



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

GUIA PARA MITIGAÇÃO DA ADMISSÃO DE RADÃO PARA O INTERIOR DE EDIFÍCIOS EXISTENTES

Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.

Lisboa • dezembro de 2020

I & D DED

RELATÓRIO 479/2020 – DED/NAICI

GUIA PARA MITIGAÇÃO DA ADMISSÃO DE RADÃO PARA O INTERIOR DE EDIFÍCIOS EXISTENTES

Autoria

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS

Luís Eduardo Pimentel Real

Investigador Auxiliar, Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações

Jorge M. Grandão Lopes

Investigador Principal, Diretor do Departamento

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

João Carlos Viegas

Investigador Principal com Habilitação, Diretor do Centro

Colaboração

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS

António Baptista Coelho

Investigador Principal com Habilitação, Núcleo de Estudos Urbanos e Territoriais

DIREÇÃO DE SERVICOS DE RECURSOS HUMANOS E LOGISTICA

Helder David Lopes Oliveira

Técnico Superior, Divisão de Divulgação Científica e Técnica

Copyright © Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I. P.
Av. do Brasil 101 • 1700-066 Lisboa
e-mail: Inec@Inec.pt
www.Inec.pt

Relatório 479/2020

Proc. 0809/1201/22300

GUIA PARA MITIGAÇÃO DA ADMISSÃO DE RADÃO PARA O INTERIOR DE EDIFÍCIOS EXISTENTES

Resumo

Neste guia descreve-se um conjunto de técnicas visando a mitigação da admissão do radão para o interior de edifícios existentes, com base em soluções utilizadas em outros países, designadamente no Reino Unido e nos Estados Unidos da América, cuja aplicabilidade pode ser extensível a Portugal.

O guia é complementado com a indicação de outras soluções específicas de redução das concentrações de radão que sejam aplicáveis ao tipo de edifícios construídos em Portugal.

Palavras-chave: Radão / Técnicas de mitigação / Edifícios

MITIGATION GUIDE OF RADON ENTRY INTO EXISTING BUILDINGS

Abstract

This guide describes a set of techniques aiming the mitigation of the inflow of radon in buildings already built, based on solutions used in other countries, namely in United Kingdom and United States of America, whose applicability can be extended to Portugal.

The guide is complemented by the indication of other specific solutions for radon concentration reduction that apply to the type of buildings built in Portugal.

Keywords: Radon / Mitigation techniques / Buildings

Sumário executivo

O radão é um gás radioativo incolor e inodoro que pode atingir concentrações relativamente elevadas em espaços fechados, no interior de edifícios, e conseqüentemente com impactos muito negativos na saúde dos moradores e utilizadores das respetivas edificações.

Este relatório do LNEC apresenta diversas técnicas de mitigação do problema resultante da existência de elevadas concentrações de gás radão em edifícios existentes e faz recomendações relativamente a cada uma delas.

As soluções apresentadas baseiam-se fundamentalmente na literatura de referência internacional, em particular nos guias elaborados pelo British Research Establishment (BRE) e pela US Environmental Protection Agency (EPA), tendo sido adaptadas à realidade nacional. O conteúdo deste documento poderá ser adotado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) para a constituição de um guia Português de mitigação do radão no interior dos edifícios, no âmbito do Plano Nacional para o Radão a elaborar por esta Agência.

As medidas de mitigação apresentadas permitem concluir que a instalação de um sistema de proteção ao radão nos pisos térreos ou em contacto com o terreno, constituído por uma barreira ao radão, traduzida pela aplicação de membranas ou filmes prefabricados, complementada por um sistema de ventilação, preferencialmente de despressurização do solo sob o pavimento térreo ou sob a membrana, constitui uma medida extremamente eficaz e permite atingir elevadas reduções de concentração do radão no interior dos edifícios.

A melhoria da ventilação natural ou mecânica nos pavimentos enterrados, como é o caso das caves (onde é provável que se atinjam as concentrações mais elevadas de radão no edifício), ou em outros espaços do edifício, constitui também uma medida eficaz para reduzir os níveis do gás radão no seu interior, podendo ser suficiente quando esses níveis são relativamente baixos.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Organização do documento.....	1
2	Descrição sucinta do problema.....	2
2.1	O radão no interior dos edifícios.....	2
2.2	Enquadramento legal.....	3
2.3	Fatores influenciadores do nível de proteção.....	3
2.3.1	Elementos em contacto com o terreno.....	3
2.3.2	Tipo de pavimentos, paredes e tetos.....	5
2.3.3	Taxa de ventilação e de ocupação.....	8
2.3.4	Tipo de comunicações entre espaços.....	9
3	Medidas de mitigação	10
3.1	Listagem das principais soluções.....	10
3.2	Ventilação	11
3.2.1	Generalidades.....	11
3.2.2	Ventilação natural	11
3.2.3	Ventilação mecânica.....	18
3.2.4	Pressurização positiva.....	23
3.2.5	Despressurização do terreno.....	24
3.3	Recomendações relativas aos sistemas de ventilação.....	33
3.3.1	Generalidades.....	33
3.3.2	Variações de temperatura.....	35
3.3.3	Alterações de pressão e de caudal do ar.....	35
3.3.4	Ruído.....	37
3.3.5	Estética	38
3.3.6	Características dos ventiladores.....	38
3.4	Selagem e impermeabilização.....	38
3.4.1	Generalidades.....	38
3.4.2	Paredes enterradas	38
3.4.3	Pavimentos enterrados.....	39
3.4.4	Tetos	46
3.4.5	Zonas de comunicação interiores.....	46
3.5	Pavimento de substituição.....	46
4	Custos das intervenções.....	48
5	Conclusões.....	52
	Referências bibliográficas	56
	Agradecimentos.....	60
	Anexos.....	61
	ANEXO I Melhoria da ventilação natural por baixo do pavimento térreo junto ao terreno	63
	ANEXO II Melhoria da ventilação mecânica por baixo do pavimento térreo junto ao terreno.....	75
	ANEXO III Pressurização positiva no interior do edifício	85
	ANEXO IV Despressurização do terreno sob o pavimento térreo	97
	ANEXO V Membranas ou filmes contra o radão sobre pavimentos	117
	ANEXO VI Membranas e filmes contra o radão em paredes.....	133

Índice de figuras

Figura 2.1 – Cave completa (vista em perspetiva e corte).....	4
Figura 2.2 – Cave parcial (vista em perspetiva e corte).....	4
Figura 2.3 – Semicave completa (vista em perspetiva e corte)	5
Figura 2.4 – Semicave parcial (vista em perspetiva e corte)	5
Figura 3.1 – Ilustração de grelha de ventilação regulável manualmente para janelas	13
Figura 3.2 – Ventilador mecânico colocado no interior da cave, com conduta de exaustão a atravessar a parede, instalada no exterior	21
Figura 3.3 – Ventilador mecânico colocado no interior da cave, com conduta de exaustão a atravessar a parede, instalada no interior	22
Figura 3.4 – Ventilador mecânico protegido, colocado no exterior	22
Figura 3.5 – Exemplo de sistema de despressurização do solo	25
Figura 3.6 – Exemplo de sistema de despressurização do terreno debaixo da laje térrea, com condutas e ventilador localizados no exterior	25
Figura 3.7 – Exemplo de sistema de despressurização do terreno debaixo da laje térrea, com ventilador localizado no interior do edifício (em espaços habitualmente desocupados)...	26
Figura 3.8 – Exemplo de sistema de despressurização do terreno debaixo da laje térrea, instalado numa cave, com condutas e ventilador localizados no exterior	26
Figura 3.9 – Exemplo de sistema de câmara subterrânea instalada sob o pavimento de uma cave, com condutas e ventilador localizados no exterior	27
Figura 3.10 – Exemplo de sistema de câmara subterrânea junto a uma parede, com conduta e ventilador localizados no exterior	28
Figura 3.11 – Sistema de despressurização com câmara escavada a partir do exterior, com conduta e ventilador localizados também no exterior	29
Figura 3.12 – Exemplo de sistema múltiplo constituído por duas câmaras subterrâneas e um único ventilador.....	30
Figura 3.13 – Esquema simplificado de um sistema de aspiração de radão por tubos de drenagem pluvial e depósito subterrâneo	32
Figura 3.14 – Esquema simplificado de um sistema de aspiração pelas aberturas dos tijolos ou blocos perfurados das paredes enterradas.....	33
Figura 3.15 – Caves em comunicação com a caixa de ar sob o pavimento do piso superior adjacente.....	37
Figura 3.16 – Exemplo típico de uma membrana contra o radão	40
Figura 3.17 – Exemplo de inserção de um perfil metálico na junta horizontal de uma parede	41
Figura 3.18 – Membrana sobre um pavimento e respetivos remates com as paredes e tubagens (a); Tela geotêxtil de proteção da membrana contra o radão subjacente ilustrada em a) (b) ⁷	42
Figura 3.19 – Pormenor da vedação, com reforço da membrana sobre o pavimento, na zona de atravessamento de conduta de um sistema de aspiração instalado abaixo do pavimento.....	43
Figura 3.20 – Pormenor do reforço da membrana contra o radão na zona de atravessamento de uma coluna em aço.....	43
Figura AI.1 – Exemplos de (a) boa ventilação e (b) má ventilação, com zonas de estagnação	66
Figura AI.2 – Exemplos de aberturas de ventilação, construídas na parede, imediatamente acima nível do solo, bloqueadas ou obstruídas	68
Figura AI.3 – Exemplos de aberturas de ventilação instaladas abaixo do nível do solo, parcialmente ou totalmente obstruídas ¹⁰	68
Figura AI.4 – escoamento do ar em paredes duplas através: (a) de fendas ou aberturas na alvenaria; (b) de troço de conduta	69
Figura AI.5 – Aberturas de ventilação em peças de material cerâmico, vista de frente (a) e vista de trás (b)	71

