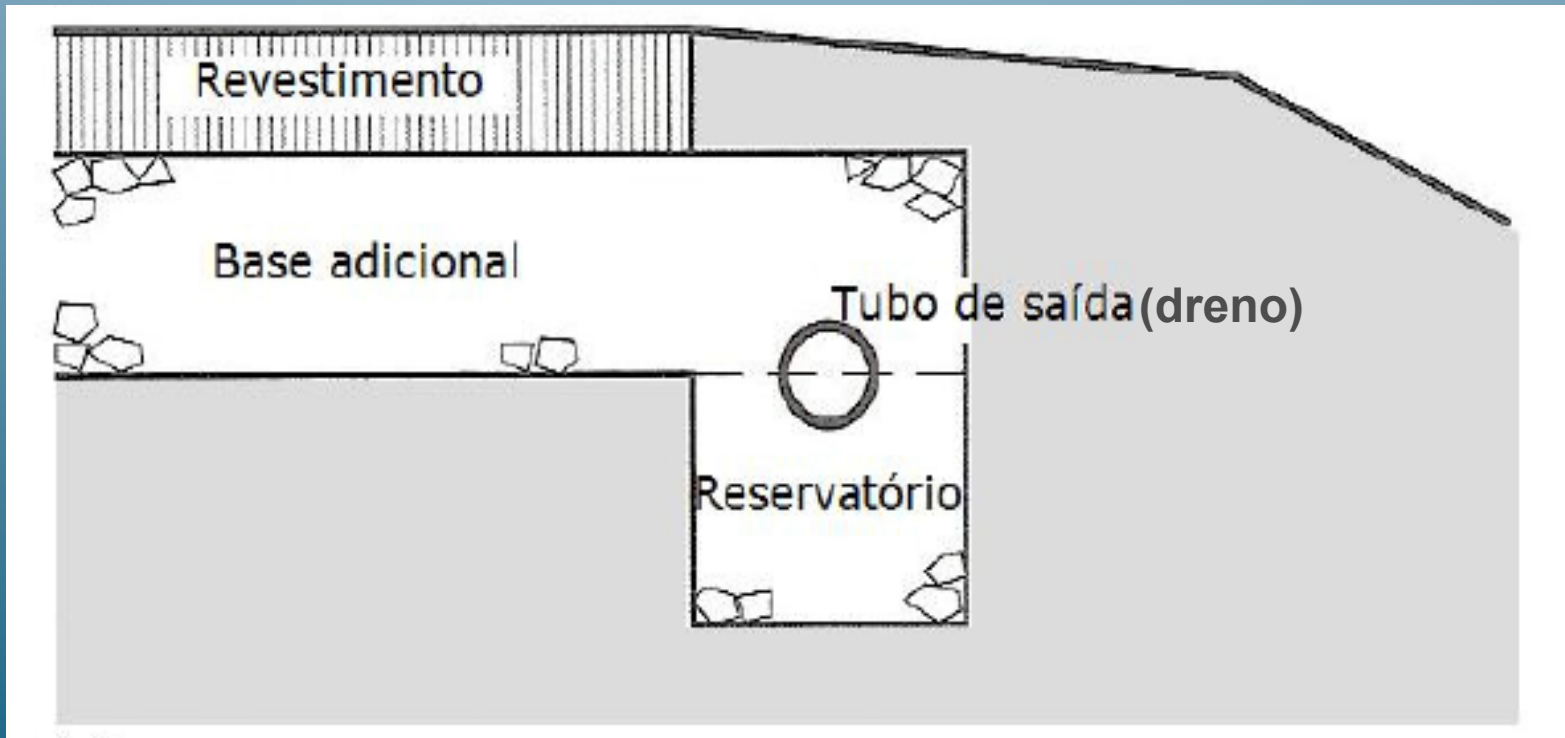


Fonte: Ecotelhado (2010)

PROCESSOS DE IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS POROSOS

-  Construção do substrato, que serve como suporte onde as plantas fixarão raízes, e, além disso, retém líquido que disponibilizará os nutrientes para absorção pelas plantas;
-  Construção de reservatório subterrâneo de água, para armazenamento temporário das águas pluviais e posterior infiltração no solo.
-  Após a construção desse conjunto, a água armazenada pode ser utilizada para irrigação e aguamento de praças e jardins. A água que infiltra para o subleito contribui para a recarga do aquífero.

Esquema de Reservatório de Armazenamento



Reservatório revestido com geomembrana



Fonte: Revista Engenharia (2001, apud VIRGILIIS, 2009)

Sistema de drenagem com Geocélulas



Fonte: Ecotelhado (2010)

