archiroof

NOPHADRAIN®
SMART GREEN ROOF SYSTEMS



Kruispleingarage, Roterdão, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.

BROCHURA TÉCNICA DE SISTEMA

Sistemas Nophadrain de coberturas transitáveis

Guia de projeto e instalação para peões (N1), veículos ligeiros (N2) e veículos pesados (N3).

Guia de projeto e instalação de coberturas transitáveis pedonais e de coberturas de estacionamento com pavimento modular: normas, classes de carga, tipos de cobertura, isolamento térmico, impermeabilização, pormenores, pendentes e drenagem.

Descrevem-se as camadas funcionais de uma cobertura transitável e as composições dos sistemas Nophadrain para as classes de carga N1, N2 e N3, em cobertura quente, sem isolamento térmico e invertida, com os ensaios que as suportam.

NESTE DOCUMENTO

0 Introdução

1 Considerações de projeto

2 Composição e camadas funcionais

3 Coberturas transitáveis com vegetação intensiva

4 Sistemas Nophadrain de coberturas transitáveis

Composição de uma cobertura transitável

A Anexo A – Ensaio índice

B Anexo B – Ensaio de desempenho

0 Introdução

Com a expansão da urbanização e o número crescente de automóveis nas ruas, a falta de lugares de estacionamento obriga a repensar a utilização do espaço, a tirar dele o máximo partido e a estudar a possibilidade de crescimento em altura. Escritórios, edifícios de habitação e centros comerciais modernos combinam pavimentos e zonas plantadas nas suas coberturas planas e parques de estacionamento subterrâneos, para aproveitar ao máximo o reduzido espaço livre disponível. Um planeamento cuidadoso e um bom projeto melhoram as condições de vida nas cidades, criando grandes áreas verdes abertas e espaços de recreio e lazer, enquanto as estruturas enterradas garantem o estacionamento subterrâneo necessário, sem que este ocupe o espaço urbano.

Um planeamento cuidadoso por parte de arquitetos e projetistas permite maximizar a utilização de espaços livres valiosos, revestindo as coberturas com vegetação extensiva e/ou intensiva combinada com pavimentos adequados que permitam o acesso de veículos e/ou peões. Qualquer projeto tem de responder a requisitos construtivos específicos, como a espessura de composição necessária para o pavimento modular, a espessura de substrato exigida pela vegetação, as cargas superficiais máximas admissíveis, a previsão de um sistema de impermeabilização adequado, entre outros.

Qualquer que seja o tipo de pavimento, este não é construído sobre um terreno de fundação preparado, como seria habitual, mas sobre uma laje estrutural. O projeto tem, por isso, de considerar:

- a diferença de comportamento e de reação que se pode esperar entre o terreno natural e uma laje de cobertura construída
- a adequação do sistema de impermeabilização às cargas estáticas e dinâmicas
- o tipo de cobertura: cobertura quente, cobertura invertida ou cobertura sem isolamento térmico
- a resistência à compressão do isolamento térmico, quando exista
- o tipo e a espessura dos materiais granulares, como a camada de base ou a camada de assentamento
- o tipo, a espessura e o comportamento do pavimento modular
- a utilização prevista e a intensidade de utilização da cobertura por pessoas e veículos, bem como as cargas daí resultantes.



Praça pedonal e ciclovia sobre o parque de estacionamento subterrâneo. Kruispleingarage, Roterdão, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.



Cobertura transitável com vegetação sobre a rampa do parque de estacionamento. Meerrijk, Eindhoven, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.

1 Considerações de projeto

1.1 Normas

Marcação CE – hEN 13252. Os geotêxteis e produtos relacionados com geotêxteis utilizados em sistemas de drenagem têm de ter marcação CE nos termos da norma europeia hEN 13252 “Geotêxteis e produtos relacionados – Características exigidas para utilização em sistemas de drenagem”. Entende-se por sistemas de drenagem os sistemas que recolhem e transportam precipita-

ção, água subterrânea e/ou outros líquidos ou gases através de um geotêxtil ou de um produto relacionado com geotêxteis.

Esta norma europeia abrange mais do que os geotêxteis propriamente ditos, como mantas e tecidos filtrantes. Abrange também produtos relacionados com geotêxteis, como os geocompósitos (canais e placas de drenagem) e os geoespaçadores (películas e placas alveolares, os chamados alvéolos em forma de caixa de ovos) (hEN ISO 10318 "Geossintéticos – Parte 1: Termos e definições").

Enquanto fabricante, a Nophadrain BV é responsável pela emissão de uma Declaração de Desempenho (DoP) relativa às características essenciais dos geotêxteis e canais de drenagem que coloca no mercado nos termos da norma europeia hEN 13252. Faz parte da Declaração de Desempenho um sistema de controlo interno da produção, avaliado anualmente por um organismo de certificação (organismo notificado). A Declaração de Desempenho, a publicar no sítio da Nophadrain na internet, habilita a Nophadrain BV a apor a marcação CE nos seus produtos. O produto satisfaz assim as disposições nacionais dos Estados-Membros europeus relativas às características essenciais dos produtos de construção. Todos os geotêxteis e produtos relacionados com geotêxteis colocados no mercado pela Nophadrain BV têm marcação CE.

Eurocódigo 0: hEN 1990 "Bases para o projeto de estruturas" e Eurocódigo 1: hEN 1991 "Ações em estruturas". As cargas sobre as coberturas são determinadas por:

- a carga fixa e permanente resultante do peso próprio da construção
- as cargas permanentes devidas ao peso da cobertura verde ou do pavimento
- as cargas adicionais sobre a cobertura, p. ex. devidas a trabalhos de manutenção ou ao tráfego de automóveis e de mercadorias.

Em varandas, galerias e terraços de cobertura nos quais, em função da situação e da acessibilidade, se tenha de admitir a permanência de pessoas para outros fins que não reparações e manutenção, a carga adicional pode ser calculada com base na hEN 1991-1-1. A hEN 1991-1-1 não define as cargas de veículos sobre edifícios ou partes de edifícios situados sob uma via pública ou que dela façam parte.

hEN 1991-2 "Ações de tráfego em pontes". Não existem normas hEN específicas para coberturas acessíveis a veículos. A hEN 1991-2 indica cargas por eixo e cargas por roda que o projetista pode usar nos seus cálculos. O tráfego no último piso dos parques de estacionamento (as coberturas) não difere, em geral, muito do das vias públicas. No entanto, o número de cargas por eixo e as velocidades são consideravelmente inferiores aos considerados na norma acima referida. A aplicação direta destas normas hEN conduz a um sobredimensionamento da construção, com consequências financeiras consideráveis.

A utilização e a carga máxima admissível de um terraço de cobertura ou do último piso de um parque de estacionamento devem ser acordadas previamente num caderno de encargos. É também necessária clareza quanto ao estatuto da área em que serão aplicados os sistemas Nophadrain de coberturas transitáveis. Os princípios adotados no projeto, no desenvolvimento e na construção têm de ser rigorosamente respeitados durante a utilização, o que pode incluir sinais de proibição, barreiras ou obstáculos físicos. Estas medidas devem garantir que, na prática, a carga máxima admissível do terraço de cobertura ou do último piso do parque de estacionamento não é excedida. Com base neste caderno de encargos funcional, o projetista elabora a verificação estrutural e fundamenta claramente os pressupostos do cálculo.

1.2 Classificação de cargas

Não existem normas publicadas que regulem a construção de pavimentos modulares sobre lajes de cobertura no Reino Unido ou na República da Irlanda. Com base em investigação realizada em estreita colaboração com a Universidade Técnica de Munique (Alemanha), podem distinguir-se as seguintes classes de carga, em função da utilização prevista da cobertura.

Quadro 1. Classificação de cargas

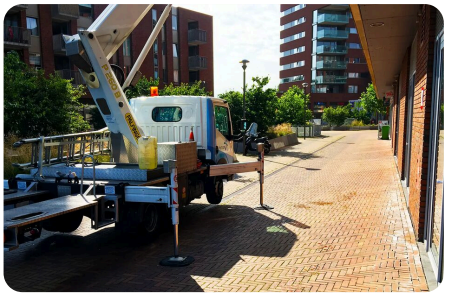
Classe de carga	Utilização	Tráfego	Carga por eixo até	Carga por roda até
1	Coberturas verdes intensivas, coberturas transitáveis pedonais, terraços	–	–	–
2	Cobertura de estacionamento	Veículos ligeiros	10 kN eixo dianteiro; 15 kN eixo traseiro	5 kN eixo dianteiro; 7,5 kN eixo traseiro
3	Cobertura de estacionamento	Veículos pesados	100 kN	50 kN



Classe de carga 1: cobertura transitável pedonal. Estação Groningen Europapark, Groninga, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.



Classe de carga 2: veículos ligeiros. De Bloem, Rijnsburg, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.



Classe de carga 3: veículos pesados. Meerrijk, Eindhoven, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.

1.3 Tipos de cobertura

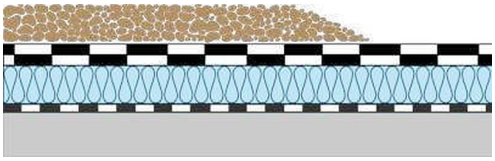
A laje estrutural tem de ser capaz de suportar e absorver as cargas estáticas e dinâmicas impostas durante a construção e a utilização. Distinguem-se os seguintes tipos de cobertura:

Cobertura fria. Cobertura com um teto independente que delimita uma caixa de ar entre a laje estrutural e o teto. O isolamento, quando exista, deve ser colocado sob a laje estrutural, com uma caixa de ar ventilada entre ambos. Em geral, este tipo de cobertura não é adequado a coberturas com tráfego de veículos, ou seja, às classes de carga 2 e 3.

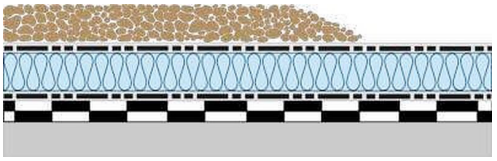
Cobertura quente. Cobertura sem caixa de ar ventilada sob a laje estrutural. O isolamento, quando exista, deve ser colocado sobre a laje estrutural. Em geral, este tipo de cobertura é adequado a coberturas com tráfego pedonal e de veículos, ou seja, às classes de carga 1 a 3.

Cobertura invertida. O isolamento é colocado sobre a membrana de impermeabilização. Se for escolhida uma cobertura invertida para receber pavimento, devem ser consideradas medidas de difusão do vapor de água. Quando se executa um pavimento, tem de ser colocada sobre o isolamento térmico uma camada drenante permeável ao vapor, para proteger o isolamento da acumulação de humidade (condensação interna) ao longo do tempo. Em geral, este tipo de cobertura é adequado a coberturas com tráfego pedonal e de veículos, ou seja, às classes de carga 1 a 3.

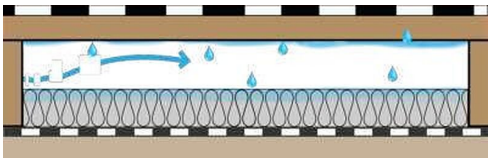
Cobertura sem isolamento térmico. A membrana de impermeabilização é aplicada sobre a laje estrutural sem qualquer isolamento térmico. Uma característica deste tipo de cobertura é o espaço sob a cobertura não ser aquecido. Em geral, este tipo de cobertura é adequado a coberturas com tráfego pedonal e de veículos, ou seja, às classes de carga 1 a 3.



Cobertura quente.



Cobertura invertida.



Cobertura fria.



Cobertura sem isolamento térmico.

1.4 Isolamento térmico

O isolamento térmico tem de ter marcação CE com base nas normas hEN 13162 a 13171 “Produtos de isolamento térmico para edifícios. Produtos manufaturados ... Especificação”.

Há dois métodos de aplicação do isolamento térmico numa cobertura:

- **CQ** – isolamento colocado sob a membrana de impermeabilização – cobertura quente (no original, WRC)
- **CI** – isolamento colocado sobre a membrana de impermeabilização – cobertura invertida (no original, IRC).

A cobertura fria foi omitida, por ser hoje raramente utilizada.

A membrana de impermeabilização e o isolamento térmico aplicado devem suportar cargas de curta e de longa duração. Se forem de esperar deformações do isolamento térmico, estas devem ser tidas em conta nos pormenores da membrana de impermeabilização (ralo de cobertura, bordo da cobertura, elementos emergentes, etc.). Na classe de carga 1, em coberturas com isolamento, o isolamento térmico deve cumprir, no mínimo, a classe de carga “dh”. Nas classes de carga 2 e 3, o isolamento térmico deve cumprir, respetivamente, a classe de carga “ds” e a classe de carga “dx”. A adequação do isolamento térmico deve ser demonstrada pelo fabricante.

> **Recomendação**
> Se for necessário executar um pavimento sobre uma cobertura isolada, recomenda-se uma cobertura invertida com isolamento em XPS ou uma cobertura quente com vidro celular. Numa cobertura invertida, a membrana de impermeabilização deve ser totalmente aderida à laje estrutural, para que qualquer infiltração na membrana possa ser localizada com facilidade. As placas de isolamento em XPS oferecem uma proteção adicional à membrana de impermeabilização durante a execução do pavimento.

É importante colocar uma camada drenante permeável ao vapor sobre o isolamento em XPS. Deste modo as placas podem secar e minimiza-se a absorção de água por condensação interna. Não é necessário aplicar uma barreira para-vapor separada, porque a própria impermeabilização desempenha essa função. A camada drenante não deve danificar a face superior das placas de isolamento. A aderência total da membrana de impermeabilização é também possível numa cobertura quente se for utilizado vidro celular como isolamento térmico. As placas de vidro celular são totalmente aderidas à laje estrutural e todas as juntas são preenchidas com betume. O sistema de impermeabilização fica assim totalmente aderido às placas de vidro celular.

Quadro 2. Classificação de cargas do isolamento térmico

Classe de carga	Descrição	Aplicação possível
dm	Carga média	Cobertura verde extensiva
dh	Carga elevada	Cobertura verde intensiva / cobertura transitável pedonal
ds	Carga muito elevada	Cobertura de estacionamento com tráfego limitado de veículos ligeiros
dx	Carga extrema	Cobertura de estacionamento com tráfego de veículos ligeiros e pesados

Adequação dos vários tipos de isolamento térmico:

Quadro 3. Classe de carga e resistência à compressão do isolamento térmico

Isolamento térmico	Cobertura	dm	dh	ds	dx
Poliestireno expandido (EPS)∗, hEN 13163	CQ	100 kPa∗	150 kPa∗	–	–
	CI	–	–	–	–
Poliestireno extrudido (XPS)∗, hEN 13164	CQ	200 kPa∗	300 kPa∗	500 kPa∗	–
	CI	300 kPa∗	300 kPa∗	500 kPa∗	700 kPa∗
Espuma rígida de poliuretano (PUR)∗, hEN 13165	CQ	100 kPa∗	100 kPa∗	150 kPa∗	–
	CI	–	–	–	–
Vidro celular (CG)∗, hEN 13167	CQ	400 kPa∗	400 kPa∗	900 kPa∗	1 200 kPa∗
	CI	–	–	–	–

Normas: hEN 13163 “Produtos de isolamento térmico para edifícios. Produtos manufaturados de poliestireno expandido. Especificação”; hEN 13164 “... de poliestireno extrudido. Especificação”; hEN 13165 “... de espuma rígida de poliuretano. Especificação”; hEN 13167 “... de vidro celular. Especificação”. ∗ Resistência à compressão com 10 % de deformação, de acordo com a hEN 826 “Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios. Determinação do comportamento à compressão”.