Figura AI.6 – Aberturas de ventilação com grelhas de lâminas ¹¹	71
Figura AI.7 – Esquema de abertura de ventilação periscópica.....	72
Figura AI.8 – Exemplos de grelhas de ventilação com proteção	72
Figura AII.1 – Esquema de ventilador de exaustão centrífugo ligado a conduta.....	79
Figura AII.2 – Esquema de ventilador axial localizado dentro de uma cavidade inserida na parede ..	80
Figura AII.3 – Representação de um sistema múltiplo de ventilação, equipado com um atenuador acústico, atuando por baixo de vários quartos	81
Figura AIII.1 – Exemplo de um esquema de funcionamento de um sistema de ventilação por pressurização.....	88
Figura AIII.2 – Sistema de ventilação por pressurização montado no desvão da cobertura.....	90
Figura AIII.3 – Esquema típico de um sistema de ventilação por pressurização	91
Figura AIII.4 – Esquemas de sistemas de ventilação por pressurização localizados no desvão de coberturas	93
Figura AIV.1 – Ventilador estático rotativo e esquema de funcionamento	100
Figura AIV.2 – Fotografia de apartamentos independentes, com um sistema de despressurização comum composto por uma câmara de captação instalada em cada apartamento ligadas a um único ventilador e conduta de exaustão	102
Figura AIV.3 – Posições genéricas das condutas associada a sistemas de despressurização do terreno debaixo do pavimento	103
Figura AIV.4 – Ventilador centrífugo vertical típico, usado em sistemas de despressurização do terreno debaixo do pavimento	105
Figura AIV.5 – Vistas de conduta de exaustão situada no interior (à esq.) e no exterior (à dir.) de sistemas de despressurização do terreno debaixo do pavimento, ambos com a saída de exaustão ao nível da cobertura	106
Figura AIV.6 – Sistemas de exaustão típicos, com ventilador incorporado, usados em sistemas de despressurização do terreno debaixo do pavimento, construídos no exterior do edifício, com exaustão a nível térreo: a) antes da instalação da caixa de proteção; b) depois da instalação da caixa de proteção	107
Figura AIV.7 – Esquemas exemplificativos de instalação de ventiladores de sistemas de despressurização do terreno com minicâmaras de captação, construídas através de paredes, com exaustão a nível térreo	109
Figura AIV.8 – Esquema exemplificativo de instalação de ventiladores de sistemas de despressurização do terreno com minicâmaras de captação construídas através da parede, com exaustão ao nível da cobertura	110
Figura AIV.9 – Esquema de instalação de um ventilador de um sistema de despressurização do terreno com minicâmara de captação construída pelo interior do edifício, com exaustão ao nível da cobertura	111
Figura AV.1 – Membrana barreira contra o radão diretamente aplicada sobre o revestimento de piso existente (pavimento térreo)	121
Figura AV.2 – Membrana contra o radão diretamente aplicada sobre o revestimento de piso existente (pavimento com caixa de ar).....	123
Figura AV.3 – Membrana contra o radão aplicada sobre o revestimento de piso de madeira existente.....	124
Figura AVI.1 – Membrana contra o radão colocada do lado exterior de paredes enterradas	137
Figura AVI.2 – Membrana contra o radão colocada do lado interior de paredes enterradas	139

Índice de quadros

Quadro 4.1 – Valores típicos e máximos do custo de intervenções para redução da concentração do radão (PHE, 2020)	50
Quadro 5.1 – Técnicas de mitigação para redução da concentração de radão nos edifícios	53
Quadro AI.1 – Medidas corretivas para melhoria da ventilação natural por baixo de pavimentos térreos.....	74
Quadro AII.1 – Medidas corretivas para melhoria da ventilação mecânica sob o pavimento.....	83
Quadro AIII.1 – Medidas corretivas para melhoria dos sistemas de ventilação por pressurização.....	95
Quadro AIV.1 – Medidas corretivas para melhoria dos sistemas de despressurização do terreno debaixo da laje	114

1 | Introdução

1.1 Enquadramento

A Agência Portuguesa do Ambiente, I.P., solicitou ao LNEC colaboração para a elaboração de dois guias, um deles relativo à mitigação e o outro sobre a prevenção da presença do gás radão em edifícios; o primeiro visando as técnicas de mitigação da presença de elevadas concentrações de radão em edifícios existentes e o segundo contendo as especificações técnicas de prevenção da presença desse gás em edifícios novos.

Em edifícios já existentes, é assim necessário identificar um conjunto de técnicas de mitigação e de remediação que permitam a redução dos níveis elevados de radão no seu interior, nomeadamente em habitações unifamiliares (tendo ou não pavimentos térreos), tendo em conta a sua especificidade, tal como o tipo de construção e a sua localização, a existência de caves, totalmente enterradas ou não (arrecadações, adegas, garagens, etc.), o tipo de fundações, o tipo de pavimentos térreos, os materiais utilizados na sua construção, a presença ou não de soluções de impermeabilização dos elementos construtivos em contacto com o terreno, o nível de ventilação dos espaços interiores, entre outros aspetos que podem influenciar a admissão de radão para o interior dos edifícios e também contribuir para o sucesso das medidas de mitigação. O presente documento visa dar satisfação ao primeiro objetivo, indicando técnicas de remediação e de mitigação aplicáveis às edificações existentes em Portugal.

1.2 Organização do documento

O presente relatório encontra-se organizado da seguinte forma:

- O Capítulo 1 constitui a presente introdução;
- No Capítulo 2 apresenta-se a descrição sucinta do problema e refere-se o seu enquadramento legal;
- No Capítulo 3 apresentam-se as diversas medidas de mitigação e fazem-se recomendações relativamente a cada uma delas;
- No Capítulo 4, faz-se uma abordagem aos custos de cada tipo de intervenção e listam-se os fatores influenciadores no custo global das medidas de mitigação apresentadas;
- No Capítulo 5, apresentam-se as conclusões;
- Por fim, os anexos incluem soluções específicas para mitigar o problema da presença do radão no interior dos edifícios, especialmente em habitações, detalhando-se, em cada um deles, um método apropriado, de entre os vários possíveis.