Ecopavimento preenchido com brita



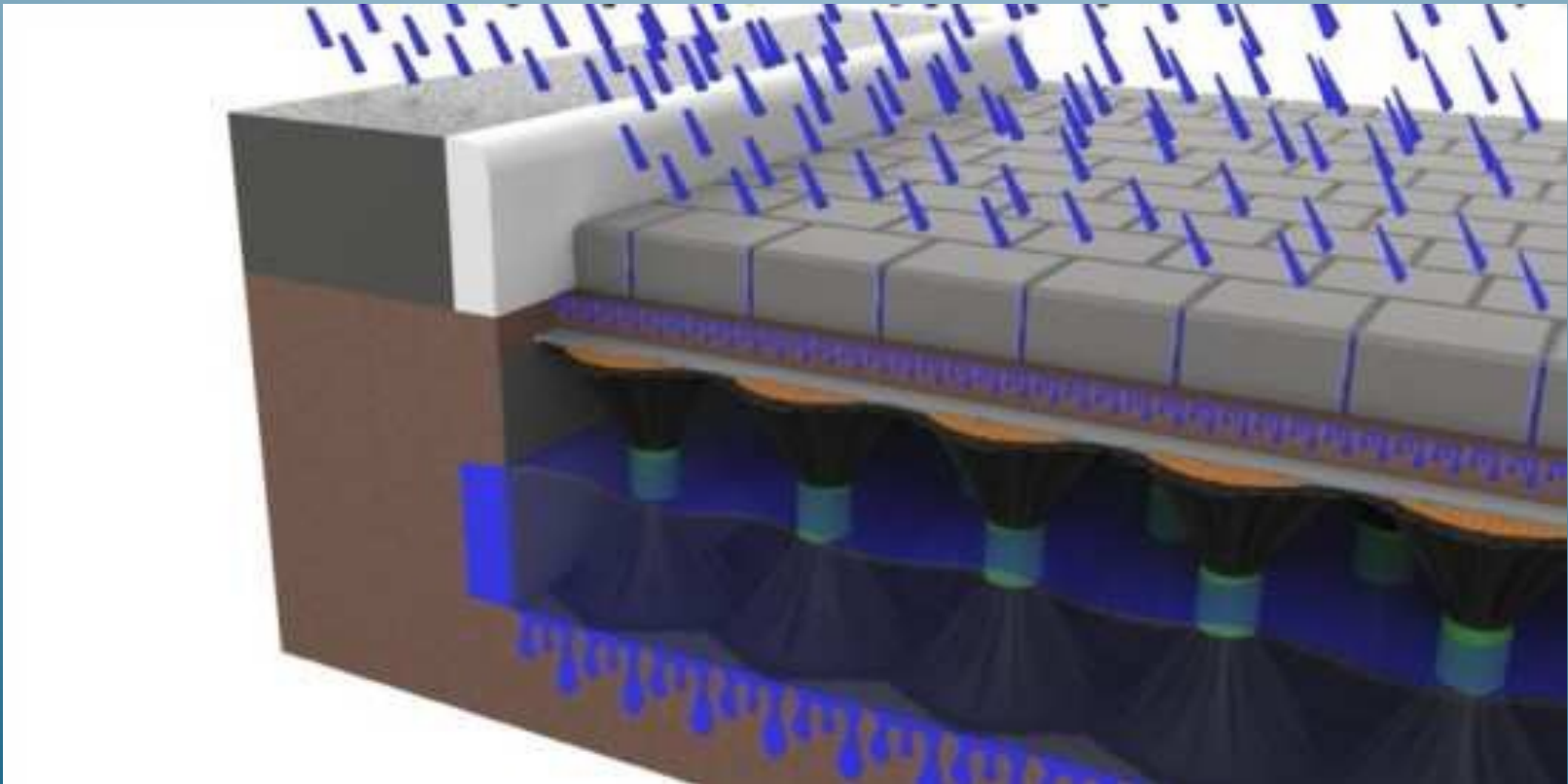
Fonte: Ecotelhado (2012)

Ecopavimento preenchido com grama






Fonte: Ecotelhado (2012)