1.5 Sistemas de impermeabilização

Sistemas de impermeabilização contínuos. Em geral, as coberturas são protegidas contra a penetração de água por um sistema de impermeabilização (betuminoso, sintético ou de aplicação líquida). No projeto e na escolha de um sistema de impermeabilização devem ser respeitados a utilização prevista, as normas e regulamentos aplicáveis e as regras da boa prática. As lajes de cobertura devem ser executadas com pendentes adequadas. O sistema de impermeabilização deve ser concebido para a utilização prevista. Para preservar a integridade da membrana de impermeabilização e assegurar a correta execução do pavimento, é essencial que a membrana seja aplicada tão plana quanto possível.

Em coberturas transitáveis, as cargas horizontais causadas pela passagem de veículos podem comprimir excessivamente a membrana de impermeabilização. Estas solicitações devem ser evitadas, pelo que devem ser incorporadas na construção camadas de separação e de deslizamento.

A membrana de impermeabilização sob qualquer vegetação (intensiva ou extensiva) deve ser resistente às raízes ou ser protegida contra a penetração de raízes por uma barreira antirraiz separada. A resistência às raízes pode ser comprovada se o material tiver sido aprovado no ensaio de resistência às raízes da FLL.

As membranas podem ser aplicadas em uma ou duas camadas e fixadas à laje estrutural pelos seguintes métodos: soltas e lastradas; fixadas mecanicamente; totalmente aderidas. A composição de um sistema de impermeabilização totalmente aderido pode ser a seguinte:



Laje de cobertura impermeabilizada antes da colocação das camadas do pavimento. Ligne, Sittard, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.

Membranas de betume modificado (APP – SBS)

- pelo menos duas camadas
- primeira camada: membrana betuminosa com armadura de poliéster, totalmente aderida à laje estrutural (betume quente vertido)
- camada superior: membrana APP ou SBS resistente às raízes, totalmente aderida (soldada a maçarico)

Membranas sintéticas

- pelo menos duas camadas
- primeira camada: membrana betuminosa com armadura de poliéster, totalmente aderida à laje estrutural (betume quente vertido)
- camada superior: membrana de EPDM, ECB, POCB ou TPO, totalmente aderida à primeira camada

Impermeabilização líquida

- A impermeabilização de aplicação líquida é considerada um sistema monocamada.
- Deve aderir a toda a superfície e ser aplicada em, pelo menos, duas camadas distintas.
- Entre as camadas deve ser colocado um geotêxtil adequado como armadura.
- O fabricante deve dispor de uma aprovação técnica europeia de acordo com o ETAG 005 “Kits de impermeabilização de coberturas aplicados em forma líquida”.

Asfalto fundido

- A base em betão tem de ser primária antes da aplicação.
- Como subcamada, uma membrana APP – SBS resistente às raízes, soldada a maçarico.
- A camada de asfalto, com uma espessura mínima de 25 mm, deve ser aplicada sobre a subcamada.

Betão estanque

- Os requisitos do betão estanque estão definidos na hEN 206-1 “Betão. Especificação, desempenho, produção e conformidade” e na BS 8500 “Betão – Norma britânica complementar da hEN 206-1, Partes 1 e 2”.
- As fissuras, em qualquer direção, devem ser limitadas a ≤ 0,2 mm.

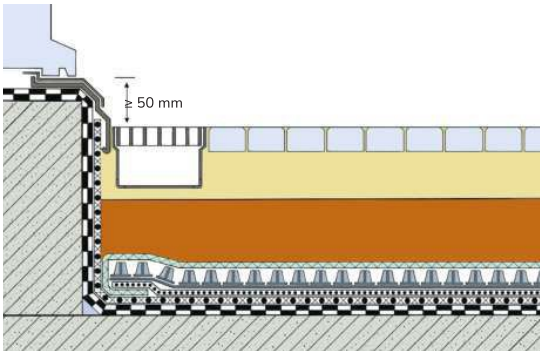
Recomendação

Recomenda-se que a membrana de impermeabilização seja totalmente aderida à laje estrutural. Em muitas obras, as infiltrações devem-se a pormenores mal resolvidos, a uma escolha inadequada de materiais ou a falhas e danos ocorridos durante a instalação. Quando um sistema de impermeabilização aplicado solto é danificado, o ponto de infiltração é difícil de localizar, porque a água pode circular livremente sobre a laje estrutural. Os sistemas de impermeabilização totalmente aderidos dão muito mais segurança quando aplicados sobre uma laje estrutural contínua. Isto significa que, em coberturas isoladas, a escolha se limita a uma cobertura quente com vidro celular ou a uma cobertura invertida com isolamento em XPS. Se se optar por uma cobertura quente em que a membrana de impermeabilização não seja totalmente aderida à laje estrutural, recomenda-se a criação de compartimentos separados na barreira para-vapor. Em caso de dano na membrana de impermeabilização, qualquer infiltração pode assim ser localizada com mais facilidade.

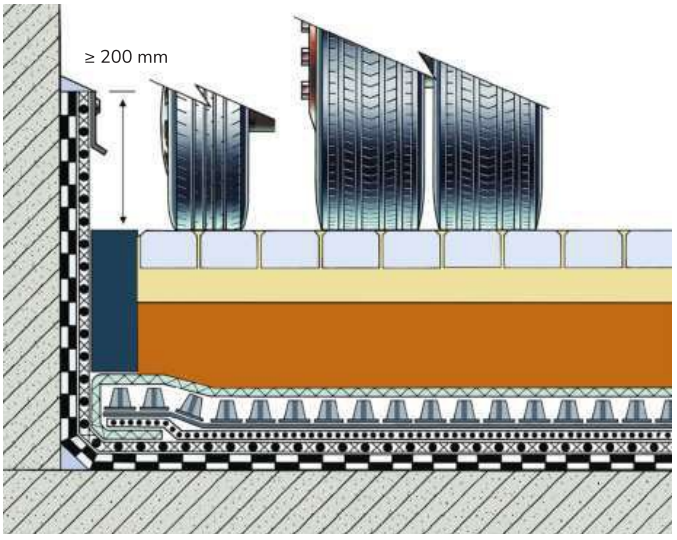
1.6 Pormenores

Em princípio, nas coberturas com pavimento aplicam-se os mesmos princípios de pormenorização da impermeabilização que nas coberturas planas. A membrana de impermeabilização deve subir, pelo menos, 200 mm acima do nível da superfície (pavimento). Nas soleiras de portas (pormenor 1) em que seja instalada uma caleira, a membrana de impermeabilização pode subir 50 mm acima da superfície do pavimento.

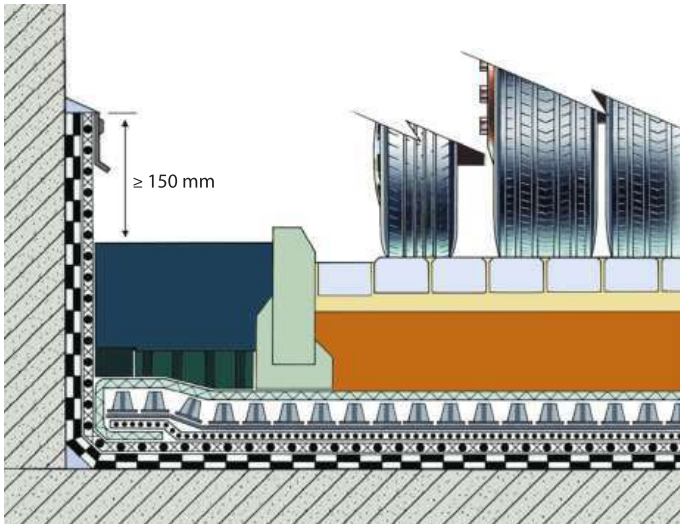
Se a membrana de impermeabilização se prolongar para lá do bordo da cobertura até ao terreno, recomenda-se que se estenda, no mínimo, 500 mm para além do bordo e, pelo menos, 200 mm sobre uma junta. Quando o pavimento encosta à fachada, coloca-se uma tira de borracha entre o pavimento e a membrana de impermeabilização, para proteger esta última contra danos mecânicos (pormenor 2).



Pormenor 1. Soleira de porta.



Remate da membrana de impermeabilização na fachada, ≥ 200 mm acima do pavimento.



Pormenor 2. Fachada (tira de borracha entre o pavimento e a membrana de impermeabilização).

1.7 Pendentes da laje estrutural

A laje estrutural de uma cobertura transitável deve ter pendentes adequadas, para evitar a acumulação de água sobre a membrana de impermeabilização, a camada de base e/ou a camada de assentamento. As pendentes devem conduzir a água superficial para fora da laje estrutural tão depressa quanto possível.

Para uma drenagem satisfatória, as coberturas transitáveis devem ter uma pendente não inferior a 1:80 (cerca de 1,3 %). No entanto, devido ao risco de assentamentos, de deformação da cobertura e de imprecisões de construção, deve especificar-se sempre uma pendente superior a 1:80. Projetar com pendentes de 1:40 é prático e económico. Em alguns edifícios, porém, este critério pode revelar-se excessivamente exigente. Em alternativa, o projetista pode adotar uma pendente de 1:80 e acrescentar mais 25 mm de pendente nas lajes de betão ou mais 15 mm nas coberturas metálicas.

Pendentes recomendadas da laje estrutural: classe de carga 1: ≥ 1:50; classes de carga 2 e 3: ≥ 1:40. As pendentes sob a membrana de impermeabilização podem ser obtidas na própria laje estrutural, com betonilha de forma ou com isolamento térmico em cunha.

> **Nota**
> Se a água ficar retida sobre a laje estrutural por falta de pendente suficiente, são necessárias medidas adicionais quanto à drenagem e a possíveis danos causados pelo gelo nas camadas do pavimento. Soluções possíveis: um geocompósito adequado a coberturas sem pendente, com especificação do comprimento de escoamento; um material de camada de base sem finos (sem partículas inferiores a 1 mm); um material de camada de assentamento sem finos, quando o pavimento é colocado diretamente sobre os sistemas de drenagem ND; um betão poroso sem finos. A solução mais adequada depende de cada obra. Produto ND: sistema de drenagem ND 800.

1.8 Drenagem da cobertura

Em coberturas com pavimento modular, a drenagem da água superficial e da água de infiltração é feita por ralos de cobertura. Os ralos estão ligados a um sistema de drenagem por gravidade, no interior ou no exterior do edifício, que conduz a água recolhida a uma rede enterrada convencional de águas pluviais ou para lá do bordo da cobertura. Toda a água superficial e de infiltração deve ser escoada à pressão atmosférica normal e sem qualquer retenção.

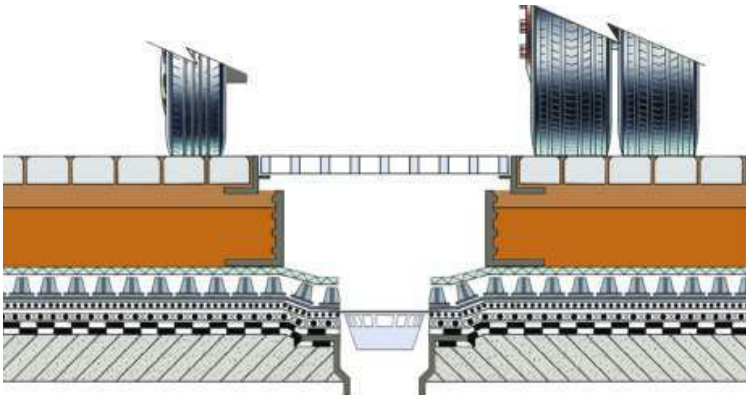
Identificam-se três níveis de escoamento: 1.º nível – membrana de impermeabilização; 2.º nível – pavimento modular; 3.º nível – isolamento térmico (cobertura invertida).

Os requisitos da grelha do sumidouro dependem da classe de carga (hEN 124 “Dispositivos de fecho e de coroamento para zonas de circulação de veículos e de peões”): classe de carga 1 = grelha de classe A; classe de carga 2 = grelha de classe B; classe de carga 3 = grelha de classe D.

Escoamento das águas pluviais por drenagem por gravidade no interior do edifício – ralos de cobertura. Os ralos de cobertura têm de ser colocados no ponto mais baixo da cobertura, dimensionados de acordo com a hEN 12056-3 “Sistemas de drenagem por gravidade no interior de edifícios” e estar sempre acessíveis para inspeção. Os ralos devem recolher e escoar tanto a água que escorre à superfície do pavimento como a água que penetra pelas juntas e entra na camada de assentamento.

Os ralos de cobertura situados numa zona pavimentada devem incorporar uma caixa de visita com grelha de sumidouro, à face do pavimento. A classe da caixa de visita e da grelha deve igualar ou exceder a classe de carga da cobertura. A caixa de visita deve também incorporar uma caixa de retenção de sedimentos. As cargas pontuais sobre a caixa de visita devem ser distribuídas pela camada de base ou pela camada drenante.

O corpo da caixa de visita deve permitir a recolha e o escoamento da água do 1.º nível (membrana de impermeabilização) e do 3.º nível (isolamento térmico da cobertura invertida). A grelha deve recolher a água do 2.º nível de escoamento (pavimento modular).



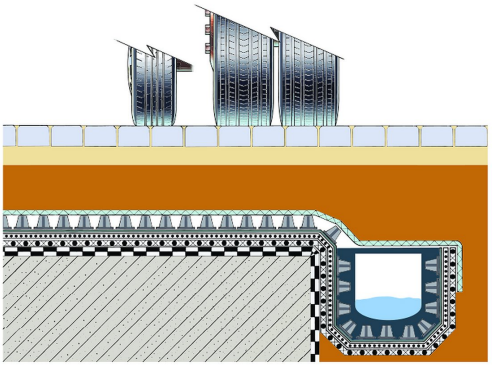
Pormenor 3. Caixa de visita com grelha de sumidouro.

Caleira linear. A camada de assentamento ou de apoio de uma caleira linear não deve obstruir nem bloquear o escoamento horizontal da camada drenante. As caleiras lineares podem ser usadas em alternativa às caixas de visita com grelha. As grelhas das caleiras devem permitir a recolha e o escoamento da água superficial sem necessidade de pressão adicional nem de retenção. A caleira e a grelha devem igualar ou exceder a classe de carga da cobertura (hEN 1433 “Caleiras de drenagem para zonas de circulação de veículos e de peões – Classificação, requisitos de conceção e de ensaio, marcação e avaliação da conformidade” e hEN 124). As caleiras lineares devem ser ligadas aos ralos de cobertura através de caixas de visita adequadas e, quando colocadas junto a fachadas ou soleiras de portas, podem descarregar através da camada drenante.