2 | Descrição sucinta do problema

2.1 O radão no interior dos edifícios

O radão penetra facilmente em espaços fechados, como o interior de edifícios, podendo atingir concentrações relativamente altas em algumas circunstâncias. A redução da ventilação natural, designadamente através da caixilharia e caixas de estore, resultante de obras de reabilitação para melhoria de eficiência energética, associada à utilização de soluções, nomeadamente em paredes de fachada, com materiais menos permeáveis aos gases, são dois fatores que podem contribuir para um aumento dos níveis de radão no interior dos edifícios, caso estes nunca tenham sido dotados de meios de prevenção de admissão de radão (de preferência aquando da sua construção).

É frequente a existência de pequenas fissuras nos pisos e nas paredes das edificações, formadas durante e após a construção, devido a diversas causas, como os assentamentos diferenciais de fundações, os movimentos de origem térmica, ou as acomodações ou ajustes entre os vários elementos da construção; ou a existência de aberturas intencionalmente criadas para a passagem de tubos e cabos, bem como as naturalmente existentes nos acabamentos de pisos, paredes e tetos, e em juntas de dilatação. A dimensão e quantidade destas fissuras ou aberturas depende também das características dos acabamentos das paredes e dos pavimentos e tetos, e da qualidade da sua execução. O radão existente no solo penetra no edifício através dessas fissuras ou aberturas porque a pressão atmosférica no seu interior é geralmente inferior à pressão no solo subjacente, devido, por um lado, a diferenças de temperatura entre o interior do edifício (em geral mais quente) e o solo (em geral mais frio), fenómeno designado correntemente por efeito chaminé, e, por outro lado, aos efeitos da ação do vento.

O radão também pode existir na água, e, através desta, libertar-se no interior do edifício, quando a água é usada para tomar banho e para outras atividades domésticas (EPA, 2012). É mais provável verificar-se a presença de radão na água quando a sua origem provém da água subterrânea, como por exemplo um furo artesiano, um poço privado ou um sistema público de abastecimento de água que use água subterrânea, pois nestes casos a água pode estar em contacto com o urânio que se encontra naturalmente presente nos solos, não sendo geralmente um problema quando a sua origem provém da água em escoamento livre sobre o terreno (água à superfície)

Por fim, é também de referir que existem vários materiais de construção, utilizados nos edifícios, em que a exposição a radiações ionizantes não é desprezável (Madruga *et al*, 2019).

2.2 Enquadramento legal

O Decreto-Lei n.º 108/2018 estabelece o regime jurídico da proteção radiológica, transpondo a Diretiva 2013/59/Euratom. Esta Diretiva fixa as normas de segurança de base relativas à proteção contra os perigos resultantes da exposição a radiações ionizantes.

O referido enquadramento legal destina-se, designadamente, a atividades humanas que estejam em presença de fontes de radiação natural conducentes a um aumento significativo da exposição de trabalhadores ou da população, em especial às fontes que conduzam à presença de radão no interior dos edifícios, à exposição exterior às radiações provenientes de materiais de construção e a situações de exposição prolongada a este gás.

Com a entrada em vigor do Decreto-Lei nº 108/2018, que ocorreu em 2 de abril de 2019, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) passou a ser a nova Autoridade Competente nesta matéria. A Inspeção Geral da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território (IGAMAOT) passou a ser a nova entidade inspetora.

2.3 Fatores influenciadores do nível de proteção

2.3.1 Elementos em contacto com o terreno

Para efeitos de avaliação do risco de exposição ao radão, os edifícios são geralmente classificados de acordo com o tipo de construção, sendo de realçar o tipo de fundação ou de elementos construtivos em contacto com o terreno (caves enterradas, total ou parcialmente, pavimentos térreos de betão assentes diretamente no terreno), ou de pavimentos sobrelevados em relação ao terreno (com desvão sanitário¹).

Em certos casos, podem ter-se vários tipos de fundação no mesmo edifício, ou de elementos construtivos em contacto direto ou não com o terreno, cada qual numa parte do edifício; nessas situações, pode ser necessário aplicar uma combinação de técnicas de redução de radão para níveis convergentes com o nível de referência.

A concentração de radão é normalmente maior nos espaços localizados na proximidade do terreno, principalmente em caves, parcial ou totalmente enterradas, geralmente aproveitadas como adegas, dispensas, arrecadações e garagens, ou seja, como espaços de ocupação menos permanente ou frequente.

As caves, as fundações e os embasamentos de uma edificação podem definir-se como completas quando ocupam o perímetro completo do edifício (Figura 2.1), ou parciais quando ocupam apenas uma

¹ Desvão sanitário é um espaço com altura reduzida, construído por baixo do pavimento e sobre o terreno natural, onde podem ser instaladas tubagens diversas (canalização e cabos de circuitos elétricos) ou outros equipamentos.

parte do perímetro do edifício (Figura 2.2). Nas caves, completas ou parciais, as paredes funcionam como muros de contenção do terreno.

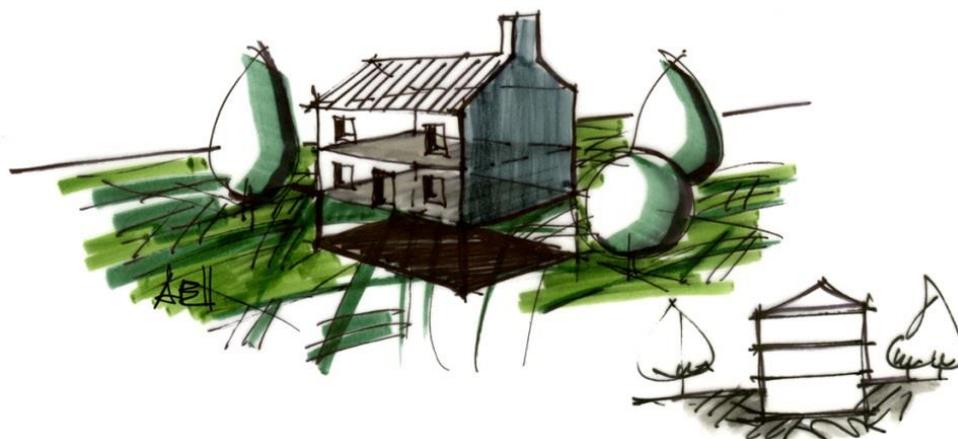


Figura 2.1 – Cave completa (vista em perspectiva e corte)

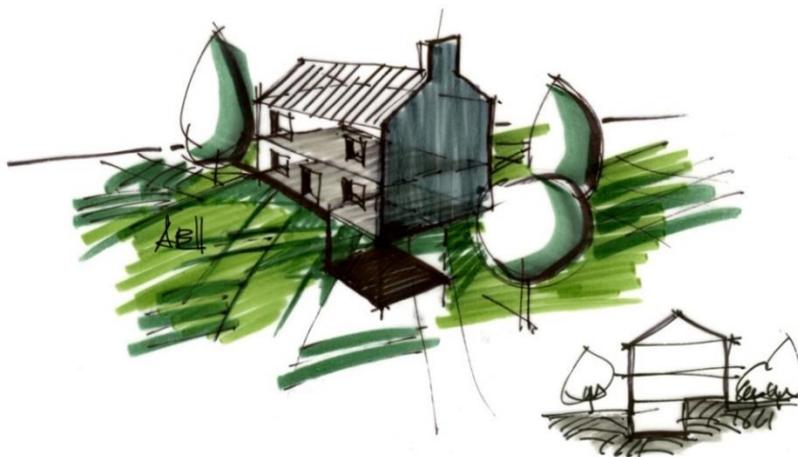


Figura 2.2 – Cave parcial (vista em perspectiva e corte)

Quando as caves têm pelo menos uma ou mais paredes em contacto com o exterior, esses espaços designam-se por semicaves, podendo ainda a semicave ser completa (Figura 2.3) ou parcial (Figura 2.4).



Figura 2.3 – Semicave completa (vista em perspetiva e corte)



Figura 2.4 – Semicave parcial (vista em perspetiva e corte)

Ocasionalmente os espaços enterrados estendem-se para além do perímetro do edifício, como acontece em alguns casos de edifícios em altura, com zonas destinadas a parques de estacionamento subterrâneo.