Ecopavimento em funcionamento

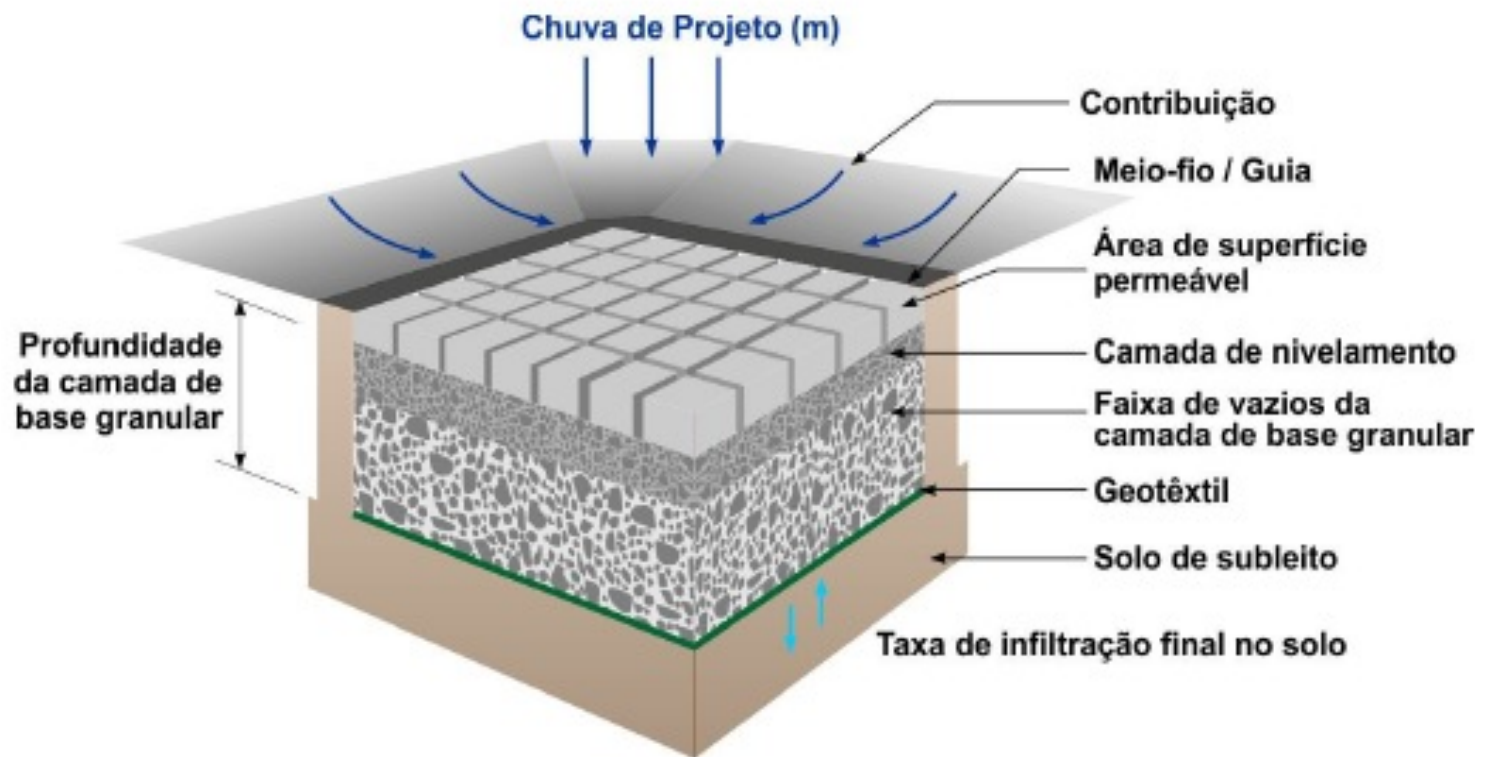


Fonte: Ecotelhado (2012)

TIPOS DE PROCESSOS NO FUNCIONAMENTO

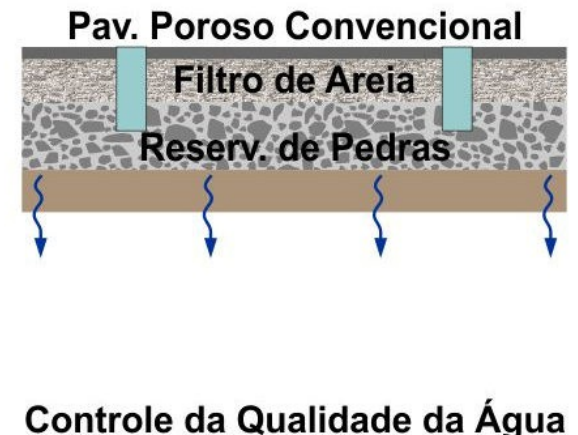
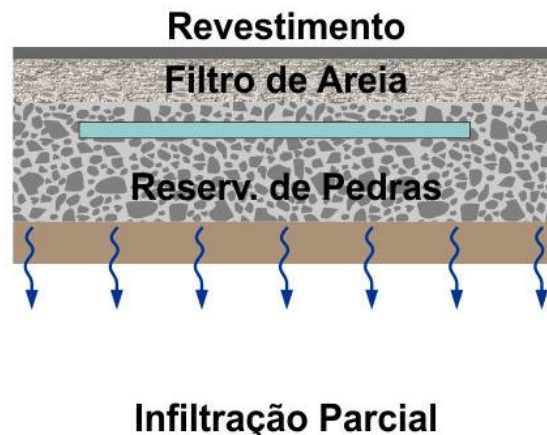
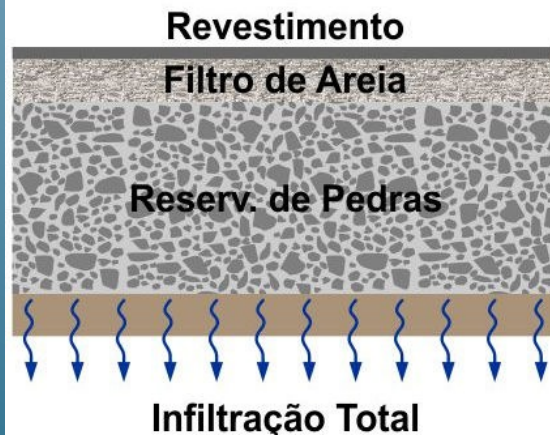
-  Reservatório com base granular: garantia de resistência e permeabilidade do sistema;
-  A capacidade de armazenamento do reservatório é definida pela porosidade dos materiais que compõem essa camada ;
-  Categorias de projeto para o dimensionamento do sistema: sistema de infiltração **total**, **parcial** e para **controle da qualidade** da água.

Camada granular em pavimentos permeáveis



Esquema dos sistemas de infiltração

Vista Lateral





Fonte: Schueler (1987, *apud* PINTO, 2011)

Macro processos para introdução/recuperação da permeabilidade do solo - exemplo: PARQUES LINEARES



Parque Linear Benemérito Brás, S. Paulo (fonte: Reda et al, 2012)