Água superficial de coberturas e fachadas adjacentes. Na determinação da capacidade de escoamento necessária de uma cobertura, é essencial considerar os eventuais caudais provenientes de coberturas e fachadas adjacentes. Se isso não for possível, deve ser prevista uma drenagem independente dessas coberturas. A água que escorre das fachadas adjacentes pode ser recolhida e escoada por faixas de seixo rolado e/ou caleiras lineares ligadas a ralos de cobertura adequados ou à camada drenante.

Escoamento das águas pluviais pelo bordo da cobertura. A água superficial pode também ser recolhida por um sistema de caleiras no bordo da cobertura ou descarregada sobre o bordo para o terreno adjacente. Ao longo do bordo tem de ser executado um dreno (vala de agregado limpo, drenante e inerte, envolvendo um tubo perfurado revestido com geotêxtil), para evitar a inundação e danos na camada de base da zona pavimentada.

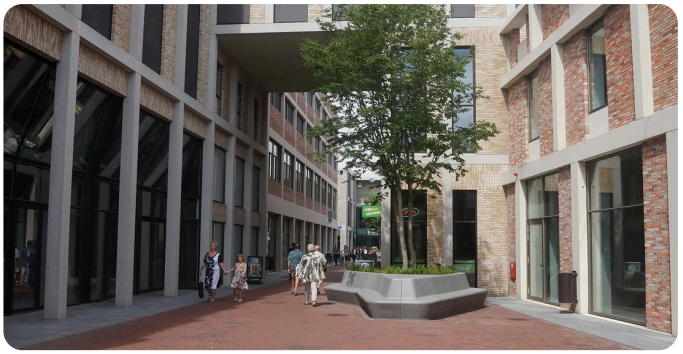
Onde existam paredes verticais, como numa estrutura enterrada, estas têm de ser protegidas por um sistema de drenagem adequado, que impeça a formação de pressão hidrostática contra a estrutura.



Pormenor 4. Escoamento das águas pluviais pelo bordo da cobertura.



Ralo de cobertura com corpo de inspeção, durante a construção. Ligne, Sittard, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.



Rua pedonal sobre o parque de estacionamento, em utilização. Ligne, Sittard, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.

2 Composição e camadas funcionais das coberturas transitáveis

2.1 Composição

A composição de um pavimento modular inclui as camadas seguintes, cada uma tratada nas secções seguintes: camada de separação, camada de deslizamento, camada de proteção, camada drenante, camada filtrante, camada de base, camada de regularização, camada de assentamento e pavimento.

A compatibilidade e a cooperação de cada uma das camadas são decisivas para uma vida útil razoável de um pavimento flexível. Cada camada tem de ser capaz de absorver e conter as cargas dinâmicas e estáticas previsíveis, ter resistência à compressão adequada e não apresentar flexões de curto prazo inaceitáveis. Normalmente, cada camada tem a sua função própria na composição total do sistema. No entanto, é possível que:

- um só produto reúna a função de várias camadas – p. ex. a camada de deslizamento pode cumprir também a função de camada de separação e de proteção
- algumas camadas utilizem mais do que um produto – p. ex. a camada de deslizamento necessita de duas superfícies não aderentes separadas para permitir o deslizamento.

2.2 Camada de separação

Os materiais de construção quimicamente incompatíveis (p. ex. policloreto de vinilo [PVC] e poliestireno [PS]) têm de ser isolados por uma camada de separação, que pode ser uma película plástica ou um geotêxtil. Os materiais incompatíveis têm de ficar completamente separados (cobertos). Os sistemas de drenagem ND podem ser fornecidos com uma película de separação e

deslizamento aplicada em fábrica ou com um geotêxtil permeável ao vapor no verso.

Produtos ND: sistemas de drenagem ND; película de separação e deslizamento ND TGF-20; folha de deslizamento e proteção ND TSF-100.

2.3 Camada de deslizamento

Durante a construção e a utilização, os pavimentos flexíveis transmitem cargas verticais e horizontais. As cargas horizontais resultam das variações de temperatura na estrutura e de ações dinâmicas exteriores, como a travagem, a aceleração e a mudança de direção dos veículos. Estas cargas verticais e horizontais têm de ser suportadas pelas camadas subjacentes. Deve, no entanto, notar-se que os materiais e sistemas de impermeabilização não conseguem suportar as cargas horizontais típicas de um pavimento flexível, pelo que é necessário cuidado na especificação.

Quando houver dúvidas quanto à capacidade da membrana de impermeabilização para suportar cargas horizontais, é necessária uma camada de deslizamento, composta por duas superfícies lisas e não aderentes que se possam mover uma em relação à outra. Em geral, utilizam-se como camada de deslizamento películas plásticas dos seguintes materiais: PET (polietileno tereftalato), PP (polipropileno), PE (polietileno) e PS (poliestireno).

No sistema Nophadrain para coberturas transitáveis pedonais (Podium Deck System), a função de deslizamento é assegurada pela película de separação e deslizamento ND TGF-20, colocada sob os sistemas de drenagem ND equipados com uma película de separação e deslizamento. Neste sistema, a camada essencial de separação e proteção é formada pelo sistema de drenagem ND, que constitui também a segunda superfície lisa da camada de deslizamento.

No sistema Nophadrain para coberturas de estacionamento – veículos ligeiros / veículos pesados (Parking Deck System, classes de carga 2 e 3), a folha de deslizamento e proteção ND TSF-100 forma uma das superfícies, enquanto a película de proteção e deslizamento dos sistemas de drenagem ND forma a sua contraparte. A folha ND TSF-100 cumpre também a função de camada de proteção neste sistema.

Numa cobertura invertida, a camada de deslizamento é constituída por duas camadas de película ND TGF-20, colocadas sob o isolamento térmico.

Produtos ND: sistemas de drenagem ND; película de separação e deslizamento ND TGF-20; folha de deslizamento e proteção ND TSF-100.



Folha de deslizamento e proteção e sistema de drenagem em obra. Fenemaplein, Zandvoort, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.

2.4 Camada de proteção

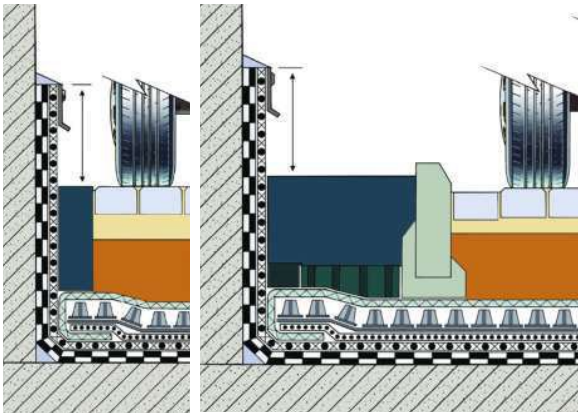
A camada de proteção protege a membrana de impermeabilização contra danos causados por cargas estáticas e dinâmicas e isola, simultaneamente, materiais quimicamente incompatíveis. Quando tem uma superfície lisa e não aderente, pode fazer parte da camada de deslizamento. Com cargas mais elevadas (classes de carga 2 e 3), e quando é executada uma camada de base (classe de carga 1), são necessários geotêxteis pesados, películas plásticas, camadas de betão ou semelhantes para proteger a membrana de impermeabilização contra danos causados por cargas estáticas e dinâmicas durante a instalação e a utilização.

Para cargas estáticas e dinâmicas ligeiras (classe de carga 1), os sistemas de drenagem ND podem funcionar como camada de proteção, desde que colocados imediatamente após a aplicação da impermeabilização, da barreira antirraiz ou da película de separação e deslizamento. Em coberturas da classe de carga 1 (coberturas transitáveis pedonais) e das classes de carga 2 e 3 (coberturas transitáveis por veículos) em que seja executada uma camada de regularização ou uma camada de base, ou quando se utilizem pás carregadoras durante a instalação, recomenda-se a colocação de uma folha de deslizamento e proteção ND TSF-100 sobre o sistema de impermeabilização. A folha ND TSF-100 deve ser colocada de modo que nenhum material granular possa entrar por baixo dela e danificar a membrana de impermeabilização.

A camada de proteção pode também cumprir a função de camada de separação e de deslizamento. As camadas de separação e proteção aplicadas soltas têm de sobrepor-se, pelo menos, 100 mm, e a camada não pode sofrer fluência superior a 5 %, com um máximo de 2 mm.

O nível de proteção conferido pela camada de proteção em coberturas transitáveis (classes de carga 1 a 3) pode ser avaliado por ensaios índice dos produtos individuais (ver anexo A) ou por um ensaio de desempenho da composição completa (ver anexo B). Ensaio índice da folha de deslizamento e proteção ND TSF-100 (classes de carga 1 a 3): ver anexo A, quadro 11.

A folha ND TSF-100 pode ser utilizada sobre uma camada de isolamento ou uma membrana de impermeabilização com um alongamento admissível a longo prazo, em %, superior. O alongamento a longo prazo do isolamento ou da impermeabilização tem de ser demonstrado pelo fabricante.



Pormenor 5. Fachada.

Ensaios de desempenho do sistema Nophadrain para coberturas de estacionamento – veículos ligeiros / veículos pesados (classes de carga 2 e 3): ver também o anexo B. Os resultados dos ensaios de desempenho das várias composições possíveis para as classes de carga 2 e 3 estão disponíveis a pedido. Produtos ND: sistemas de drenagem ND; folha de deslizamento e proteção ND TSF-100.

2.5 Camada drenante

A camada drenante alivia a pressão hidrostática sobre a membrana de impermeabilização. Escoa o excesso de água sob a camada de base ou a camada de assentamento e impede a acumulação de água nessas camadas e o risco de levantamento do pavimento pelo gelo. A camada drenante tem de ter boa permeabilidade vertical e capacidade de transportar horizontalmente a água para fora da cobertura, até aos ralos ou ao bordo da cobertura. A retenção de água na camada de base e/ou na camada de assentamento tem de ser sempre evitada.

A camada drenante tem de manter a sua plena funcionalidade durante 50 anos, de acordo com a DIN 4095 “Drenagem para proteção de estruturas enterradas – projeto, dimensionamento e execução”. A capacidade de drenagem deve ser especificada em litros por segundo e por metro linear, l/(s·m), tendo em conta a pendente da cobertura e a pressão de carga prevista (ver a brochura Nophadrain “Dimensionamento da camada drenante”).

Todos os sistemas de drenagem, incluindo placas plásticas alveolares em forma de caixa de ovos (geoespaçadores), que façam parte de um sistema de drenagem têm de ter marcação CE de acordo com a hEN 13252. A capacidade de drenagem necessária dos sistemas de drenagem ND (comprimento máximo de escoamento) aumenta com a quantidade de água pluvial escoada à superfície do pavimento.

2.6 Camada filtrante

A camada filtrante protege a camada drenante contra a colmatação por partículas finas arrastadas da camada de base ou da camada de assentamento e assegura, assim, uma drenagem horizontal eficaz. A dimensão dos poros dos geotêxteis tecidos e não tecidos deve ser ajustada à granulometria e à curva granulométrica dos materiais granulares da camada de base e da camada de assentamento. Quando se utiliza terra vegetal, devem ser tomadas medidas especiais para evitar que os finos colmatem a camada filtrante, p. ex. a colocação de placas de reserva de água ND WSM-50.

Os geotêxteis filtrantes tecidos e não tecidos têm de ter marcação CE de acordo com a hEN 13252 quando colocados sobre um geoespaçador. A camada filtrante, seja geotêxtil não tecido ou tecido, faz parte dos sistemas de drenagem ND. O geotêxtil é colado a cada alvéolo da placa plástica e sobrepõe-se ao núcleo em 100 mm.

> **Nota**
> Os geotêxteis filtrantes, tecidos ou não tecidos, têm de se sobrepor, pelo menos, 100 mm e, nos bordos, devem subir até à superfície do pavimento, para evitar o arrastamento dos materiais granulares. A camada filtrante deve ser coberta no prazo de uma semana após a colocação e protegida da ação do vento.

Quadro 4. Camada filtrante

Classe de carga∗	Camada de base	Resistência ao punçoamento hEN ISO 12236, em kN
1	sem	1,0
1	com	1,5
2 e 3	com / sem	2,5

∗ Ver quadro 1, classificação de cargas.

2.7 Sistemas de drenagem ND

Os sistemas de drenagem ND reúnem num só elemento a camada filtrante, a camada drenante e a camada de separação e proteção. O núcleo dos sistemas de drenagem ND é uma placa plástica alveolar com 13 mm a 27 mm de espessura, com um geotêxtil filtrante (tecido ou não tecido) colado a cada alvéolo. Consoante a aplicação, o núcleo pode ser perfurado e dispor no verso de uma película de deslizamento de repartição de cargas ou de um geotêxtil permeável ao vapor.

Sistemas de drenagem ND em coberturas invertidas. Alguns sistemas de drenagem ND têm um núcleo perfurado. Estes sistemas evitam a formação de uma barreira para-vapor sobre o isolamento térmico em XPS. A face superior das placas de XPS pode secar, pelo que a condensação interna é minimizada. O valor de isolamento (valor R) não é afetado ao longo do tempo.

Quadro 5. Aplicações dos sistemas de drenagem ND, por tipo de cobertura

Sistema de drenagem ND	Classe de carga∗	Com isolamento	Sem isolamento	Betão estanque	Cobertura invertida
ND 800	1	■	■	■	–
ND 200	1	■	■	■	–
ND 200s	1	–	–	–	■
ND 200sv	1	–	■	■	■
ND 200hsv	1	–	–	–	■
ND 220	1	■	–	–	–
ND 600	1/2∗∗	■	■	■∗∗	–
ND 600s	1/2	–	–	–	■
ND 600sv	1/2	–	–	–	■
ND 620	1/2	■	■	■	–
ND 600hdsv	2/3	–	–	–	■
ND 620hd	2/3	■	■	■	–

∗ Ver quadro 1, classificação de cargas. ∗∗ Sobre cobertura de betão estanque, apenas classe de carga 2. Sufixos: ..20 = com película de deslizamento de repartição de cargas; s = núcleo perfurado (permeável ao vapor); v = geotêxtil permeável ao vapor; hd = elevada resistência à compressão (1 200 kN/m², 9 % de deformação a 1 MPa).



Colocação do sistema de drenagem sobre a laje. Centrumplan, Kerkrade, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.



Sistema de drenagem ND com geotêxtil filtrante colado aos alvéolos. Ligne, Sittard, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.



Material da camada de base descarregado sobre o sistema de drenagem ND 600hdsv. Imagem: Nophadrain.

Dimensionamento da camada drenante. Nas coberturas com pavimento, a água pluvial e superficial é em parte escoada à superfície do pavimento (q_o) – o 2.º nível de escoamento. A camada drenante, ou 1.º nível de escoamento, tem de intercetar a água pluvial que penetrou no pavimento ($q_{a,s}$):

> **$q_{a,s} = r - q_o$**, em que $q_{a,s}$ = água pluvial que penetra no pavimento, em l/(s·m²) (quadro 6); r = intensidade de precipitação, em l/(s·m²), de acordo com a hEN 12056-3; q_o = água pluvial escoada à superfície do pavimento, em l/(s·m²).