2.3.2 Tipo de pavimentos, paredes e tetos

A concentração de radão em espaços interiores, especialmente os localizados total ou parcialmente abaixo do nível do terreno, pode ainda variar de acordo com o tipo de soluções construtivas, incluindo os respetivos materiais dos pavimentos, paredes e tetos.

Assim, como os espaços enterrados de edifícios antigos são habitualmente mais desocupados que os espaços acima do terreno – normalmente aqueles são usados para armazenamento de produtos diversos – podem não se colocar tantos cuidados de prevenção de penetração do radão na adoção das respetivas soluções construtivas, nomeadamente nos acabamentos dos correspondentes paramentos interiores.

a) Pavimentos térreos

Podem enumerar-se a seguir algumas soluções construtivas de pavimentos térreos de edifícios existentes, em que numas é mais fácil intervir para mitigar a penetração de radão para o interior do edifício e noutras em que tal é bastante mais difícil, e naturalmente, também menos económica.

Uma das situações consiste num piso térreo, geralmente de caves, composto apenas pela superfície do terreno relativamente compactado ou de materiais rochosos cuja superfície tenha sido suficientemente regularizada (verificam-se, por exemplo, em pavimentos de adegas, celeiros, locais de armazenamento de alfaias agrícolas ou até de garagens). Nestes casos não há qualquer restrição ao fluxo do gás radão proveniente do terreno para o interior do respetivo espaço. No entanto, trata-se de uma situação onde, em princípio, será fácil intervir para mitigar esse fluxo.

Outra situação consiste na aplicação de uma camada de betão (geralmente pobre) diretamente sobre o terreno, ou eventualmente, sobre um enrocamento, ou então a colocação de uma camada de pedra (que pode ser granítica) assente sobre betonilha, com ou sem enrocamento subjacente. O fluxo do gás radão ocorrerá neste caso através das fendas que existam na camada de betão ou betonilha, e entre as juntas das pedras, ou no contorno do pavimento (em contacto com as paredes). A intervenção para mitigação do fluxo do radão será nesta situação um pouco mais difícil.

Poder-se-ão encontrar situações idênticas à anterior, onde sob a camada de betão ou da betonilha tenha sido aplicado algum produto impermeabilizante, para evitar ou reduzir a ascensão capilar da água do terreno; entre esses produtos encontram-se as membranas prefabricadas (betuminosas ou sintéticas) de impermeabilização de fundações e pavimentos térreos (sejam eles de caves ou não), que contribuirão francamente para reduzir o fluxo de radão para o interior do edifício.

Por último, podem ainda encontrar-se soluções de pavimentos sobrelevados da superfície do terreno, criando, portanto, uma caixa de ar sob os mesmos. Se essa caixa de ar for acessível pelo exterior do edifício, serão mais fáceis de implementar, e também mais eficientes, as soluções de mitigação do fluxo de radão para o interior do edifício.

Especialmente nos dois últimos casos apresentados, a mitigação da admissão do radão para o interior será implementada fundamentalmente através da correta execução de remates (nas juntas) do pavimento com tubagens ou outros elementos que o atravessem, ou que nele estejam incorporados.

Todas as soluções atrás referidas para reduzir a admissão/propagação do radão serão apresentadas mais adiante.

b) Paredes enterradas

Tal como nos pavimentos, também em relação às paredes enterradas podem ser enumeradas algumas soluções para edifícios existentes.

No pior cenário, as paredes são constituídas pela própria rocha onde as caves das edificações foram escavadas, não existindo qualquer barreira à entrada do radão.

Noutros casos (cenário intermédio), as caves têm paredes de pedra ou tijolo, construídas sem barreiras verticais de proteção à passagem do radão, ainda que rebocadas com argamassas de cimento/cal e areia (pintadas ou não) ou estucadas. Devido à permeabilidade destas paredes, agravada pela provável existência de fissuras na própria parede e/ou nos respetivos revestimentos, o gás radão penetra facilmente através das mesmas.

Uma situação mais favorável consiste no mesmo tipo de solução anterior, mas em que no paramento exterior (em contacto com o terreno) se tenha aplicado uma solução de impermeabilização semelhante à descrita para os pavimentos térreos, e cuja principal função tenha sido também evitar infiltrações de água por essas paredes. Em função do tipo de terreno e da constituição das paredes, muitas vezes a garantia da estanquidade à água destas paredes (água que provém do terreno, naturalmente) é conseguida apenas com soluções de drenagem apropriadas, realizadas, por exemplo, por drenos verticais formados por material granular grosseiro adjacente ao paramento exterior das paredes. Naturalmente que o efeito destes drenos na mitigação do fluxo de radão é bastante menor do que no caso em que existam, complementarmente ou não, as referidas soluções de impermeabilização formadas por membranas prefabricadas ou por soluções equivalentes.

A presença da humidade nas paredes (ou noutro elemento do edifício) acelera o processo de envelhecimento dos materiais que as constituem, dando muitas vezes origem a anomalias, como fendilhação ou o próprio descamento dos respetivos materiais de acabamento/revestimento. Estas anomalias são mais um contributo para facilitar a passagem do radão para o interior dos edifícios.

c) Pavimentos intermédios

O elemento horizontal de compartimentação de edifícios especialmente importante a considerar, é o pavimento que separa a cave do piso imediatamente sobrejacente. Ele é tanto mais importante quanto maior for a possibilidade de haver concentração de radão nessas caves.

Também, neste caso, se podem enumerar algumas das principais soluções construtivas existentes em edifícios já construídos.

Uma delas consiste em soalhos de madeira, ou dos seus derivados, assentes geralmente em barrotes do mesmo material. As juntas existentes entre as pranchas ou régua de madeira são os pontos mais críticos para a passagem do gás radão do espaço inferior para o superior (é claro que este aspeto é importante se esse espaço superior tiver uma ocupação frequente).

Uma outra solução poderá consistir em pavimentos formados por elementos de pedra (granítica, calcária ou outra) ou cerâmicos, formando geralmente arcos com conformações diversas (por exemplo, abóbodas). Esta solução oferece evidentemente uma maior resistência ao fluxo de radão que venha do piso inferior, mas deverá ter-se em conta também as emissões que provenham do próprio material que constitui o pavimento.

Por último, em construções mais recentes, a solução de pavimento intermédio mais corrente consiste em lajes maciças ou aligeiradas de betão armado, ou em lajes aligeiradas com elementos prefabricados (por exemplo, vigotas e abobadilhas). Com estas soluções reduz-se a permeabilidade ao fluxo do

radão. Note-se que, nestes casos, os pontos mais críticos são as juntas resultantes do atravessamento da laje por tubagens diversas, as aberturas nelas realizadas e a fendilhação dos materiais constituintes do pavimento.

Em qualquer uma das soluções apresentadas, poderão ser realizados tetos falsos, que, em geral, pouco contribuem para reduzir o fluxo do radão, se não forem totalmente estanques (como é o caso de placas de gesso cartonado, aplicadas de forma contínua, criando uma caixa de ar sobrejacente estanque ao ar).

2.3.3 Taxa de ventilação e de ocupação

Para além das soluções construtivas utilizadas nos edifícios existentes, existem outros fatores que influenciam os níveis de radão nas edificações, tal como a taxa de ventilação dos espaços interiores e a forma como os edifícios e espaços são usados.

Em Portugal, a ventilação dos espaços interiores dos edifícios de habitação existentes é predominantemente natural.

Essa ventilação faz-se fundamentalmente através das aberturas existentes nas casas de banho interiores, nos apanha fumos das cozinhas, ou através de frinchas diversas, como as existentes na envolvente das caixas de estore ou nas juntas da caixilharia de janelas e portas exteriores e, de forma esporádica, mediante a abertura de janelas, o que neste caso não constitui uma solução permanente para contribuir para a redução da concentração de radão.