SOLO

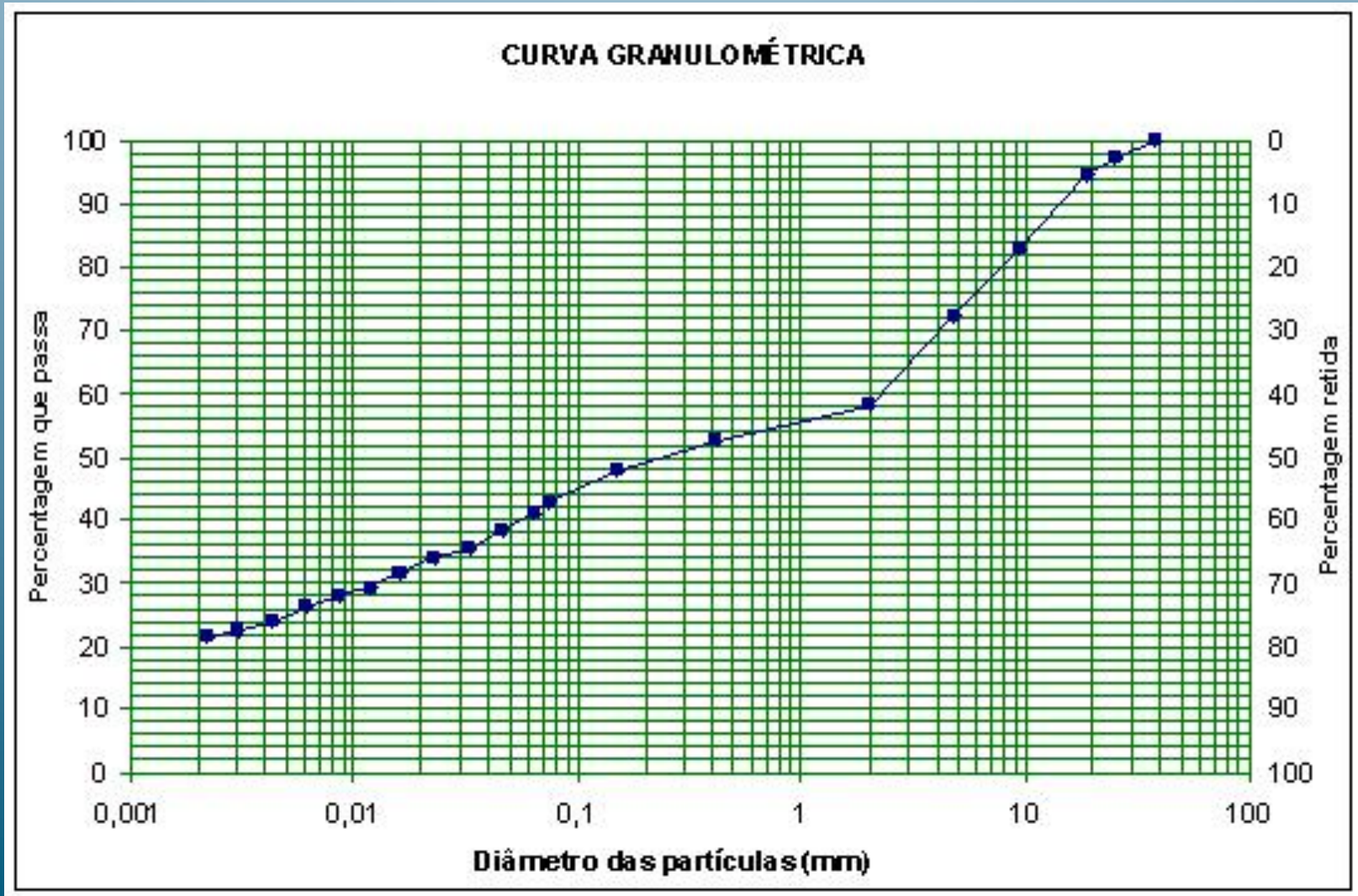
-  Solo é um corpo de material inconsolidado (“rocha alterada” de uma “rocha mãe”), que cobre a superfície terrestre emersa, intermediário entre a litosfera e a atmosfera;
-  O estudo da composição granulométrica de um solo é de extrema importância na aplicação de projetos de drenagem empregando pavimentos permeáveis sobre ele.

Nomenclatura e dimensões dos solos e rochas

Nomenclatura	Diâmetro mín. (mm)		Diâmetro máx. (mm)
pedra de mão →	60,0	$< \Phi <$	200,0
pedregulho →	2,0	$< \Phi <$	60,0
areia grossa →	0,42	$< \Phi <$	2,0
areia →	0,075	$< \Phi <$	2,0
areia fina →	0,075	$< \Phi <$	0,42
silte →	0,005	$< \Phi <$	0,075
argila →		$\Phi <$	0,005

Fonte: ABNT (1995)

Curva granulométrica



Forma das partículas granulares



Anguloso



Sub-anguloso



Sub-arredondado



Arredondado




Esferico

Forma das partículas granulares

Fonte: Almeida (2005)

INFILTRAÇÃO NOS SOLOS

 **Permeabilidade:** propriedade que o solo apresenta de deixar passar o escoamento da água através de si.

 **Lei de Darcy:** correlaciona o coeficiente de permeabilidade com o gradiente hidráulico em materiais porosos

$$V = k.i$$

onde:

V é a velocidade média (para fluxo laminar)

k é o coeficiente de permeabilidade do material






i é o gradiente hidráulico.

Valores típicos de coeficiente de permeabilidade





Argilas	$< 10^{-9}$ m/s
Siltes	10^{-6} a 10^{-9} m/s
Areias argilosas	10^{-7} m/s
Areias finas	10^{-5} m/s
Areias médias	10^{-4} m/s
Areias grossas	10^{-3} m/s

Fonte: Marchioni e Silva (2007)