Com base numa intensidade de precipitação de 15 minutos, com período de retorno de 10 anos, r(15)(0,1) = 0,03 l/(s·m²), podem utilizar-se os seguintes valores para determinar a quantidade de água pluvial que penetra no pavimento ($q_{a,s}$):

Quadro 6. Água pluvial que penetra no pavimento, $q_{a,s}$

Pavimento	$q_{a,s}$ em l/(s·m²)
Blocos de betão	0,01
Saibro estabilizado (autoligante)	0,015
Pavimento relvado sobre camada de base permeável	0,03

A quantidade de água a recolher e escoar pela camada drenante (q') pode ser calculada, em l/(s·m), pela seguinte equação:

> **$q' = q_{a,s} \times A / L_r$**, em l/(s·m), em que q' = quantidade de água a escoar pela camada drenante, em l/(s·m); $q_{a,s}$ = água pluvial que penetra no pavimento, em l/(s·m²) (quadro 6); A = área efetiva da cobertura, em m² ($L_r \times B_r$).

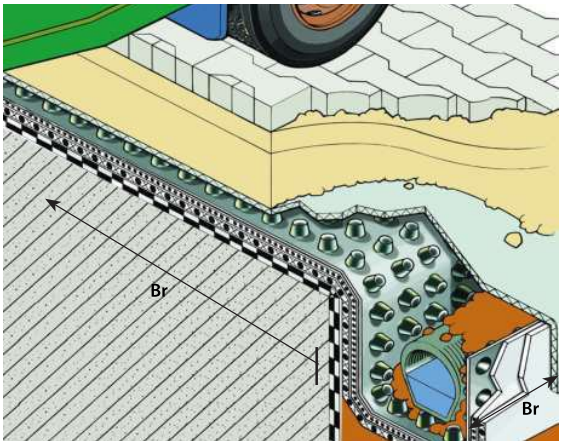


Figura 1. Área efetiva da cobertura, em m². L_r = comprimento da cobertura a drenar, em m; B_r = largura em planta da cobertura, da caleira à cumeeira, em m.

2.8 Camada de base

A função da camada de base é absorver e distribuir as cargas estáticas e dinâmicas, evitando a deformação do pavimento modular. Para que a camada de base funcione corretamente, deve ser instalado como camada drenante um sistema de drenagem estável. Com um dimensionamento adequado da camada de base, reduz-se a carga sobre as camadas subjacentes. A espessura da camada de base deve ser dimensionada para as cargas estáticas e dinâmicas previstas e para a resistência das camadas subjacentes.

Pode executar-se uma camada de base para distribuir as cargas estáticas e dinâmicas (classes de carga 2 e 3) e/ou para criar pendentes (classes de carga 1 a 3). Consoante a classe de carga prevista, a camada de base tem de ser compactada até atingir os seguintes módulos de deformação:

Quadro 7. Módulos de deformação

Classe de carga∗	Módulo de deformação estático E_{V2}, em MN/m²
1	≥ 80
2	≥ 120
3	≥ 150

∗ Ver quadro 1, classificação de cargas.

Para verificar se a compactação está completa e correta, devem ser realizados ensaios de carga em placa, estáticos ou dinâmicos. O tipo de placa vibratória mais adequado deve ser acordado com o projetista.

Camada de base em cobertura quente ou em cobertura sem isolamento térmico. O material da camada de base deve ser material natural britado com granulometria 0/22 mm, 0/32 mm ou 0/45 mm. Para evitar danos nos ralos de cobertura, só uma quantidade limitada de hidróxido de cálcio pode ser lixiviada do material da camada de base. Este requisito pode ser aliviado quando a recolha e o escoamento das águas pluviais não se fazem por ralos, mas pelo bordo da cobertura.

Quadro 8. Camada de base em cobertura quente

Classe de carga∗	Material	Granulometria, em mm	Espessura, em mm
1	Material natural britado	0/22	≥ 100
2	Material natural britado	0/32	150–300
3	Material natural britado	0/32 ou 0/45	150–300 / 200–400

∗ Ver quadro 1, classificação de cargas.

Camada de base em cobertura invertida. No projeto de uma cobertura invertida, as medidas de difusão do vapor de água devem ser sempre respeitadas. Não é permitida a aplicação de uma barreira para-vapor sobre o isolamento térmico. Como a compactação de um material de camada de base sem finos e sem ligante hidráulico (isto é, sem partículas inferiores a 1 mm) é difícil, a espessura da camada de base deve ser aumentada em conformidade. Para cada obra, tem de ser verificado se a difusão de vapor dos sistemas de drenagem ND do tipo “sv” é compatível com a execução de uma camada de base sem finos.

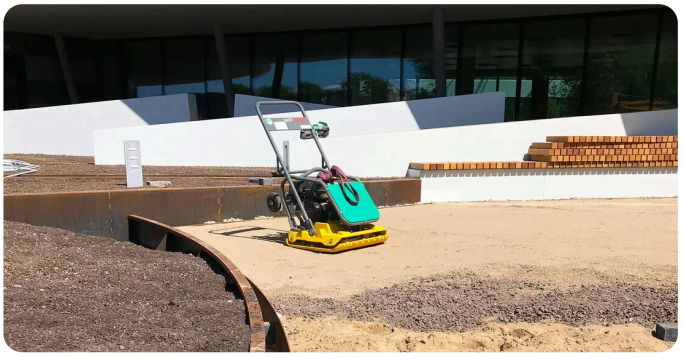
Quadro 9. Camada de base em cobertura invertida

Classe de carga∗	Material	Granulometria, em mm	Espessura, em mm
1	Material natural britado	2/22	≥ 100
2	Material britado com ligante hidráulico	–	≥ 100
2	Material natural britado	0/32∗∗	≥ 150
2	Material natural britado	2/32	≥ 150
3	Material britado com ligante hidráulico	–	≥ 100
3	Material natural britado	0/32∗∗ ou 0/45∗∗	≥ 150

∗ Ver quadro 1, classificação de cargas. ∗∗ Adequação a demonstrar pelo fabricante do isolamento térmico.



Camada de base espalhada sobre o sistema de drenagem. Meerrijk, Eindhoven, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.



Compactação com placa vibratória. AFAS Experience Centre, Leusden, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.

2.9 Camada de regularização

Para vencer diferenças de cota e/ou criar pendentes, pode ser necessário executar uma camada de regularização sob pavimentos modulares exclusivamente pedonais (classe de carga 1). A camada de regularização combina a camada de assentamento e a camada de base: o pavimento é colocado diretamente sobre ela. Os materiais de preenchimento das juntas têm de ter granulometria cuidadosamente ajustada à largura real das juntas e à granulometria do material da camada de regularização.

Esta camada pode ser de material natural britado com granulometria 2/8 mm ou 3/9 mm. A espessura da camada é de, no mínimo, 50 mm e, no máximo, 150 mm. Depois de colocado e recortado o pavimento, toda a composição é compactada. Quando a espessura de regularização é superior a 150 mm, a camada de regularização é de material natural britado com granulometria 2/22 mm, e o pavimento é colocado sobre uma camada de assentamento separada, de material natural britado com a granulometria acima indicada.

2.10 Camada de assentamento

A camada de assentamento destina-se a absorver as variações de espessura dos elementos do pavimento e as irregularidades da camada de base, e a dar estabilidade aos elementos. Deve ser tão fina quanto possível; no entanto, com cargas reduzidas, a sua espessura pode aumentar ligeiramente, porque o risco de deformação diminui.

O material de assentamento pode ser material natural britado com granulometria 0/4 mm, 0/5 mm, 0/11 mm*, 1/3 mm ou 2/5 mm. Numa cobertura invertida pode ser necessário usar material de assentamento permeável ao vapor ou sem finos, isto é, sem partículas inferiores a 1 mm. Os materiais de preenchimento das juntas têm de ter granulometria cuidadosamente ajustada à do material de assentamento. Granulometrias de material de assentamento utilizáveis numa composição permeável ao vapor: 1/3 mm e 2/5 mm.

A espessura da camada de assentamento após compactação deve ser de 30–50 mm. Com blocos de espessura ≥ 120 mm, a camada de assentamento deve ter ≥ 40 mm, com material de granulometria 0/11 mm. Consoante a carga prevista e o tipo de pavimento, o material de assentamento pode ser colocado diretamente sobre os sistemas de drenagem ND.

∗ Blocos com espessura ≥ 120 mm – camada de assentamento ≥ 40 mm.



Camada de assentamento colocada diretamente sobre o sistema de drenagem. Centrumplan, Kerkrade, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.



Colocação de cubos sobre a camada de assentamento. Kvartet Šiška, Liubliana, Eslovénia. Imagem: Nophadrain.

2.11 Pavimento

Em coberturas utiliza-se normalmente um pavimento modular (p. ex. blocos, elementos de pequeno formato) assente sobre uma camada de assentamento flexível ou granular, em vez de um pavimento rígido ou semirrígido (p. ex. betão, macadame ou asfalto). As principais razões desta escolha são:

- a facilidade de acesso à estrutura da cobertura e ao sistema de impermeabilização para inspeção e manutenção
- a possibilidade de prolongar os pavimentos e as zonas plantadas adjacentes sobre a cobertura, tornando-a “invisível” para os utilizadores
- a proteção do sistema de impermeabilização contra cargas estáticas ou dinâmicas excessivas
- o baixo custo de instalação e de manutenção.

Um pavimento flexível é permeável e é constituído por elementos pré-fabricados individuais. É também designado pavimento "aberto", por oposição a um pavimento "fechado", como o betão ou o asfalto. A espessura do pavimento depende da classe de carga, dos elementos, do aparelho e da capacidade de suporte das camadas subjacentes. Existem no mercado mais de 200 tipos diferentes de elementos de pavimento.

Pendentes. Tanto quanto possível, a água pluvial deve escorrer à superfície do pavimento e ser recolhida por uma caleira adequada. A penetração da água no pavimento, na camada de assentamento e na camada de base deve ser minimizada, assegurando pendentes adequadas e juntas relativamente apertadas. Consoante o tipo de pavimento, devem respeitar-se as seguintes pendentes mínimas:

Tipo de pavimento	Pendente mínima
Lajetas de betão e lajes de pedra natural	1:50
Blocos de betão e blocos cerâmicos	1:40
Pavimento de pedra natural	1:33
Pavimento permeável aberto (pavimento relvado)	1:100
Pavimento com ligante hidráulico	1:50

As pendentes podem ser criadas na laje estrutural, na camada de base ou na camada de regularização. Nos pavimentos modulares (blocos de betão autobloqueantes, blocos cerâmicos, etc.), até 30–40 % da água superficial pode penetrar pelas juntas e chegar às camadas subjacentes. A infiltração pode ser ainda maior em pavimentos recém-construídos, cujas juntas ainda não assentaram nem se colmataram naturalmente com detritos, ou em pavimentos com pendente insuficiente.

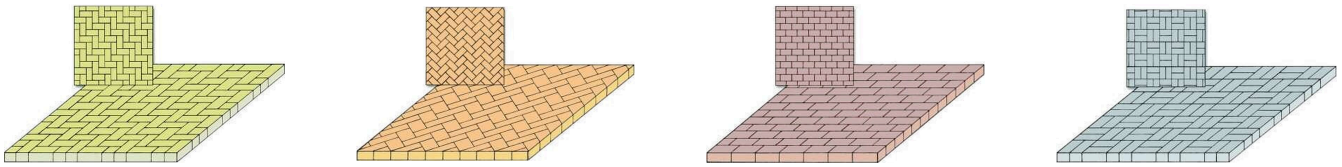
Blocos e lajes. Os elementos podem ser blocos pré-fabricados, p. ex. elementos de pequeno formato, blocos cerâmicos, blocos de betão, lajetas de betão, cubos ou lajes de grande formato. A largura e a profundidade da junta, bem como o material de preenchimento, determinam se a água superficial pode ser encaminhada para as camadas inferiores.

- **Elementos de pequeno formato.** Devido à reduzida dimensão e às tolerâncias inevitavelmente largas de todos os elementos naturais, só podem ser utilizados em pavimentos da classe de carga 1.
- **Blocos cerâmicos.** Podem ser utilizados em pavimentos da classe de carga 1. Podem ser colocados sem camada de base separada, sobre uma camada de regularização ou de assentamento diretamente sobre os sistemas de drenagem ND. Devem ter uma espessura mínima de 40 mm.
- **Blocos de betão.** Utilizam-se em pavimentos das classes de carga 1 e 2. Em coberturas com tráfego de veículos (classe de carga 2), são colocados em espinha a 90° e a 45°, os aparelhos com maior estabilidade a longo prazo. Podem ser colocados sem camada de base separada, sobre uma camada de regularização ou de assentamento diretamente sobre os sistemas de drenagem ND. Na classe de carga 2, recomenda-se o uso de lajes de betão de grande formato em locais como curvas apertadas, zonas de inversão de marcha e rampas de entrada e saída, por distribuírem comprovadamente as cargas dinâmicas impostas. Os blocos devem ter uma espessura mínima de 40 mm na classe de carga 1 e de 80 mm na classe de carga 2.
- **Lajetas de betão.** Podem ser utilizadas em pavimentos da classe de carga 1. Podem ser colocadas sem camada de base, sobre uma camada de regularização ou de assentamento diretamente sobre os sistemas de drenagem ND. A espessura mínima é de 40 mm.
- **Pavimento permeável.** Pode ser utilizado em coberturas dimensionadas para as classes de carga 1 a 3. Devido à sua estrutura aberta, permite a infiltração de 100 % da água superficial, pelo que a capacidade de suporte para tráfego de veículos é limitada. Recomenda-se que não seja utilizado em pavimentos das classes de carga 2 ou 3 com tráfego regular de veículos.
- **Blocos de betão autobloqueantes (ICBP).** Podem ser utilizados em pavimentos das classes de carga 1 a 3, mas usam-se sobretudo em zonas de veículos sujeitas a cargas elevadas (classes de carga 2 e 3), onde as forças geradas pela aceleração,

pela travagem e pela mudança de direção podem ser consideráveis. Usam-se também em pavimentos da classe de carga 2 colocados sobre uma camada de assentamento diretamente sobre os sistemas de drenagem ND, isto é, sem camada de base específica. Espessura mínima: classe de carga 1 – 60 mm; classe de carga 2 – 80 mm; classe de carga 3 – 100 mm.

- **Lajes de betão de grande formato.** Podem ser utilizadas em pavimentos das classes de carga 1 a 3. Em curvas apertadas, zonas de inversão de marcha e rampas de entrada e saída são preferíveis, por suportarem e distribuírem melhor as cargas dinâmicas impostas. Usam-se também em pavimentos das classes de carga 2 e 3 quando não há altura disponível para uma camada de base separada; nesse caso, as lajes podem ser colocadas sobre uma camada de assentamento adequada diretamente sobre os sistemas de drenagem ND. A adequação das lajes de grande formato à classe de carga em causa deve ser comprovada pelo fabricante.