Entre os vários compartimentos de um determinado piso de um edifício, as comunicações (portas) devem permanecer abertas, ou então dispor de grelhas devidamente dimensionadas para permitir a circulação do ar dos compartimentos principais para os compartimentos húmidos (cozinhas e casa de banho). É claro que a eficiência ou o grau de ventilação depende fundamentalmente do controlo das aberturas referidas. Note-se que a ventilação através de apanha fumos ou de aberturas colocadas nas casas de banho interior, é fundamentalmente de origem térmica, dependendo, portanto, das diferenças de temperatura entre o interior e o exterior do edifício; a sua eficiência é tanto maior quanto maior for essa diferença de temperaturas (8 °C é o valor geralmente aceite no Inverno para garantir o mínimo de eficácia do sistema de tiragem térmica). Essa tiragem depende ainda da velocidade do ar no exterior e da orientação dos compartimentos, devendo-se criar condições para que a diferença de pressões entre fachadas opostas seja também a maior possível.

Faz-se notar que a obstrução dos apanha-fumos, com a colocação de exaustores, ou das aberturas das casas de banho interiores, com a colocação de extratores, reduz substancialmente as secções de tiragem de ar do interior das habitações, reduzindo também, portanto, a eficiência da ventilação natural.

A ventilação mecânica é uma outra forma de garantir a substituição do ar interior viciado por ar novo, sendo especialmente usada em edifícios de habitação em altura ou em edifícios administrativos, comerciais ou industriais. Com este processo de ventilação consegue-se controlar melhor as necessidades de ventilação, desde que a envolvente do edifício seja suficientemente estanque ao ar.

A eficiência da ventilação terá de ser tanto maior quanto maior for o grau de ocupação; ou seja, ela deverá ser devidamente proporcional ao número de ocupantes tendo em conta o volume do espaço a ventilar, não só por razões de salubridade dos espaços ocupados, mas também para ser eliminado o gás radão (que se manifesta também nessa salubridade). Mas, como atrás se referiu, mesmo em espaços sem ocupação, como é o caso de algumas caves, a ventilação desses espaços deve também ser o mais eficiente possível, para evitar a entrada do radão para espaços sobrejacentes ocupados.

2.3.4 Tipo de comunicações entre espaços

O pior cenário corresponde à situação em que existem portas de comunicação insuficientemente estanques ao ar entre a cave e o piso superior, cuja comunicação entre si se faz geralmente por escadas interiores. Neste caso é importante criar mecanismos que permitam reduzir o fluxo de ar da cave para o piso superior, reduzindo a permeabilidade ao ar dessas portas, independentemente de outros métodos de mitigação aplicados em conjunto.

Em edifícios em altura, a comunicação entre espaços (de habitação ou de outro tipo de utilização) de piso para piso faz-se geralmente através de uma caixa de escada interior, cuja ventilação deve ser devidamente estudada, especialmente quando exista concomitantemente uma caixa de elevadores. Em edifícios mais recentes, ou noutros mais antigos sujeitos a obras de reabilitação, a estanquidade ao ar das portas de comunicação entre pisos pode ser já suficientemente garantida caso tenham sido adotadas as disposições relativas à segurança contra incêndio. Trata-se de um contributo importante para evitar especialmente a passagem do radão das caves ou de pisos térreos desses edifícios para os pisos superiores, a qual será já de si reduzida se as paredes e pavimentos dessas caves ou desse piso térreo forem formados por elementos de betão armado.

3 | Medidas de mitigação

3.1 Listagem das principais soluções

Existe um conjunto de soluções que, isoladamente ou combinadas, permitem minimizar a concentração de radão no interior dos edifícios.

As opções conhecidas e aplicadas com mais generalidade visando a mitigação do problema são as seguintes (procurando apresentá-las pela ordem que em geral são mais facilmente exequíveis):

- 1 - Ventilação:
 - a. Ventilação natural das caves, caixas de ar e/ou dos pisos superiores
 - b. Ventilação mecânica das caves, caixas de ar e/ou dos pisos superiores
 - c. Alterações na ventilação natural de espaços acima do nível do solo
 - d. Aspiração mecânica de ar nas caves
 - e. Pressurização positiva em todo o espaço
 - f. Sistema de despressurização do terreno, com câmara por baixo do pavimento da cave.
- 2 - Selagem e impermeabilização;
- 3 - Pavimento de substituição.

Essas soluções não são adequadas para todos os tipos de edifícios, nem para todos os níveis de concentração de radão, sendo em alguns casos necessário adotar mais do que uma solução para resolver o problema da concentração elevada de radão no interior dos edifícios.

É importante ainda referir que muitas vezes não é possível, ou pode ser difícil, implementar medidas de mitigação da admissão de radão em edifícios históricos ou com valor cultural, quando as soluções a adotar possam conflitar com os seus principais elementos construtivos, como é o caso de paredes de fachada. Estão neste grupo os edifícios integrando materiais de pedra granítica localizados em zonas de maior risco do território nacional. No entanto, dado o seu tipo de ocupação, em geral menos frequente do que a dos edifícios de habitação e serviços, o problema do radão naqueles edifícios terá menor impacto do que o existente nestes últimos.

3.2 Ventilação

3.2.1 Generalidades

A solução mais eficiente para a redução dos níveis de radão no interior dos edifícios, consiste na utilização de ventilação. Dentro desta medida, existem diferentes níveis de eficácia, dependendo do tipo de ventilação usado.

Os fatores mais importantes para a decisão acerca do tipo de ventilação a adotar são os seguintes:

- Permeabilidade ao radão dos pavimentos em contacto com o terreno e das fundações e do teto dos pisos enterrados (ou semienterrados);
- Tipo de paredes, permeabilidade ao radão e tecnologias construtivas usadas;
- Tipo e quantidade de atravessamentos dos pisos enterrados (ou semienterrados) para os pisos superiores;
- Nível de humidade dos pisos enterrados (ou semienterrados);
- Ventilação dos pisos enterrados (ou semienterrados);
- Existência de sistemas de drenagem na fundação, sob os pavimentos térreos ou nas paredes enterradas.

Salienta-se que o incremento da ventilação aumenta as trocas de calor entre o interior e o exterior. O impacto na conservação de energia do incremento da ventilação pode ser mitigado através do reforço do isolamento térmico entre os pisos enterrados ou semienterrados² e as zonas habitáveis do edifício e da redução da permeabilidade ao ar entre estas zonas.

Para garantir a eficácia e bom desempenho dos sistemas de ventilação, estes devem ser devidamente dimensionados e projetados. Em Portugal, a ventilação natural das habitações deve ser realizada de acordo com a norma portuguesa NP 1037-1 (IPQ, 2015) e a ventilação mecânica de acordo com a NP 1037-2 (IPQ, 2009).

3.2.2 Ventilação natural

3.2.2.1 Generalidades

Torna-se sempre preferível adotar sistemas de ventilação natural do que sistemas de ventilação mecânica, de modo a reduzir os consumos energéticos que estão sempre associados a estes últimos.

Porém, os sistemas de ventilação natural apenas são adequados para níveis de radão até 400-500 Bq/m³ (eventualmente 700 Bq/m³, em certos casos) (Scivyer & Jaggs, 1998), pois as principais ações que promovem a ventilação natural (velocidade do vento e diferença de temperatura entre o interior do espaço e o exterior), ao não proporcionarem velocidades elevadas, não permitem garantir o

² Por simplificação passamos a chamar caves a estes pisos enterrados ou semi-enterrados.

escoamento do ar com o gás radão. Assim, para níveis de radão superiores aos referidos deve-se recorrer a sistemas de ventilação mecânica.

Quando o nível de radão está próximo ou apenas ligeiramente acima do nível de referência (300 Bq/m³, em Portugal), a redução para uma concentração abaixo desse nível máximo pode ser conseguida simplesmente através da limpeza das obstruções das aberturas de ventilação natural já existentes.

Os sistemas de ventilação natural funcionam melhor em climas frios, devido ao facto de ser maior a diferença de temperatura entre o interior e o exterior dos edifícios, potenciando o efeito chaminé.

Complementarmente, o facto de simplesmente se aumentar o nível de ventilação numa cave, ou noutro espaço do edifício, ajuda a secar os elementos construtivos desses espaços (paredes, pavimentos e tetos) que possam estar afetados por problemas de humidade, reduzindo assim a possibilidade do aparecimento ou desenvolvimento de bolores e fungos, nomeadamente dos fungos de podridão da madeira.