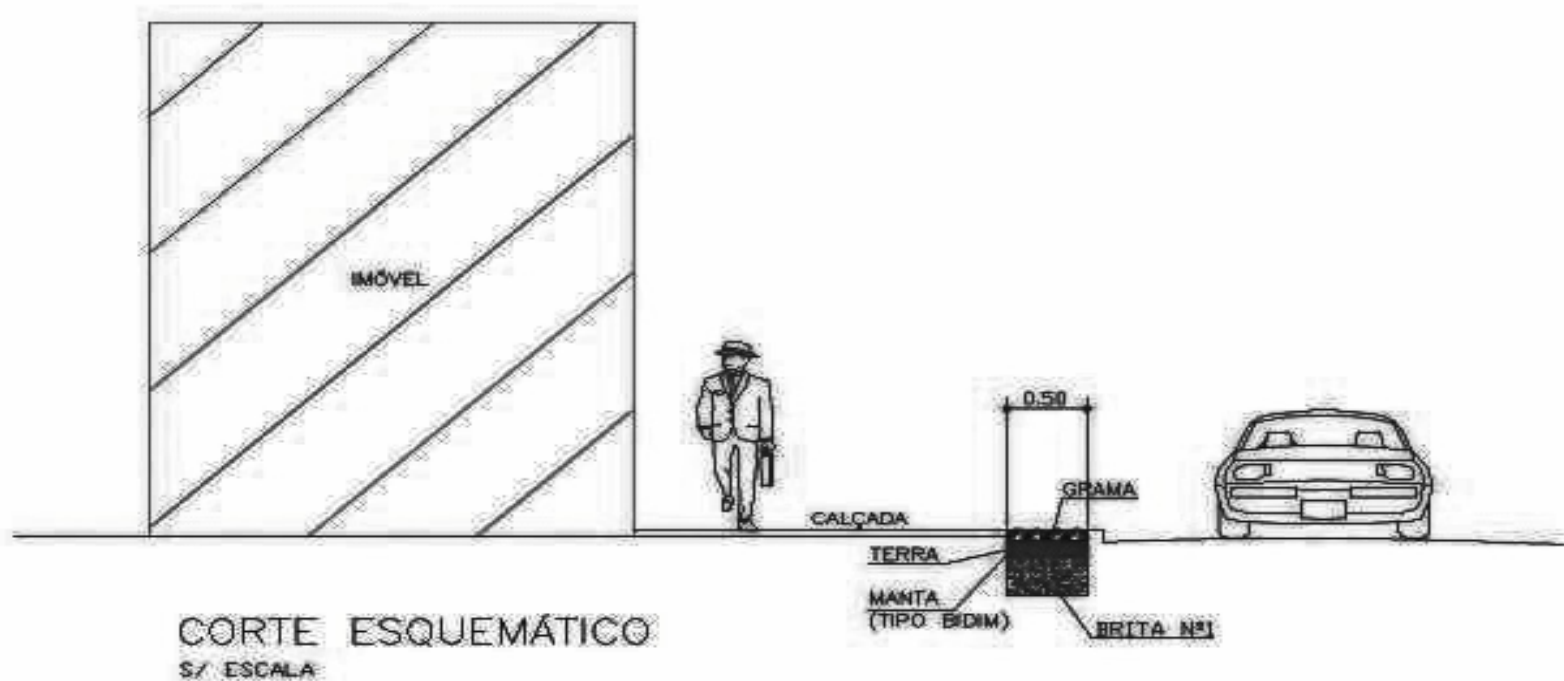
MANUTENÇÃO DOS REVESTIMENTOS PERMEÁVEIS

-  Manutenção necessária para a eficiência dos pavimentos. Falta de manutenção pode resultar em desvantagens.
-  Necessidade de inspeções regulares para ir verificando a eficiência de drenagem do pavimento.
-  Garantia de mão-de-obra qualificada;
-  Manutenção periódica com lavagem (a vácuo, se necessário remover impurezas num fluxo para cima);
-  Atenção com as possibilidades de obstrução prematura dos poros (colmatação) e de contaminação do lençol freático.




LEIS E NORMAS

-  Criação de leis e normas para a implantação desse tipo de sistemas de drenagem urbana;
-  Aperfeiçoamento dos sistemas pela experiência, com base em constante monitoramento de performance;
-  Desenvolvimento de métodos de dimensionamento de pavimentos permeáveis em constante evolução, por esse acúmulo de experiência;
-  Implantação de calçadas verdes, em termos similares -- porém, em áreas mais restritas, o que gera mais dependência de estruturas porosas subterrâneas construídas e de uma boa permeabilidade do solo local.


Estrutura da calçada verde



IMPACTOS AMBIENTAIS

-  **Alteração no regime hídrico** da descarga da água subterrânea;
-  **Subsidência:** recalque das camadas do solo por carreamento de material mais fino;
-  **Movimentação de** solutos, que podem ser contaminantes.

PROJETO DO PAVIMENTO POROSO: ESTUDO INICIAL DAS VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

 Importância do conhecimento das metodologias e formulações matemáticas que permitem caracterizar as bacias hidrográficas estudadas visando à estimativa de vazões de cheia.

 Estimativa da probabilidade de dado valor de determinada variável ser igualado ou ultrapassado.

 Período de retorno: $T = \frac{1}{P}$


Onde:

T é o período de retorno

P é a probabilidade de o valor especificado da variável ser igualado ou ultrapassado


CHUVAS INTENSAS

 Chuvas que resultam em grandes volumes em pequenos intervalos de tempo são denominadas **chuvas intensas**.

 A **equação das chuvas intensas** local da região do projeto deve ter sido previamente estudada, sendo empregada para estimar os dados pluviométricos de entrada em projetos de drenagem (intensidade pluviométrica de projeto):

$$i_{t,T} = A(t + B)^C + D(t + E)^F \cdot \left\{ G + H \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T - 1} \right) \right] \right\}$$


TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BACIA

 Tempo de concentração é o tempo necessário para que toda a bacia hidrográfica tenha tempo para contribuir com a vazão superficial no seu exutório como resultado de água sobre ela precipitada e não infiltrada (= precipitação efetiva) -- medido a partir do início da chuva efetiva, para determinada seção de saída superficial do curso de água principal (= exutório) da bacia objeto de análise.