Aparelhos. As zonas pedonais podem ser executadas em praticamente qualquer aparelho, mas as zonas destinadas a tráfego de veículos devem usar um aparelho travado, para maximizar a vida útil do pavimento e minimizar a manutenção. Os aparelhos em espinha e os blocos de betão autobloqueantes dão o maior grau de travamento, porque o movimento e a fluência são contidos nas direções transversal e longitudinal; por isso, estes aparelhos e blocos têm a maior estabilidade a longo prazo.



Espinha a 90°. Espinha a 45°. Aparelho corrido (a meio tijolo). Aparelho em cesto.

Figura 2. Exemplos de aparelhos.

Quadro 10. Aparelhos, por classe de carga

Aparelho	Classe 1, com / sem camada de base	Classe 2, com camada de base	Classe 2, sem camada de base	Classe 3, com camada de base
Aparelho corrido (a meio tijolo)	■	–	–	–
Aparelho em cesto	■	■	–	–
Espinha a 45°	■	■	■	–
Espinha a 90°	■	■	■	–
Blocos de betão autobloqueantes	■	■	■	■

Preenchimento das juntas. A largura da junta é normalmente determinada pela classe de carga e pelo tipo de elemento. Os materiais de preenchimento têm de ter granulometria cuidadosamente ajustada à largura real da junta e à granulometria do material de assentamento. Juntas demasiado estreitas podem impedir o preenchimento correto e permitir o contacto direto entre elementos adjacentes, com lascagem ou danos nas arestas. Juntas excessivamente largas podem não gerar o atrito entre elementos que assegura uma parte significativa da capacidade de suporte do pavimento.

Granulometrias dos materiais de preenchimento das juntas: 0/4 mm; 0/5 mm; 0/8 mm; 0/11 mm (largura de junta > 10 mm). Granulometrias utilizáveis numa composição permeável ao vapor: 1/3 mm; 2/5 mm.

O preenchimento correto das juntas é decisivo para o desempenho e a vida útil, a longo prazo, dos pavimentos sujeitos a tráfego de veículos. Os pavimentos de betão distribuem excecionalmente bem as cargas pontuais pelas camadas subjacentes. Esta capacidade depende de os elementos serem fabricados com tolerâncias dimensionais apertadas, que permitam um posicionamento rigoroso e juntas de largura uniforme. Com as juntas bem preenchidas, as cargas impostas, como as do tráfego de veículos, geram uma elevada resistência por atrito (resistência à rotação) entre elementos adjacentes, e a carga é distribuída por transferência parcial para esses elementos.

Para assegurar o preenchimento completo e correto das juntas, espalha-se areia seca de juntas sobre a superfície do pavimento recém-colocado e varre-se para as juntas com uma vassoura, enchendo cada junta tanto quanto possível depois da compactação do pavimento com placa vibratória. As juntas devem ser verificadas e completadas após a compactação e voltar a ser verificadas de poucas em poucas semanas durante os primeiros 3–4 meses após a conclusão, completando com material de juntas as que estejam parcialmente vazias. Depois deste período inicial, o pavimento deve ser verificado três a quatro vezes por ano, porque as juntas podem ser esvaziadas pelo vento e pela água superficial, pelas máquinas de limpeza urbana e pelo desgaste diário do tráfego.

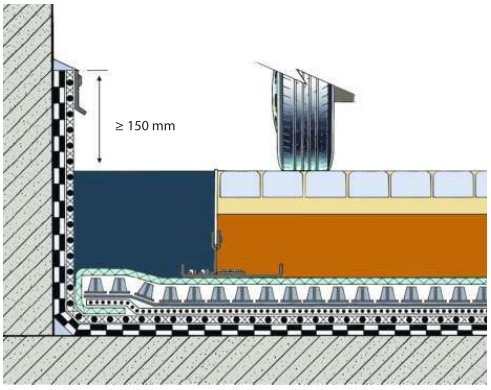
Remates de bordo. Os pavimentos modulares, como os de blocos de betão assentes de forma flexível, têm de ser devidamente travados nos bordos, para evitar o deslizamento lateral e a rotura do pavimento no seu conjunto. Remates de bordo bem executados são essenciais para o desempenho, a integridade e a vida útil de qualquer pavimento deste tipo. Os remates devem "prender" o corpo do pavimento e impedir qualquer fluência ou folga dos elementos.

O tipo de remate mais adequado é, na maioria dos casos, determinado pelo tipo de elementos e pela utilização prevista do pavimento, isto é, se será exclusivamente pedonal ou também para veículos. Em pavimentos para veículos, os elementos de bordo têm de ser travados nas direções horizontal e vertical. A melhor forma de o conseguir é assentá-los numa fundação de betão, com reforço lateral (escoramento) do mesmo betão, eliminando o risco de fluência ou de rotação.

Quando se utiliza betão existe, no entanto, o risco de lixiviação de hidróxido de cálcio, que pode danificar os ralos de cobertura. Por isso, recomenda-se nestas aplicações que o betão seja tratado ou que se utilize um betão mais denso (classe C20/25). Além disso, a fundação e o escoramento em betão não podem obstruir a drenagem horizontal da cobertura, pelo que devem ser colocados sobre a camada filtrante e drenante.

Uma alternativa possível à fundação e escoramento em betão é o perfil de bordadura ND GARDLINER®, particularmente adequado a pavimentos das classes de carga 1 e 2.

Produtos ND: âncora de fixação ND GARDLINER®; perfis de bordadura ND GARDLINER® Staal 100/4V, Staal 150/4V e Staal 200/4V.



Pormenor 6. Remate de bordo com o perfil de bordadura ND GARDLINER®.



Perfis de bordadura em aço entre o pavimento e a zona plantada, durante a construção. Amadeiro, 's-Hertogenbosch, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.



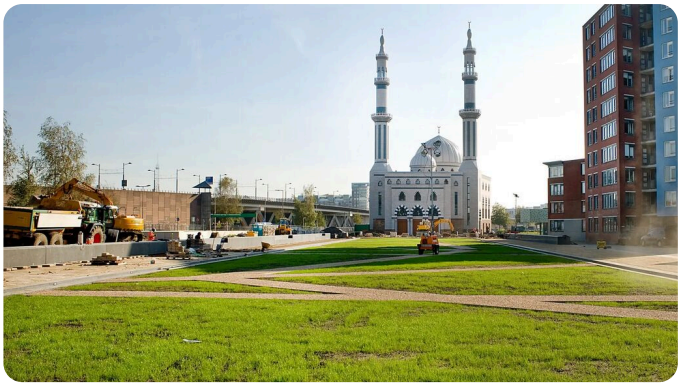
Pavimento e canteiros sobre o parque de estacionamento. Centrumplan, Kerkrade, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.

3 Coberturas transitáveis combinadas com vegetação intensiva

A combinação de pavimentos numa cobertura com zonas plantadas, como relvado, herbáceas vivazes, arbustos e árvores, melhora consideravelmente a qualidade de vida e a integração da cobertura no meio envolvente. Os sistemas Nophadrain de coberturas transitáveis tornam estas combinações fáceis de executar, com placas de reserva de água colocadas sobre a camada filtrante e drenante. Sobre estas placas coloca-se a camada de substrato, plantada com uma vegetação intensiva adequada. O "Manual de projeto e instalação de coberturas verdes intensivas" da Nophadrain, disponível a pedido, descreve em pormenor e orienta de forma mais completa este tipo de construção.



Caminho pavimentado entre vegetação intensiva na cobertura. AFAS Experience Centre, Leusden, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.

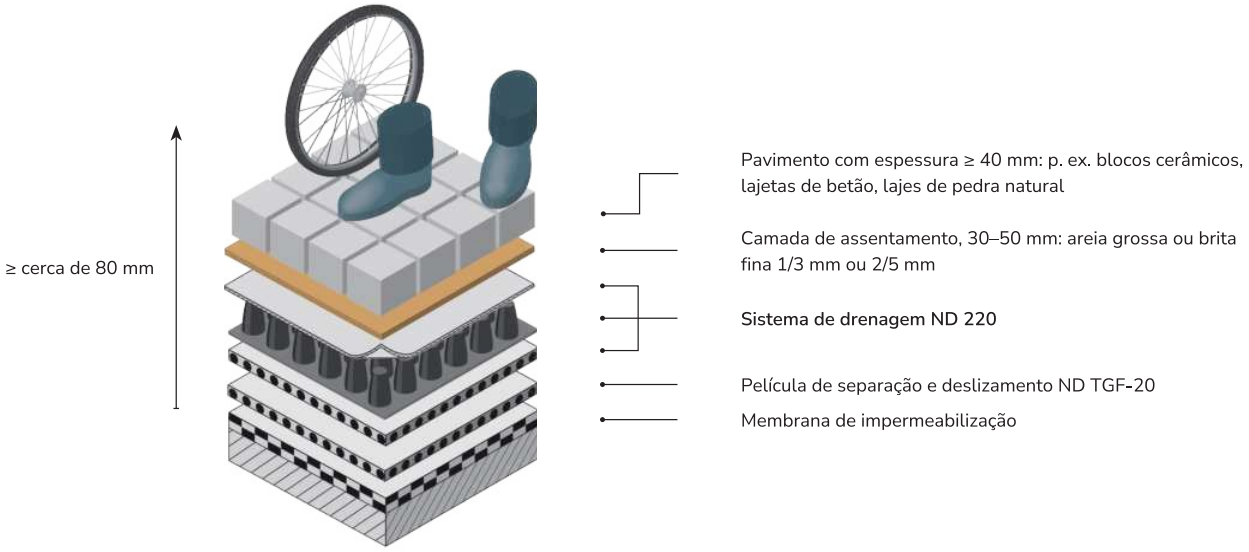


Relvado e caminhos sobre o parque de estacionamento. Parque de estacionamento Colosseumweg, Roterdão, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.

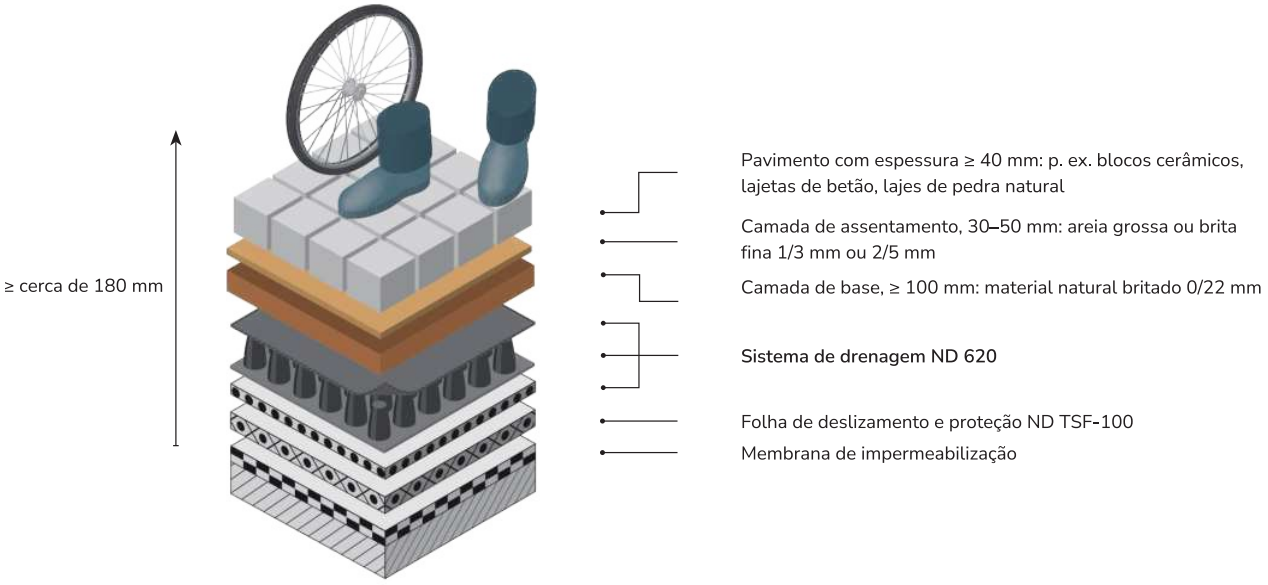
4 Sistemas Nophadrain de coberturas transitáveis (N1, N2, N3)

4.1 Cobertura transitável pedonal – classe de carga 1 (N1) – cobertura com pendente de 1° a 5°

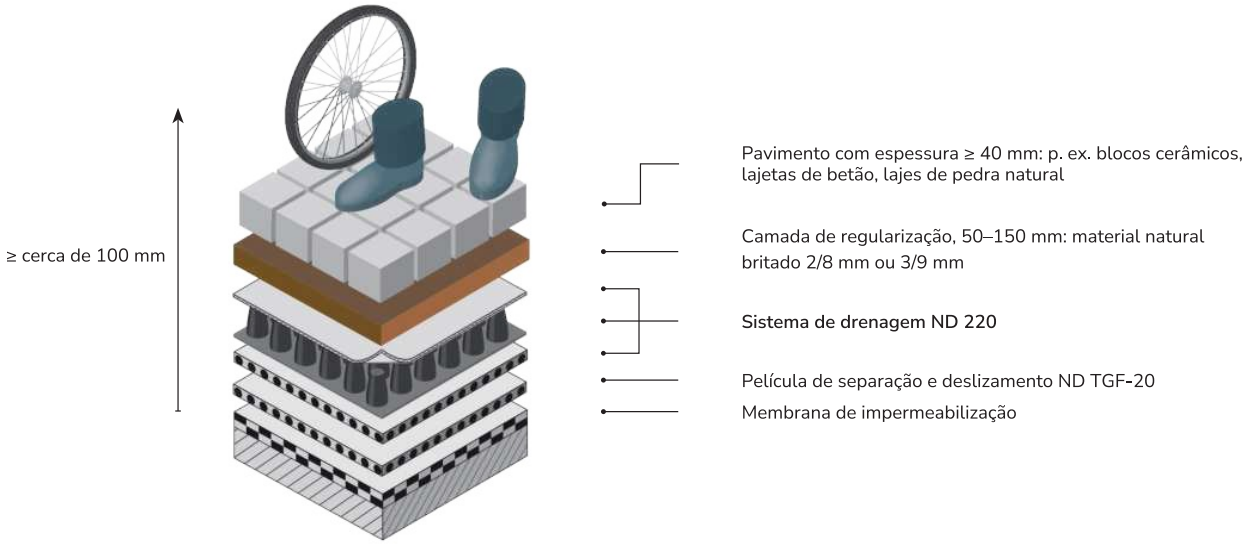
Cobertura quente / cobertura sem isolamento térmico. a. Composição sem camada de base. As pendentes do pavimento são dadas pela laje da cobertura.