O sistema de ventilação natural também pode ser utilizado para ventilar espaços vazios que existam debaixo do pavimento, designadamente desvãos sanitários e caixas de ar, em particular quando o edifício tenha um pavimento pouco permeável a delimitar esses espaços; essa ventilação promove ainda a remoção de humidade desses espaços vazios. Quando a ventilação natural desses espaços é insuficiente e não pode ser melhorada, terá de aí se instalar um sistema de ventilação mecânica.

No entanto, é preciso ter em consideração que, embora o aumento de ventilação num espaço desocupado, ou de ocupação pouco frequente, possa funcionar através do aumento das aberturas de ventilação existentes, ou da criação de novas aberturas, já no caso de um espaço ocupado isso deve ser devidamente acautelado, de modo a ter em conta o conforto dos ocupantes, evitando correntes de ar e variações significativas de temperatura.

A ventilação natural também pode ser adotada em sistemas de despressurização subterrânea. O sistema de exaustão passivo sob o pavimento tem um funcionamento semelhante ao sistema de aspiração ativo, com exceção da aspiração recorrer à ventilação natural para extrair o radão debaixo do pavimento térreo, em vez de se recorrer a um ventilador mecânico, pelo que não é tão eficaz na redução de níveis elevados de radão quanto a exaustão ativa sob o pavimento.

Porém, quando o nível de radão é relativamente baixo (até 400 Bq/m³), vale a pena executar o sistema inicialmente de forma passiva e, caso não se consiga reduzir assim o nível de radão, colocar então um ventilador no sistema de exaustão.

No caso de despressurização passiva deve-se direccionar a conduta de exaustão verticalmente, a partir da câmara subterrânea, até ao nível da cobertura, de forma a incrementar o efeito chaminé (diferença de pressão criada pela diferença de temperatura e efeito do vento).

3.2.2.2 Ventilação natural de caves

Não é fácil instalar sistemas de ventilação natural em caves completamente enterradas, exceto recorrendo a condutas para promover, quer a admissão de ar quer a sua exaustão, ou em certas circunstâncias, fazê-la através das comunicações horizontais interiores.

No caso de caves parcialmente enterradas, a ventilação natural pode ser introduzida por meio de blocos perfurados (por exemplo de terracota, cerâmicos ou de betão), janelas com grelhas de ventilação incorporadas (frequentemente em plástico, Figura 3.1), ou por meio de aberturas de ventilação (criadas nas paredes).

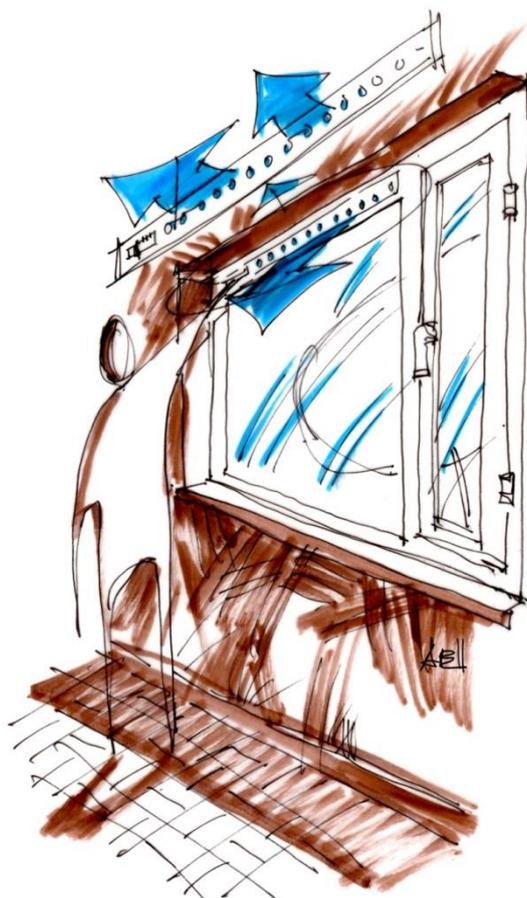


Figura 3.1 – Ilustração de grelha de ventilação regulável manualmente para janelas

No caso de semicaves, pode-se ainda recorrer a aberturas de ventilação permanentes nas janelas, as quais podem ser montadas no vidro (quando este for vidro simples).

Também poderá ser possível fazer a aplicação de aberturas de ventilação nos perfis dos caixilhos; todavia, é necessário que se assegure que estas aberturas não alterem o equilíbrio de pressões no interior do caixilho, de forma a continuar assegurada a sua estanquidade à água. Se estas aberturas de ventilação são de regulação manual, elas devem ser mantidas permanentemente abertas, para permitir reduzir o nível de radão. As aberturas de ventilação não precisam de ser muito significativas,

sendo suficiente terem entre 40 e 80 cm² de área livre por janela, ficando melhor localizadas se forem instaladas na parte superior do caixilho (Scivyer & Jaggs, 1998).

Para níveis de radão superiores ao nível de referência, até cerca de 500 Bq/m³, ou quando não existam aberturas de ventilação suficientes, a instalação de aberturas de ventilação adicionais através das paredes exteriores, logo abaixo do pavimento, pode ser outra forma de reduzir os níveis de radão para valores aceitáveis.

As aberturas de ventilação devem estar instaladas pelo menos cerca de 0,15 m acima do nível do terreno, podendo, para isso, ser necessário usar tubos ou aberturas de ventilação periscópicos. Em qualquer dos casos, deve-se usar o menor número possível de mudanças de direção das tubagens, para limitar as perdas de carga. As aberturas de ventilação que atravessam as paredes duplas devem ser protegidas por mangas, em particular quando essas paredes possuem isolamento térmico na caixa de ar. A abertura de roços para passagem destes sistemas, e respetivos trabalhos de instalação, devem ser preferencialmente executados pelo exterior da edificação, de modo a limitar o mais possível a atividade na cave.

Os ventiladores de plástico com lâminas orientáveis são preferíveis aos blocos de argila/terracota perfurados, pois conferem geralmente maior área livre e, conseqüentemente, serão necessários menos dispositivos para alcançar o mesmo grau de ventilação.

No Anexo I apresentam-se soluções detalhadas para aumentar a ventilação natural dos espaços subterrâneos (caixas de ar), por baixo do pavimento térreo.

3.2.2.3 *Ventilação natural de arrecadações*

As arrecadações não enterradas, ou parcialmente enterradas, para uso de residentes, quando situadas no exterior da habitação, devem também ser ventiladas de forma a reduzir o nível de radão no seu interior, permitindo assim um ambiente adequado aquando da permanência dos residentes nesses espaços, ainda que temporária.

Quando as arrecadações não dispõem dos meios adequados de ventilação natural ou mecânica, estes têm de ser implementados. Para assegurar a eficácia de um sistema de ventilação natural em arrecadações (de resto, também em qualquer outro espaço), deve ter-se em consideração os requisitos seguidamente indicados (Viegas, 2005):

- A ventilação natural deve ser realizada por aberturas praticadas em fachadas de orientação diferente, tirando partido das diferenças de pressão geradas pelo vento, ou por condutas, quando não for possível realizar essas aberturas diretamente para o exterior;
- O posicionamento destas aberturas e das condutas deve ter em conta a direção do vento predominante para o local da construção, sendo praticadas de preferência nas paredes das fachadas de barlavento e de sotavento;
- Em casos especiais, devidamente justificados, pode ser aceitável a combinação de aberturas de admissão de ar praticadas em paredes de fachada e aberturas de exaustão nas coberturas, tirando partido da depressão que pode aí ser gerada pelo vento;

- A compartimentação interior que delimita as arrecadações não deve inibir o seu arejamento. Assim, devem ser praticadas aberturas de admissão e de saída de ar das arrecadações de posicionamento coerente com a circulação de ar por ação do vento prevista para os compartimentos desse espaço;
- As comunicações horizontais que conduzem às arrecadações devem cumprir as disposições de ventilação natural em zonas de comunicações interiores (secção 3.2.2.4).

Admite-se que, por cada espaço de arrecadação servido, é necessário considerar a área útil de 20 cm² para admissão de ar. A área útil total da secção das aberturas permanentes na fachada em comunicação direta com a mesma arrecadação não deve, contudo, exceder 200 cm², mesmo quando servirem para ventilação de mais do que dez arrecadações (Viegas, 2005).