Exemplo de fórmula prática para estimar o tempo de concentração em bacias urbanas pequenas:

$$t_c = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

MÉTODO RACIONAL

 O Método Racional é empregado para estimar vazão de pico de enchente em bacias pequenas que não apresentem complexidade.

$$Q = C \times i \times A_D$$



Q = Vazão de enchente de projeto

C = Coeficiente de escoamento superficial (adimensional) que representa a parcela do volume de chuva precipitado

i = Intensidade de precipitação

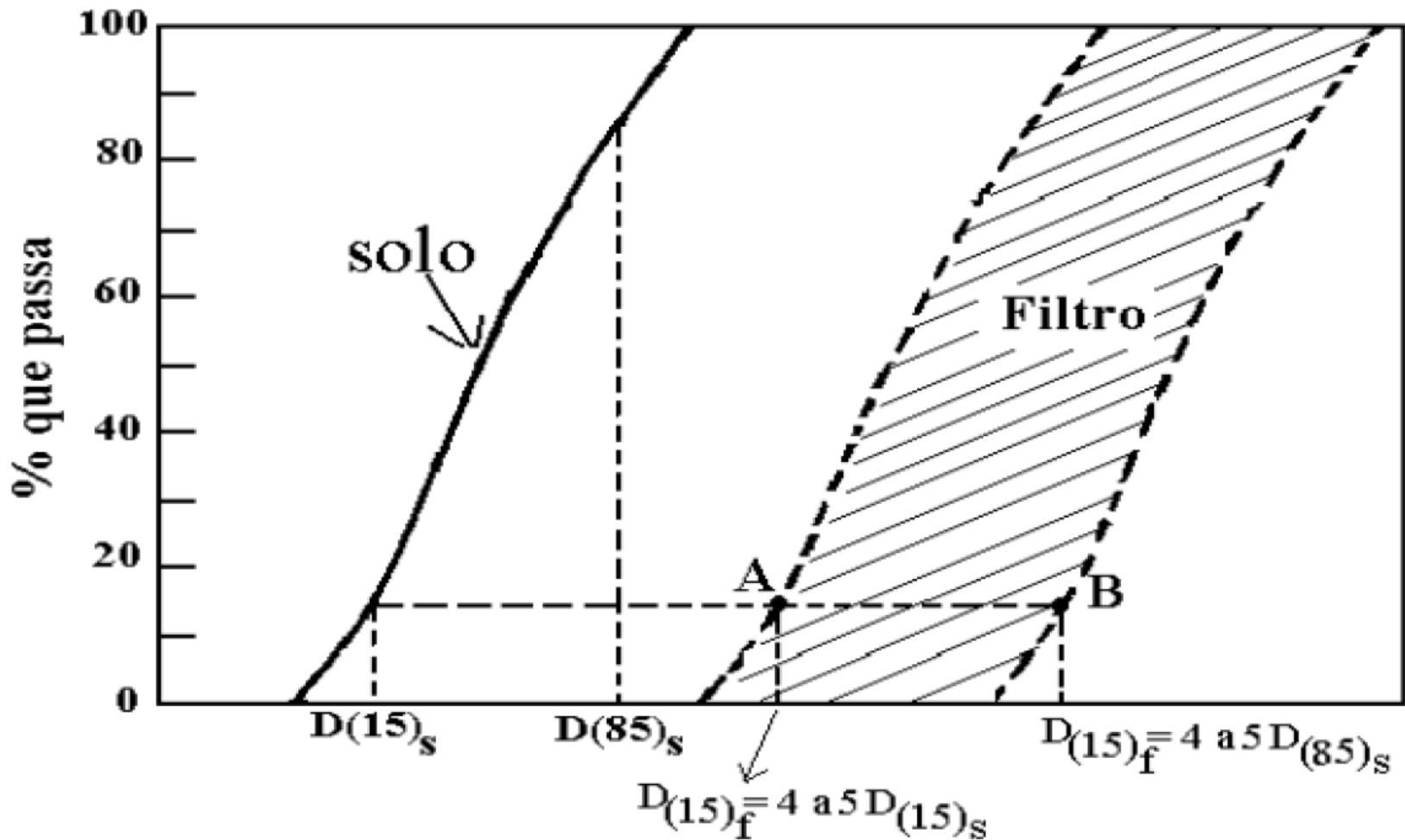
A_D = Área de drenagem

CRITÉRIOS DE FILTRO


-  As camadas de filtro são utilizadas para transportar a água pelos orifícios do solo até o canal de evacuação.
-  A percolação da água através do solo pode gerar alguns problemas, como por exemplo erosão

$$\frac{D_{15}\text{filtro}}{D_{85}\text{solo}} \leq 4 \text{ a } 5 \quad \text{e} \quad \frac{D_{15}\text{filtro}}{D_{15}\text{solo}} \geq 4 \text{ a } 5$$