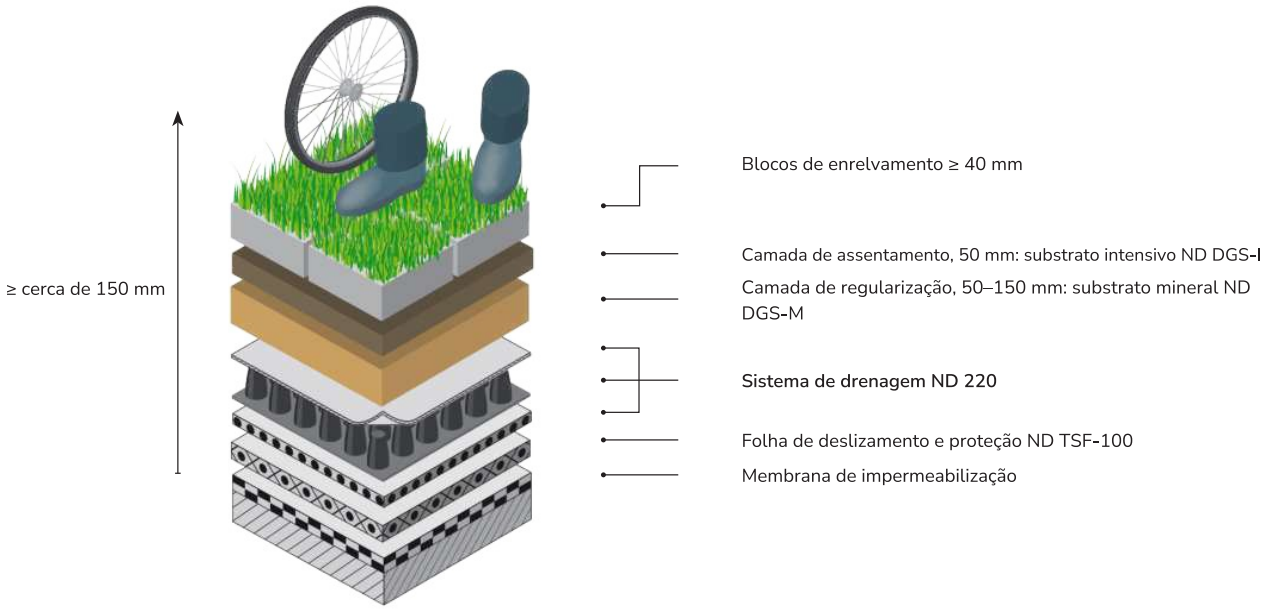
b. Composição com camada de base. Pendentes do pavimento dadas pela laje da cobertura e/ou pela configuração da camada de base.



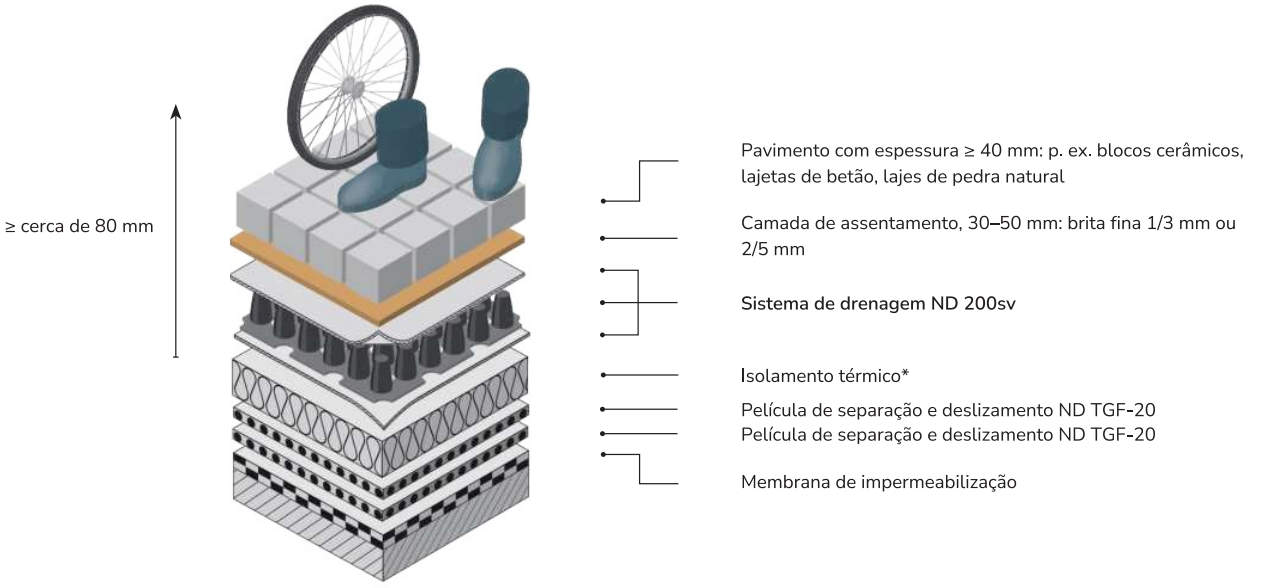
c. Composição com camada de regularização. Pendentes do pavimento dadas pela laje da cobertura e/ou pela configuração da camada de regularização.



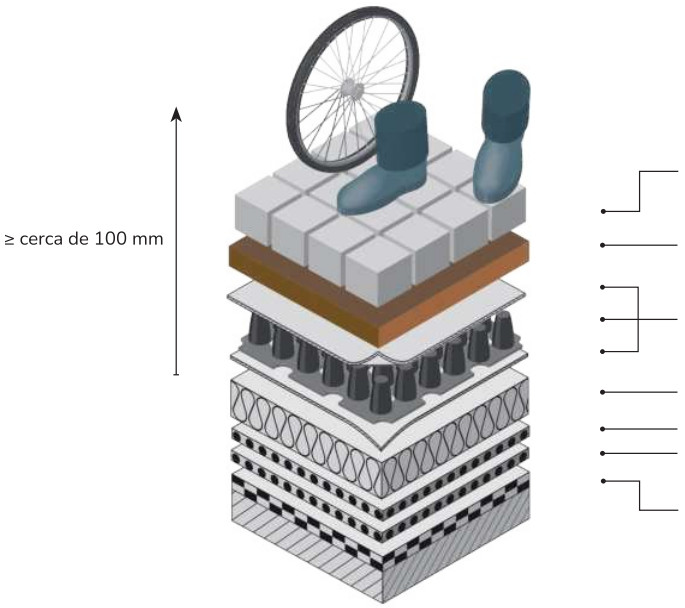
d. Composição com blocos de enrelvamento. Pendentes do pavimento dadas pela laje da cobertura e/ou pela configuração da camada de regularização.



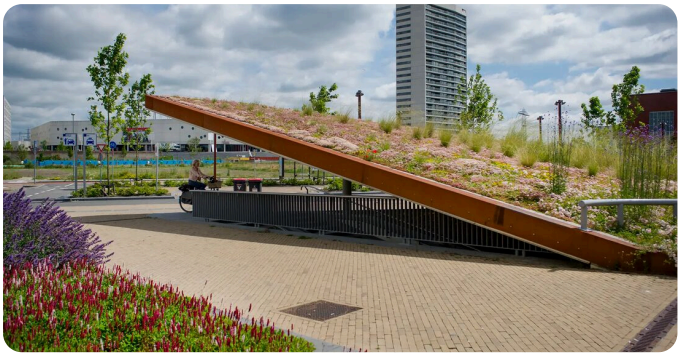
Cobertura invertida. a. Composição sem camada de base. As pendentes do pavimento são dadas pela laje da cobertura.



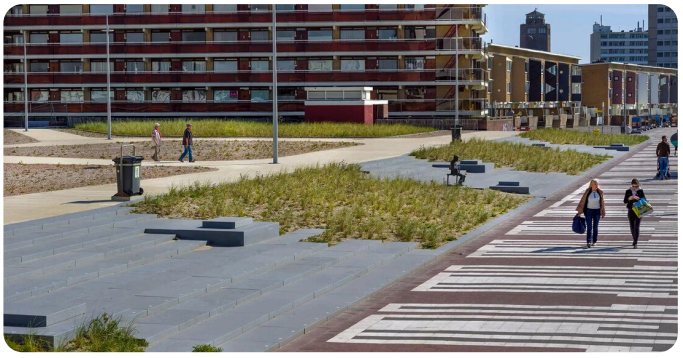
b. Composição com camada de regularização. Pendentes do pavimento dadas pela laje da cobertura e/ou pela configuração da camada de regularização.



∗ Adequação do isolamento térmico a demonstrar pelo fabricante.



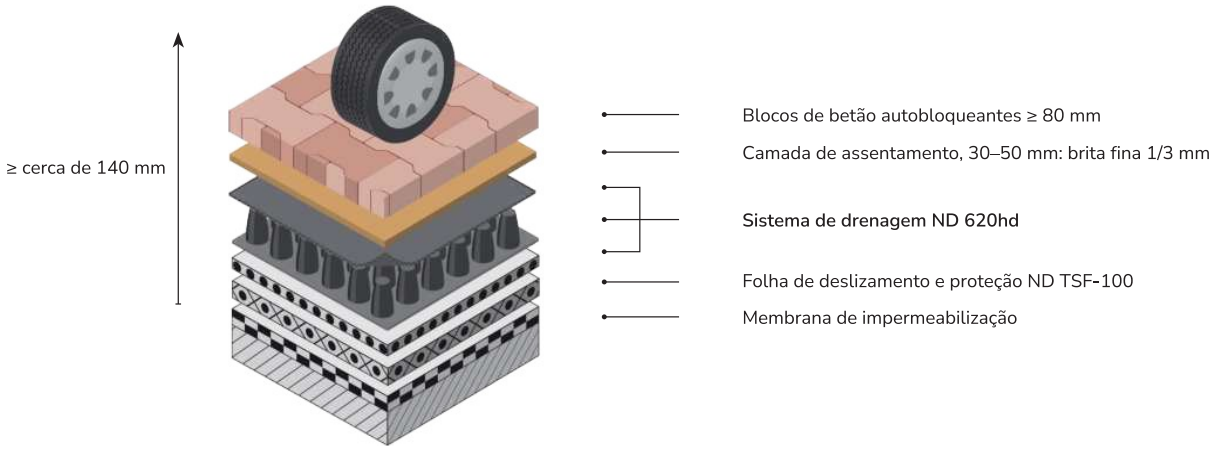
Cobertura transitável pedonal com vegetação intensiva. Estação Groningen Europapark, Groninga, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.



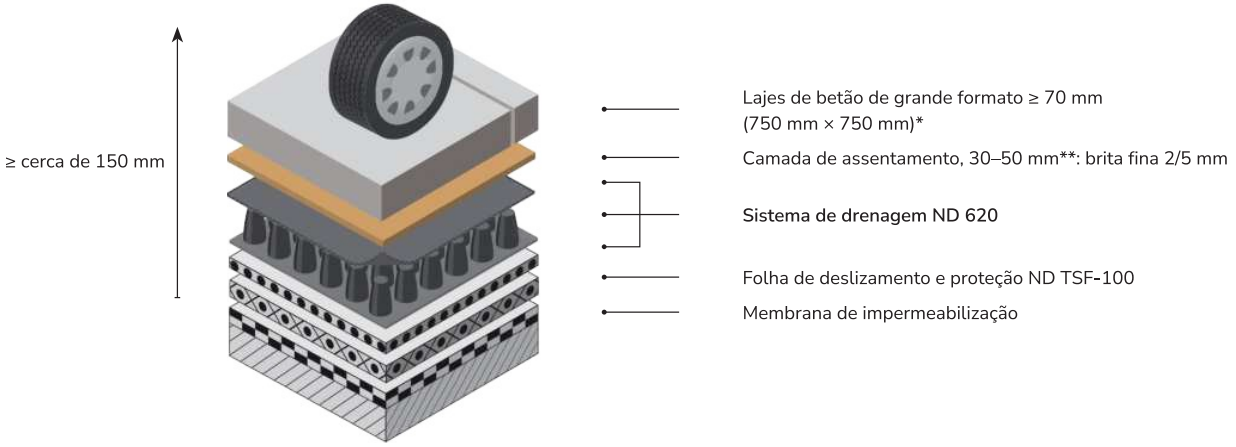
Cobertura transitável pedonal com vegetação. Fenemaplein, Zandvoort, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.

4.2 Cobertura transitável – veículos ligeiros – classe de carga 2 (N2) – cobertura com pendente de 1° a 5°

Cobertura quente / cobertura sem isolamento térmico. a. Composição sem camada de base. As pendentes do pavimento são dadas pela laje da cobertura.

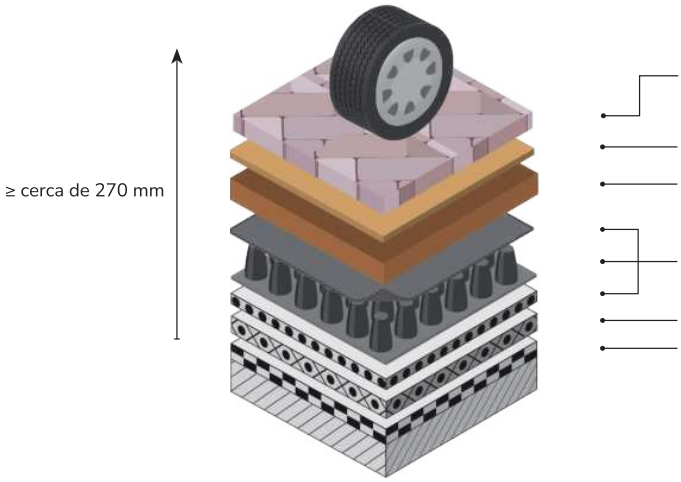


b. Composição com lajes de betão de grande formato, sem camada de base. As pendentes do pavimento são dadas pela laje da cobertura.

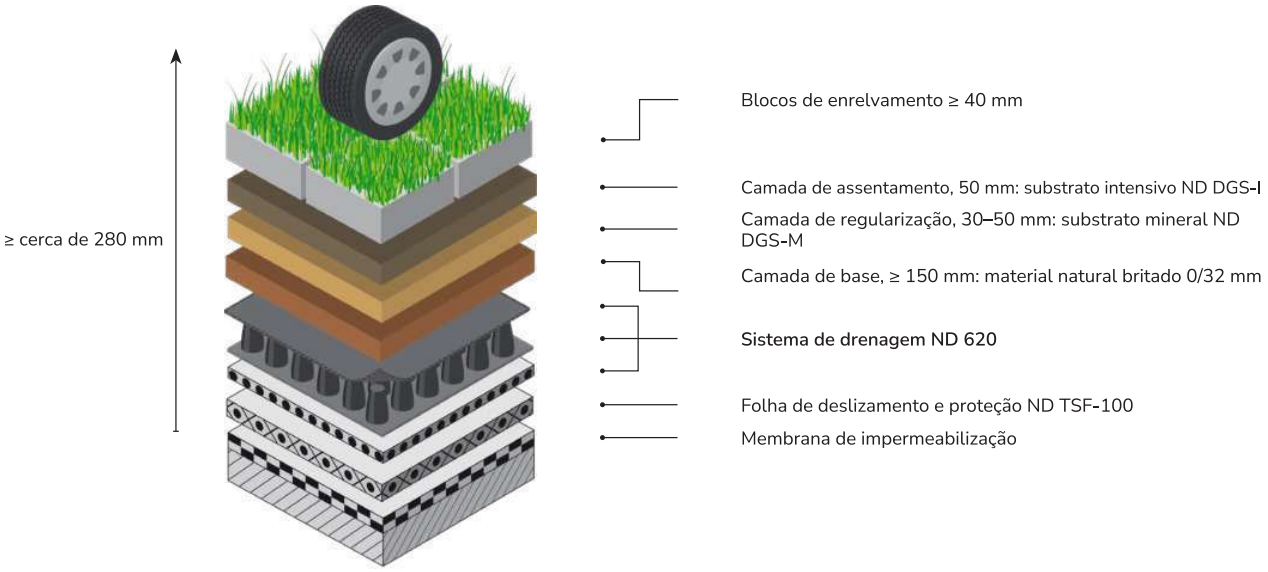


∗ Adequação das lajes de betão de grande formato a demonstrar pelo fabricante. ∗∗ Espessura da camada de acordo com as recomendações do fabricante das lajes de betão.