No caso das arrecadações localizadas no interior do edifício, a entrada de ar exterior através das arrecadações não poderá prejudicar a ventilação e a desenfumagem da caixa de escada, e, como poderá vir a ocorrer a obstrução inadvertida das aberturas de ventilação das arrecadações pelos utentes, a sua secção não deve ser contabilizada para efeitos de ventilação da caixa de escada do edifício (Viegas, 2005).

Embora a utilização de aberturas de ventilação na cobertura possa por vezes vir a mostrar-se vantajosa, em diversas situações poderá ter eficácia duvidosa, em especial quando as depressões geradas pelo vento na cobertura se associarem também a depressões geradas na fachada onde estão praticadas as aberturas. Assim, a utilização de aberturas de ventilação posicionadas na cobertura é sempre especial e, como tal, deve ser devidamente justificada (Viegas, 2005).

Nesse caso as aberturas praticadas na cobertura serão sempre de exaustão e haverá, portanto, necessidade de prever aberturas nas fachadas ou condutas para admissão de ar. Se a cobertura for constituída por duas vertentes, cada uma delas fazendo um ângulo igual ou superior a 30° com a horizontal, pode ser aceitável o posicionamento das aberturas de admissão e de exaustão exclusivamente na cobertura desde que colocadas em vertentes opostas e que a aresta formada pela intersecção das vertentes da cobertura não tenha a orientação do vento predominante (Viegas, 2005).

3.2.2.4 *Ventilação natural em zonas de comunicações interiores*

Os meios de ventilação natural das comunicações interiores devem ser compatíveis com a sua desenfumagem passiva em caso de incêndio e dependem da altura de referência do edifício.

Para assegurar os meios necessários e garantir a eficácia de sistemas de ventilação natural que permitam uma adequada ventilação e a redução do nível de radão em zonas de comunicação interiores, deve ter-se em consideração os requisitos seguidamente indicados (Viegas, 2005):

- Para edifícios com altura de referência inferior ou igual a 9 m (4 pisos) e sempre que não existam portas de separação entre as comunicações horizontais interiores e as escadas, a ventilação pode ser conjunta, abrangendo quer as comunicações horizontais quer as escadas, devendo existir aberturas de admissão de ar exterior nos extremos das comunicações

horizontais mais afastados das escadas e de aberturas permanentes no topo da caixa de escada;

- Para os edifícios com altura de referência entre 9 m e 28 m (entre 4 e 10 pisos), cujas comunicações horizontais interiores têm de ser separadas das escadas interiores por porta de fecho automático, ou para os edifícios até 4 pisos dotados deste tipo de comunicação interior, a ventilação deve ser separada para cada um destes espaços. Nestes casos, a ventilação natural das comunicações horizontais interiores pode ser realizada, quer por tiragem térmica ao longo de condutas coletivas com ramais da altura de um piso — umas de admissão de ar exterior, com entrada de ar situada ao nível da base do edifício, e outras de exaustão com rejeição por abertura situada ao nível da cobertura — quer por arejamento, através de aberturas permanentes, o que também permite reduzir os níveis de radão nesses espaços;
- A ventilação natural das escadas interiores pode ser realizada por arejamento, através de aberturas permanentes praticadas em cada piso, ou tiragem térmica, através de aberturas permanentes situadas na base e no topo da caixa de escada.
- Considera-se que os meios passivos de desenfumagem previstos na regulamentação relativa à segurança contra incêndio são adequados para a limitação da concentração de radão, desde que as aberturas sejam permanentes. No caso das vias de evacuação verticais, para este efeito, admite-se que a área prevista nessa regulamentação para as aberturas de ventilação possa ser reduzida a metade.

3.2.2.5 *Ventilação natural em parques de estacionamento fechados*

Os parques de estacionamento fechados são locais de considerável risco para os utentes devido aos gases tóxicos produzidos pelos motores térmicos dos veículos (monóxido de carbono e óxidos de azoto, em especial), pelo que o arejamento desses locais é essencial para evitar que as concentrações de gases tóxicos atinjam valores que possam pôr em risco a saúde das pessoas, ainda que seja temporária a sua permanência nesses locais (Viegas, 2005).

Nesta circunstância, os meios de ventilação natural instalados em parques de estacionamento não enterrados (por exemplo, construídos ao nível térreo), desde que sejam compatíveis com os sistemas de controlo de fumo em caso de incêndio, também poderão ser utilizados para promover a redução do nível de radão quando este não exceder os 300 Bq/m³.

No entanto, convém salientar que, como os ganhos térmicos nos parques de estacionamento fechados são em geral limitados, a ventilação natural tirará partido sobretudo da diferença de pressão gerada pelo vento em fachadas opostas, o que só é possível quando a geometria das construções nas imediações do estacionamento fechado não impuser restrições ao escoamento do ar, determinando uma redução da ação do vento nas aberturas de ventilação do estacionamento, ou quando o posicionamento das aberturas não permita a existência de zonas de estagnação, quer ao nível do pavimento quer em setores do estacionamento (por exemplo junto dos cantos).

Assim, tendo em conta a grande dificuldade em incrementar os caudais de ar nos sistemas de ventilação passivos, o recurso à ventilação natural para arejamento de parques de estacionamento

fechados, sejam individuais, sejam coletivos, está sujeito a fortes restrições e é frequente recorrer-se preferencialmente a sistemas de ventilação mecânica.

3.2.2.6 *Recomendações relativas à ventilação natural*

Em qualquer caso, é importante garantir que, quando se aumenta a ventilação natural nas caves, esta venha do exterior do edifício e não dos espaços interiores existentes nos pisos superiores. Além disso, quaisquer alterações que sejam introduzidas no sistema de ventilação natural devem ser permanentes e não suscetíveis de variação com o utilizador (como por exemplo a abertura esporádica de janelas, as quais não se podem manter sempre abertas por razões de segurança e de variação de temperatura ambiente dos espaços interiores).

Para garantir o bom funcionamento de ventilação natural em caves, também é necessário ter em consideração as características do teto das caves (como referido em 3.4.4), bem como as portas de acesso e as aberturas em espaços vazios por baixo do pavimento da cave.

A situação ideal corresponde a ter aberturas em pelo menos duas paredes exteriores diferentes e terem secção suficientemente elevada para permitir uma abertura real de pelo menos 15 cm² por cada metro de parede, o que pode ser difícil de alcançar quando o teto da cave está abaixo da superfície do terreno. Nesse caso, poderá apenas ser possível criar aberturas de ventilação ao longo de uma das fachadas do edifício, tratando-se, portanto, neste caso de caves semienterradas (Scivyer & Jaggs, 1998).

Quando o sistema de ventilação natural for insuficiente para reduzir o nível de radão para valores aceitáveis, pode ser necessário instalar um ventilador mecânico numa das aberturas de ventilação já existentes, ou a criar, pelo que é importante garantir que pelo menos uma das aberturas de ventilação esteja localizada de forma a permitir a instalação desse ventilador, caso se venha a manifestar necessário.

Deve evitar-se deixar os orifícios de ventilação abertos através das paredes. Assim, as aberturas de ventilação devem ser dotadas de algum tipo de proteção contra vermes ou outros animais ou insetos.

Qualquer aproveitamento do ar existente numa cave para ventilação de espaços habitáveis ou utilizáveis com frequência, deve ser desativado

A ventilação a adotar em caso de incêndio nos caminhos de evacuação em edifícios de habitação está coberta pelo Regulamento de Segurança Contra Incêndio em Edifícios de Habitação (Decreto-Lei n.º 224/2015), sendo, portanto, necessário compatibilizar os meios de ventilação em situação corrente com os meios de desenfumagem. Neste sentido, as presentes recomendações preconizam a utilização das mesmas soluções previstas no referido regulamento, impondo a existência de aberturas permanentes de forma a que as ações do vento e da tiragem térmica possam promover o arejamento desses locais de forma contínua (Viegas, 2005), promovendo também a remoção do radão.

No Anexo I apresentam-se recomendações adicionais detalhadas para sistemas de ventilação natural em caixas de ar.