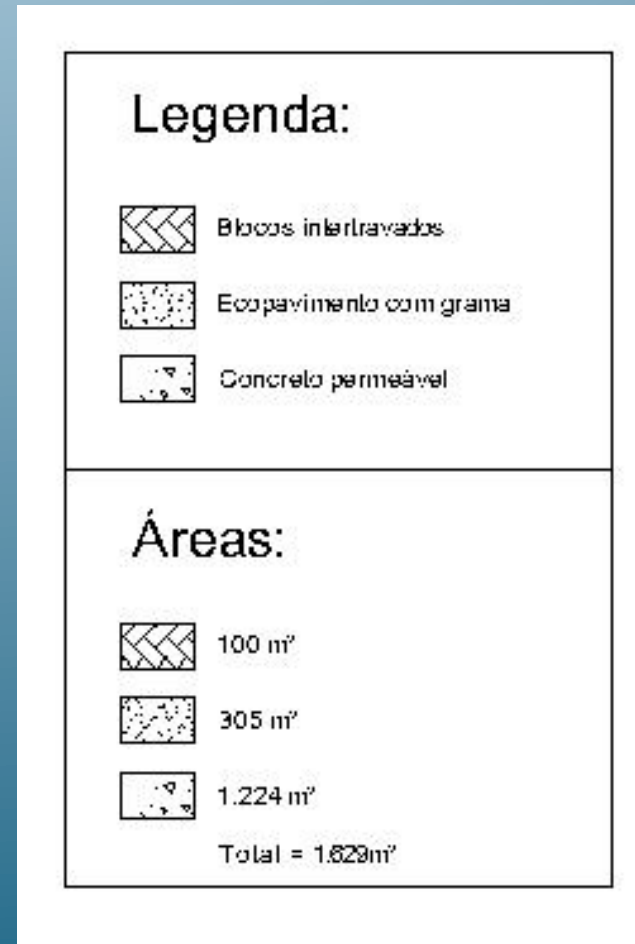
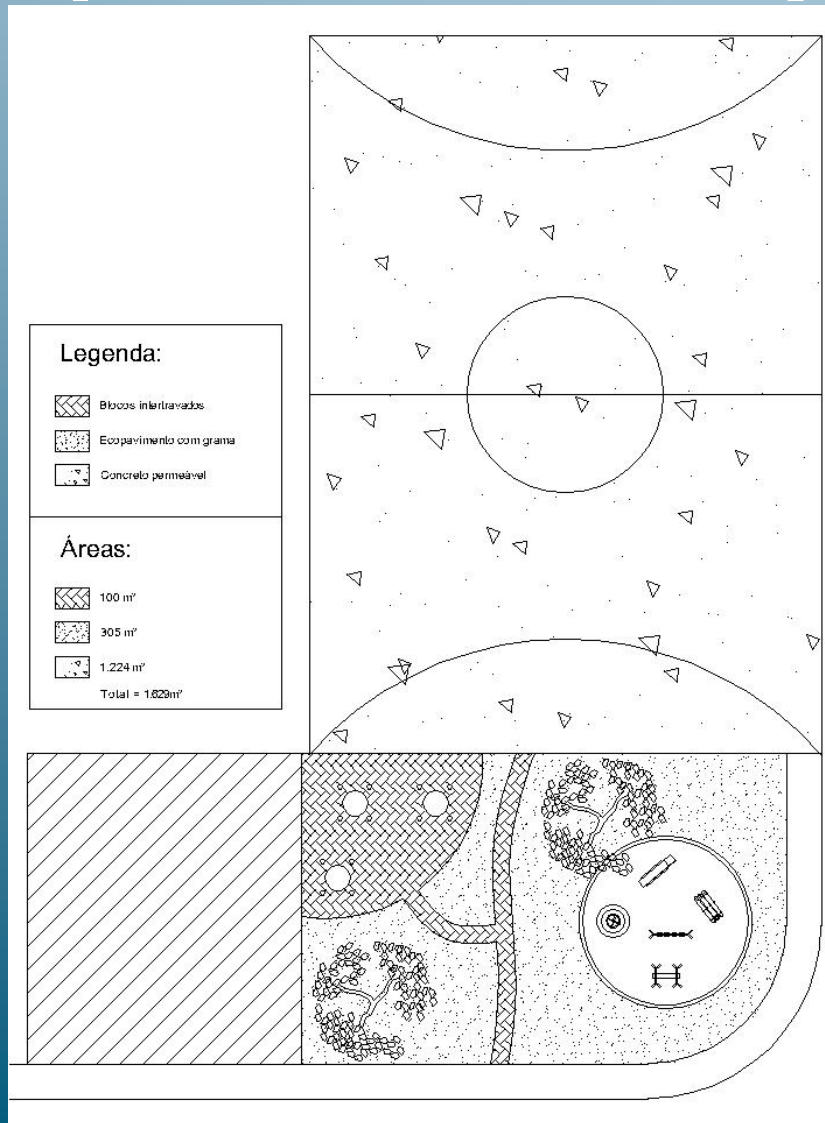
Escolha da faixa de variação granulométrica do filtro (critérios de Terzaghi)



DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO DRENANTE

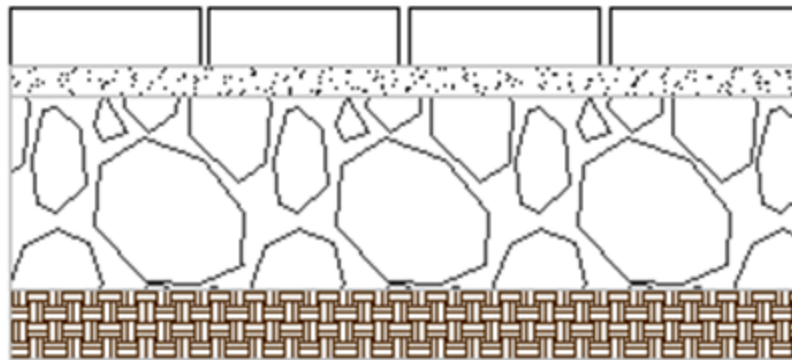
 Para o dimensionamento do pavimento drenante é utilizada uma planilha cujos conceitos provêm dos conhecimentos de Hidrologia e Mecânica dos Solos.