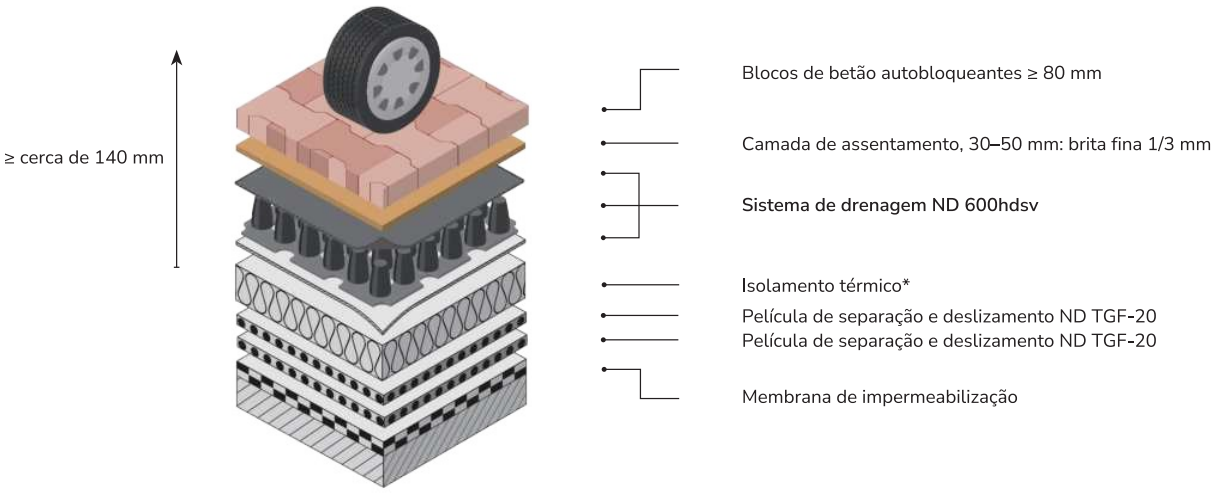
c. Composição com camada de base. Pendentes do pavimento dadas pela laje da cobertura e/ou pela configuração da camada de base.



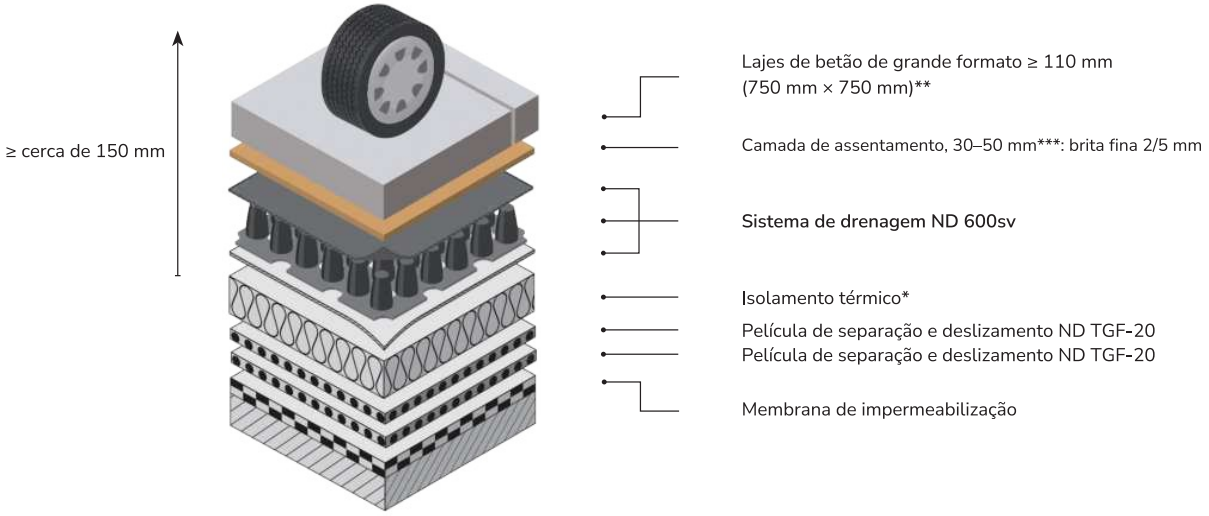
d. Composição com blocos de enrelvamento. Pendentes do pavimento dadas pela laje da cobertura e/ou pela configuração da camada de regularização.



Cobertura invertida. a. Composição sem camada de base. As pendentes do pavimento são dadas pela laje da cobertura.

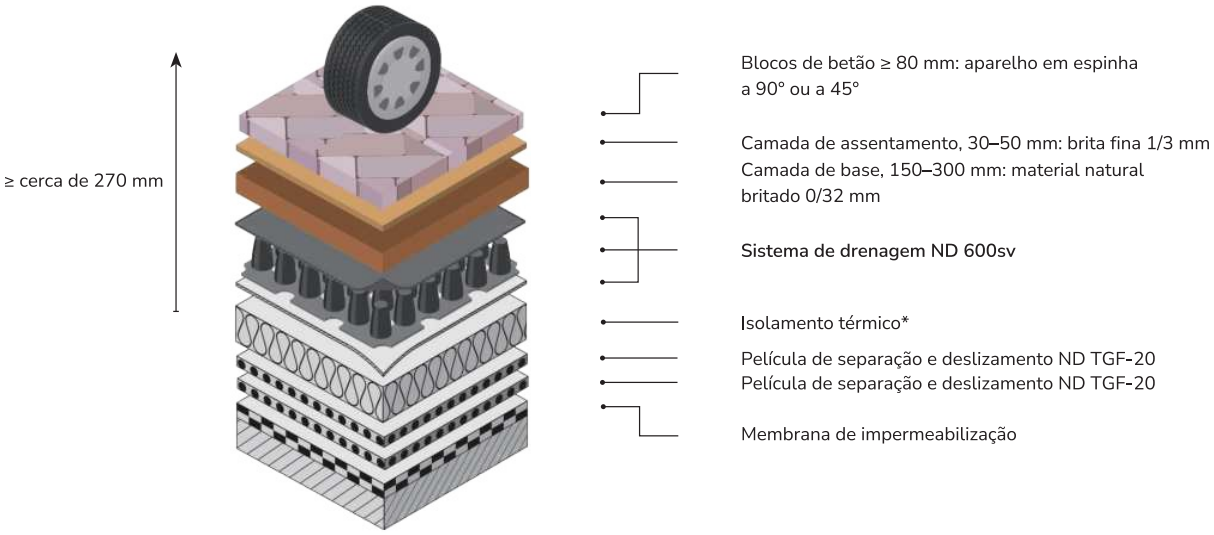


b. Composição com lajes de betão de grande formato, sem camada de base. As pendentes do pavimento são dadas pela laje da cobertura.

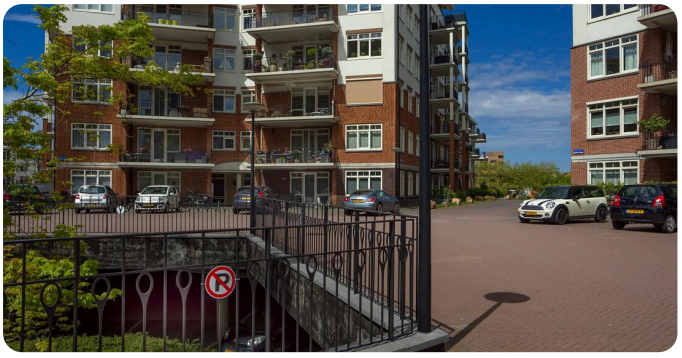


∗ Adequação do isolamento térmico a demonstrar pelo fabricante. ∗∗ Adequação das lajes a demonstrar pelo fabricante. ∗∗∗ Espessura da camada de acordo com as recomendações do fabricante das lajes de betão.

c. Composição com camada de base. Pendentes do pavimento dadas pela laje da cobertura e/ou pela configuração da camada de base.



∗ Adequação do isolamento térmico a demonstrar pelo fabricante.



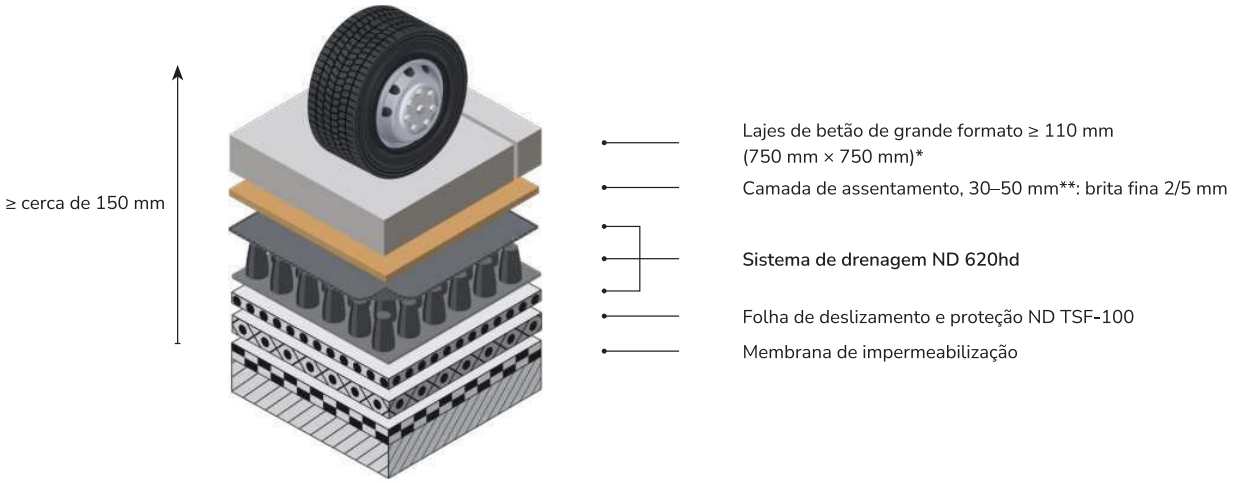
Cobertura de estacionamento para veículos ligeiros. De Bloem, Rijnsburg, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.



Estacionamento sobre a cobertura do parque subterrâneo. Centrumplan, Kerkrade, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.

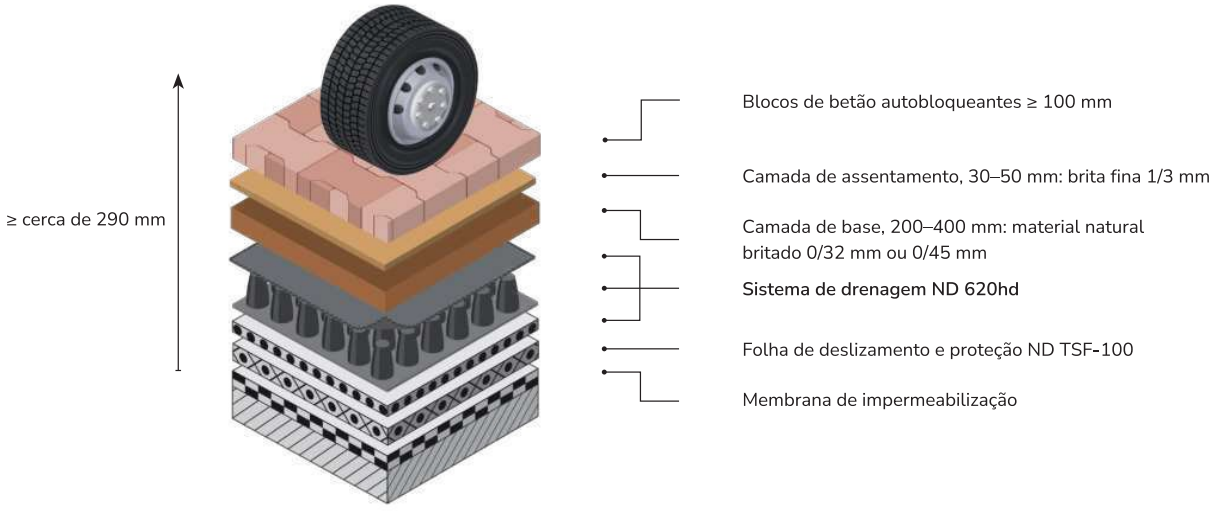
4.3 Cobertura transitável – veículos pesados – classe de carga 3 (N3) – cobertura com pendente de 1° a 5°

Cobertura quente / cobertura sem isolamento térmico. a. Composição com lajes de betão de grande formato, sem camada de base. As pendentes do pavimento são dadas pela laje da cobertura.

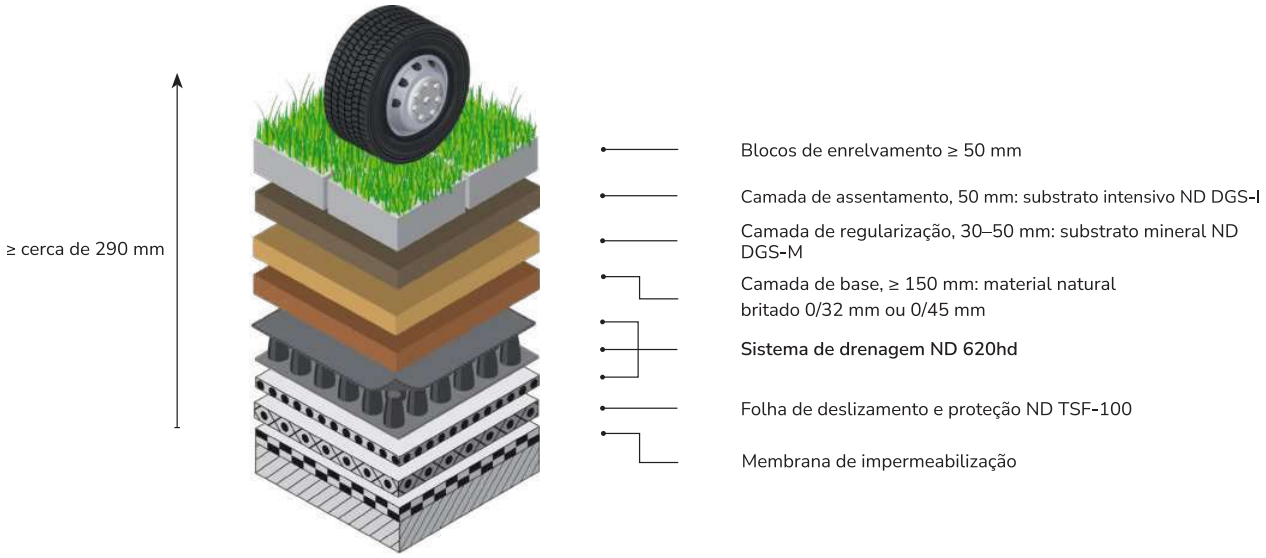


∗ Adequação das lajes a demonstrar pelo fabricante. ∗∗ Espessura da camada de acordo com as recomendações do fabricante das lajes de betão.