Croqui sem escala do local hipotético utilizado nos cálculos



CAMADAS DO PAVIMENTO

1. Blocos intertravados



Piso em blocos intertravados

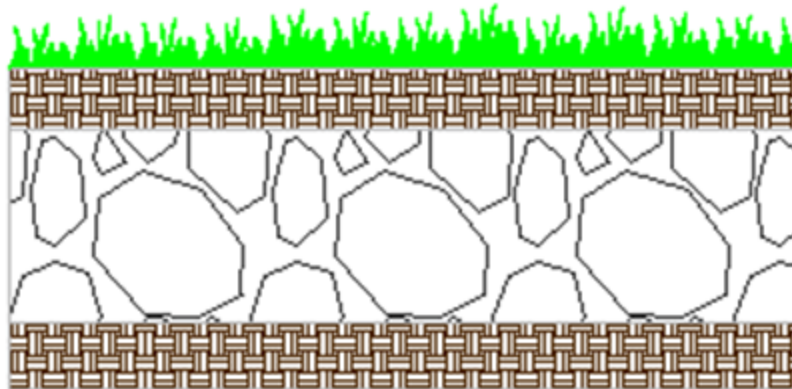
Camada de assentamento em areia

Camada de reservatório subterrâneo
em rachão. Alto índice de vazios

Solo

CAMADAS DO PAVIMENTO

2. Ecopavimento com grama



Revestimento em grama

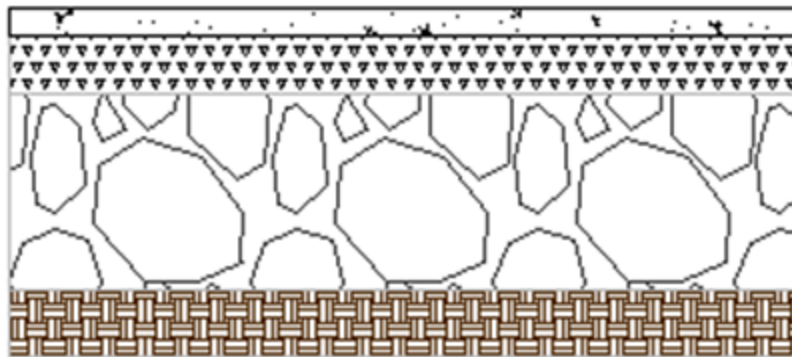
Camada de substrato

Camada de reservatório subterrâneo
em rachão. Alto índice de vazios

Solo

CAMADAS DO PAVIMENTO

3. Concreto permeável



Revestimento em concreto permeável

Camada de substrato

Camada de reservatório subterrâneo
em rachão. Alto índice de vazios

Solo

DEMONSTRAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA PLANILHA

Seleção dos Revestimentos e suas Respectivas Áreas

Área com revestimento do tipo 1	
Sub base	Bloco intertravado sobre areia grossa
Coefficiente de "Run Off"	0,9
Área (m ²)	100

Área com revestimento do tipo 2	
Cobertura do solo	Concreto permeável
Coefficiente de "Run Off"	0,8
Área (m ²)	1224

Área com revestimento do tipo 3	
Cobertura do solo	Pastagem
Coefficiente de "Run Off"	0,5
Área (m ²)	305

Dimensionamento da Altura do Reservatório.
Volume Infiltrado.

Volume infiltrado (m ³)	3,75
-------------------------------------	------

Volume total necessário de reservatório (m ³)	2610,15
---	---------

Área do reservatório (m²)	Altura (m)
1629,00	1,60

Cálculo do Volume Infiltrado sem a Adoção do Reservatório

Volume infiltrado (m³)
1,50

Dimensionamento das Camadas do Reservatório

Camada	D₅₀ (mm)	Espessura (cm)	Volume (m³)
1 limite superior	0,25	20	325,8
2 limite superior	14	20	325,8
3 limite superior	400	120	1954,8

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa da literatura identificou diversos **métodos para reter águas pluviais** na origem. Países mais desenvolvidos, com áreas urbanas confinadas, os têm aplicado de modo pioneiro e já costumeiro, incentivando o município a os empregar.

Eles possibilitam **aumentar o volume de infiltração** em cerca de até 60% (dependendo de características do solo local e das camadas porosas introduzidas).

No **Brasil**, ainda há que se progredir nesse sentido. Soluções tais como **bacias de amortecimento** de cheias (piscinões; piscininhas) têm sido as mais adotadas, mas métodos mais naturais, tais como **parques lineares**, vêm sendo gradualmente implantados.

Uma **planilha Excel®** para dimensionar revestimentos drenantes, como a aqui proposta, pode ser ferramenta útil **para projetar praças e áreas públicas abertas** (a dissertação que a originou descreve-a com mais detalhes).

Concluiu-se que tais revestimentos **podem reduzir o pico e o volume da enchente** superficial no exutório da praça.



THANK YOU ALL !

CONTACT:

André L. L. Reda, Carolina de Oliveira Barbosa, Ludnilla Hanna Ribeiro El Atra,
allreda@uol.com.br; carolinaobarbosa@gmail.com; ludmillahanna@hotmail.com;

*Correspondance to: Mackenzie Presbyterian University, Engineering School
Rua da Consolação, 930, Prédio 6, 01302-090 São Paulo, SP, Brazil*