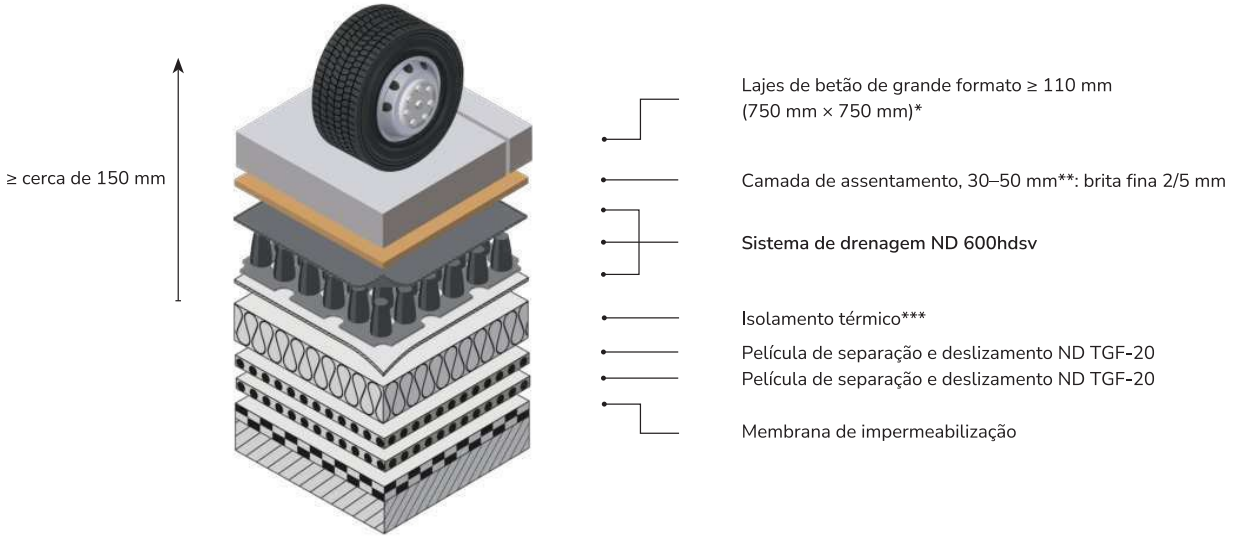
b. Composição com camada de base. Pendentes do pavimento dadas pela laje da cobertura e/ou pela configuração da camada de base.



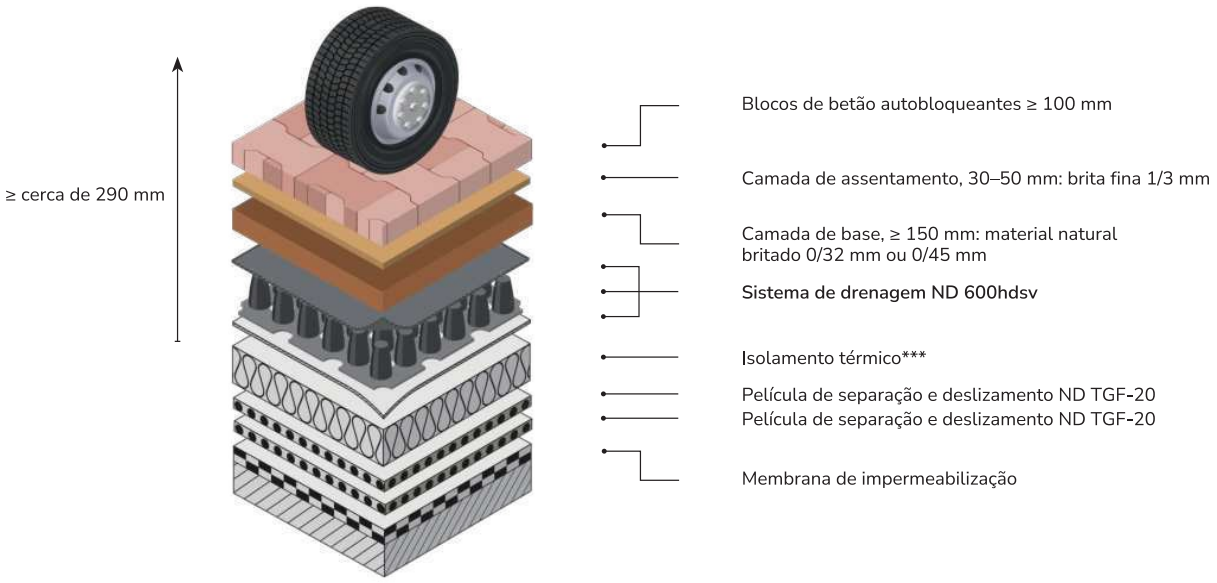
c. Composição com blocos de enrelvamento. Pendentes do pavimento dadas pela laje da cobertura e/ou pela configuração da camada de base.



Cobertura invertida. a. Composição com lajes de betão de grande formato, sem camada de base. As pendentes do pavimento são dadas pela laje da cobertura.



b. Composição com camada de base. Pendentes do pavimento dadas pela laje da cobertura e/ou pela configuração da camada de base.



∗ Adequação das lajes a demonstrar pelo fabricante. ∗∗ Espessura da camada de acordo com as recomendações do fabricante das lajes de betão. ∗∗∗ Adequação do isolamento térmico a demonstrar pelo fabricante.

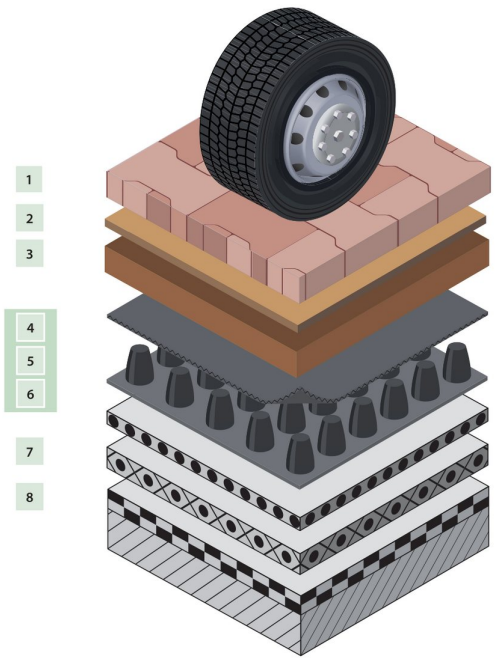


Praça e zonas plantadas sobre o parque de estacionamento. Kruispleingarage, Roterdão, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.



Praça pavimentada com canteiros sobre o parque de estacionamento. Centrumplan, Kerkrade, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.

Composição de uma cobertura transitável



	Camada	Produto / material
1	Pavimento	Blocos de betão autobloqueantes ≥ 100 mm
2	Camada de assentamento	30–50 mm: brita fina 1/3 mm
3	Camada de base	200–400 mm: material natural britado 0/32 mm ou 0/45 mm
4	Camada filtrante	Sistema de drenagem ND 620hd
5	Camada drenante	Sistema de drenagem ND 620hd
6	Camada de deslizamento	Sistema de drenagem ND 620hd
7	Camada de separação e proteção	Folha de deslizamento e proteção ND TSF-100
8	Membrana de impermeabilização	Membrana de impermeabilização

Composição de uma cobertura transitável para veículos pesados (classe de carga 3), com camada de base.



Árvores e pavimento sobre o parque de estacionamento. Meerrijk, Eindhoven, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.



Acesso ao parque de estacionamento subterrâneo. Kruispleingarage, Roterdão, Países Baixos. Imagem: Nophadrain.

A Anexo A – Ensaio índice: avaliação do nível de proteção conferido pela camada de proteção

Generalidades. Determinação da eficiência das camadas de proteção – sequência de ensaio baseada na hEN 13719:2002 "Geotêxteis e produtos relacionados com geotêxteis – Determinação da eficiência de proteção a longo prazo de geotêxteis em contacto com barreiras geossintéticas".

Procedimento de ensaio. No interior de um cilindro de aço de paredes lisas, coloca-se uma almofada de borracha com 20 mm de espessura e dureza de 50 Shore A sob um disco circular de chumbo com 1,3 mm de espessura, sobre o qual se coloca o provete (camada de proteção Nophadrain). Sobre o provete coloca-se uma camada de 200 mm de esferas de aço com 20 mm de diâmetro, e todo o conjunto é solicitado 200 000 vezes, a uma frequência de 2,3 Hz, no aparelho de ensaio servo-hidráulico.

Avaliação. Concluído o ciclo de ensaio, o aparelho é desmontado e registam-se as seis deformações com maior extensão. Destes dados, desprezam-se a maior e a menor leitura e calcula-se a média das restantes, obtendo-se o valor médio da deformação em percentagem. Por este procedimento, considera-se que uma amostra conferiu proteção satisfatória quando o alongamento médio calculado da camada de proteção é inferior ao alongamento máximo admissível a longo prazo da membrana de impermeabilização.

Solicitação dinâmica aplicada. O ensaio é repetido três vezes, aplicando em cada execução as diferentes solicitações indicadas no quadro 11. Estas solicitações dinâmicas estão de acordo com as recomendações para o projeto e a construção de coberturas transitáveis da Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL).

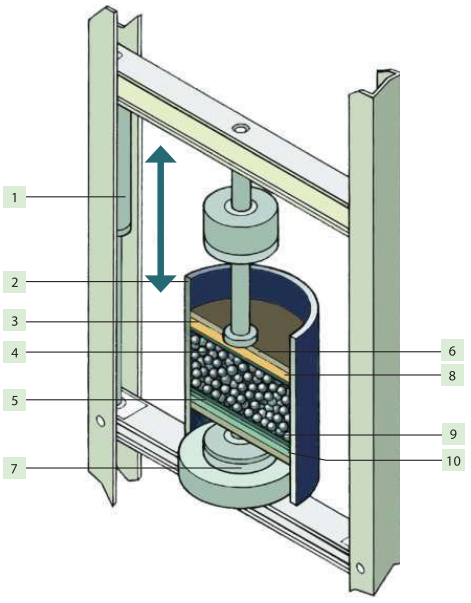


Figura 3. Aparelho de ensaio servo-hidráulico. 1 – carga aplicada; 2 – cilindro; 3 – geotêxtil separador; 4 – esferas de aço, Ø 20 mm; 5 – provete – camada de proteção; 6 – placas de aço superior e inferior; 7 – célula de carga; 8 – areia; 9 – disco de chumbo, d = 1,3 mm; 10 – almofada de borracha com 20 mm de espessura.

Quadro 11. Solicitação dinâmica aplicada

Classe de carga	Utilização	Carga dinâmica, em kN	Alongamento, em %
1	Coberturas verdes intensivas, coberturas transitáveis pedonais, terraços	8,2	1,01
2	Cobertura de estacionamento para veículos ligeiros com massa bruta máxima de 2,5 t = 25 kN	17,1	2,70
3	Cobertura de estacionamento para veículos pesados com massa bruta máxima de 16 t = 160 kN	43,7	7,91

B Anexo B – Ensaio de desempenho: avaliação do desempenho e do comportamento de uma estrutura de pavimento sob tráfego simulado, realizado na Universidade Técnica de Munique

Procedimento de ensaio. O aparelho de ensaio e a secção dos componentes ensaiados estão representados esquematicamente na figura 4. A carga por eixo pretendida é gerada hidraulicamente por um cilindro vertical fixo. O ajuste da pressão dos pneus, para a carga por eixo dada, simula o tipo de solicitação gerado pelo tráfego de veículos. Durante o ensaio, comandos hidráulicos horizontais produzem um movimento lateral das rodas de cerca de 20 mm em relação ao eixo. O ensaio de rolamento consiste em deslocar repetidamente o quadro de ensaio montado 900 mm para trás e 900 mm para a frente sob o eixo fixo, a uma velocidade média de 1 km por hora.

Quadro de ensaio e composição. A composição do pavimento a ensaiar é preparada dentro do quadro de ensaio (1 510 mm de comprimento × 1 410 mm de largura). Nas faces interiores do quadro colocam-se tiras de borracha densa, que permitem pequenos movimentos da construção do pavimento e simulam as condições de uma área de pavimento muito maior.

Avaliação. A deformação do pavimento é medida e registada durante e no final do ensaio. Na desmontagem do quadro de ensaio e da composição, cada camada e cada componente são examinados em pormenor quanto a deformações visíveis e consequentes alterações das suas características.

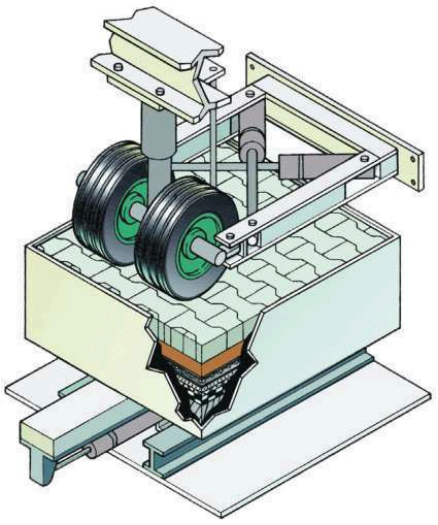


Figura 4. Aparelho do ensaio de desempenho. 1 – cilindro vertical – carga por eixo pretendida; 2 – cilindro horizontal – movimento lateral; 3 – eixo com pneus; 4 – quadro de ensaio; 5 – composição do pavimento; 6 – carris para deslocar o quadro de ensaio.

Nota para Portugal: o documento original da Nophadrain indica que a membrana de impermeabilização sobe pelo menos 150 mm acima do pavimento. Esta tradução indica 200 mm, de acordo com o Guia Técnico da Associação Nacional de Coberturas Verdes (ANCV, 2024, p. 64), que pede que a membrana suba, no mínimo, 20 cm acima da proteção da cobertura junto aos elementos emergentes.

Nota para Portugal: o Guia Técnico da Associação Nacional de Coberturas Verdes (ANCV, 2024, p. 47) considera normal uma pendente igual ou superior a 2 %; abaixo de 2 % é provável que haja encharcamentos, pelo que se aumenta a pendente ou, não sendo possível, a espessura da camada drenante.

Nota para Portugal: as referências a normas, dados de precipitação e práticas do Reino Unido e da Irlanda reproduzem o documento original. Em Portugal aplicam-se as normas europeias e portuguesas e a regulamentação nacional em vigor.

Esta informação é publicada pela Nophadrain BV como contributo para a boa prática na aplicação de coberturas transitáveis pedonais e de coberturas de estacionamento no Reino Unido. Embora tenha sido tomado todo o cuidado na sua preparação, a Nophadrain exclui qualquer responsabilidade por incorreções, omissões ou outras consequências decorrentes do conteúdo desta brochura. O leitor deve certificar-se, por si próprio, dos princípios e práticas descritos nesta brochura em relação a cada aplicação concreta e obter aconselhamento profissional adequado e independente.

Em caso de divergência, prevalece a informação técnica do fabricante.