3.2.3 Ventilação mecânica

3.2.3.1 *Generalidades*

As técnicas de ventilação mecânica para efeitos de aspiração do gás radão em espaços subterrâneos podem agrupar-se teoricamente em dois conjuntos: (i) num caso, o ar é extraído de um espaço enterrado (cave, caixa de ar ou espaço abaixo do piso térreo), gerando (devido às perdas de carga na admissão de ar) uma pressão mais baixa do que a existente nos pisos superiores, e, (ii) no outro, é feita a insuflação mecânica de ar no espaço enterrado, gerando (devido às perdas de carga na exaustão do ar) uma pressão mais elevada aí do que nos terrenos circundantes. Sabendo-se que os gases escoam das pressões mais elevadas para as pressões mais baixas, o primeiro método destina-se a extrair (e expelir para o exterior) o radão existente no solo e a impedi-lo de ser admitido no edifício; no segundo caso, pretende-se criar um espaço para o qual o radão não possa escoar, protegendo assim os restantes espaços utilizáveis, nos pisos superiores.

Tanto a ventilação de aspiração quanto a de insuflação podem ser usadas com êxito para a redução do teor de radão, e o funcionamento do ventilador utilizado pode ser invertido caso o método adotado não se tenha mostrado suficientemente eficaz.

Convém destacar que a ventilação mecânica, não associada a técnicas de despressurização subterrânea, é uma medida de eficácia limitada, sendo apenas adequada para reduzir os níveis de radão não superiores a 850 Bq/m³, em caves, e até 500 Bq/m³ nos pisos superiores (Scivyer & Jaggs, 1998).

No Anexo II apresentam-se soluções detalhadas para aumentar a ventilação dos espaços subterrâneos (caixas de ar), usando sistemas específicos de ventilação mecânica.

3.2.3.2 *Ventilação em caves e arrecadações enterradas*

No caso de caves e arrecadações enterradas, em que a ventilação natural não é suficiente para reduzir o teor de radão no seu interior para níveis aceitáveis, é necessário aumentar o caudal de ar a admitir com um ventilador, o que permite também reduzir o teor de humidade nesses espaços.

Porém, interessa também fazer a distinção entre o caso em que o espaço sobre o pavimento da cave é geralmente pouco frequentado (por exemplo, uma adega ou arrecadação), do caso em que este é um espaço com ocupação frequente (por exemplo, parte da habitação ou local de trabalho regular).

No primeiro caso, o sistema mecânico de ventilação pode funcionar com ou sem alimentação de ar fresco para o interior da cave. Quando há alimentação de ar fresco cria-se um sistema de ventilação cruzada, com diluição do radão. Quando não há alimentação de ar fresco, a cave funciona como um grande depósito (do tipo “sistema de despressurização subterrâneo”) de radão por debaixo do piso utilizável, o que só é admissível se a cave for raramente visitada e, nesses casos, durante períodos de tempo muito curtos. Neste caso, a exaustão depende inteiramente da permeabilidade ao ar da envolvente desse espaço, pelo que não terá condições de eficácia se não existir um sistema de

exaustão por aspiração e se essa envolvente for pouco permeável ao ar (vd. recomendações indicadas na secção 3.3.3).

No segundo caso tem de haver alguma ventilação com alimentação de ar fresco, mas esta deve ser realizada de forma controlada ou com recurso a ventilação com recuperação de calor, de forma a não alterar a temperatura interna e tornar-se desconfortável para os ocupantes.

O caudal mínimo a considerar deverá corresponder a $3 \text{ m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$.

3.2.3.3 *Ventilação por despressurização abaixo do piso térreo*

Os métodos de ventilação mecânica por aspiração de radão do solo, abaixo do pavimento térreo, são normalmente os mais eficazes para reduzir o nível de radão, podendo-se, para esse efeito, criar sistemas de despressurização subterrâneos (consultar a secção 3.2.5) ou aproveitar-se alguns sistemas de drenagem de águas pluviais, instalados abaixo do nível do solo, visando reduzir a entrada de água e o nível de humidade nos edifícios (secção 3.2.5.3), para extrair também radão.

Para o efeito, podem adaptar-se as condutas de drenagem e do depósito de recolha de água da chuva para fazer a aspiração simultânea de radão existente no solo, mantendo a capacidade de drenagem. É claro que o sistema só será relativamente eficiente se as condutas de drenagem não funcionarem em secção cheia, o que dificilmente acontece quando as tubagens são perfuradas na secção inferior³. As tubagens não perfuradas são mais suscetíveis de funcionarem em secção cheia em caso de pluviosidade intensa; de qualquer modo, fora dos períodos de chuva, o caudal de água que eventualmente escoar nas condutas será muito reduzido. O ventilador é então montado em conduta de ventilação passando através da tampa do depósito de recolha de água que já exista, ou em alternativa, através de paredes enterradas perfuradas (consultar a alínea e) da secção 3.2.5.3).

3.2.3.4 *Ventilação mecânica em zonas de comunicação interiores*

Como a ventilação das comunicações interiores deve ser compatível com a sua desenfumagem em caso de incêndio (Viegas, 2005), a ventilação em situação corrente pode ser efetuada recorrendo aos mesmos meios mecânicos; todavia com caudais mais reduzidos.

O recurso a sistemas de ventilação conjunta, ou separada, depende da altura de referência do edifício, conforme referido na secção 3.2.2.4.

Para edifícios com altura de referência inferior ou igual a 9 m (4 pisos), sempre que não existam portas de separação entre as comunicações horizontais interiores e as escadas, a ventilação pode ser conjunta abrangendo tanto as comunicações horizontais como as escadas.

³ As tubagens perfuradas são revestidas com sistema de proteção de entrada de sujidade, mas mantendo as características de permeabilidade à água.

Para os edifícios com altura de referência entre 9 m e 28 m (entre 4 e 10 pisos), as comunicações horizontais interiores têm de ser separadas das escadas interiores por porta de fecho automático, pelo que a ventilação destes espaços não pode ser realizada de forma conjunta.

Os edifícios com altura de referência compreendida entre 28 m e 60 m devem ter a ligação entre as escadas interiores e as comunicações horizontais interiores obrigatoriamente protegida por uma câmara corta-fogo. Nesse caso, as escadas interiores, por força das exigências de segurança contra incêndio (no caso de edifícios posteriores a 1991) estão protegidas por sistemas de pressurização. Estes sistemas podem ser utilizados, com vantagem, para evitar o escoamento do radão para os pisos superiores através das escadas interiores. Para esse efeito, podem ser utilizadas pressões substancialmente mais baixas do que as exigidas para efeitos de proteção em caso de incêndio, sem, contudo, serem inferiores a 5 Pa. As comunicações horizontais interiores, neste enquadramento, são correntemente desenfumadas com recurso a sistemas ativos. Também neste caso, quando em contacto com o solo, esses meios mecânicos podem ser utilizados para ventilar essas comunicações, embora utilizando caudais substancialmente mais reduzidos. O caudal mínimo a considerar deverá corresponder a $3 \text{ m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$.

3.2.3.5 *Ventilação mecânica em parques de estacionamento fechados*

Recorre-se a sistemas de ventilação mecânica em parques de estacionamento fechados, total ou parcialmente enterrados, bem como nos parques de estacionamento fechados construídos ao nível térreo, sempre que haja dúvidas quanto à eficácia da ventilação por meios exclusivamente passivos para evitar que as concentrações de gases de combustão e/ou de radão atinjam valores que possam pôr em risco a saúde das pessoas.

Os meios de ventilação para assegurar a salubridade do espaço e a segurança contra incêndio correntemente instalados poderão ser também utilizados para promover a redução da concentração de radão. Nesses casos, devem ser cumpridas as respetivas exigências regulamentares⁴ mas, para além disso, os equipamentos devem ser dotados da possibilidade de funcionarem em permanência com caudais reduzidos, compatíveis com as necessidades de aspiração do radão, recomendando-se que os ventiladores sejam dotados de um variador eletrónico de velocidade que permita o ajustamento do caudal permanente de ventilação mediante os resultados da medição do teor de radão. O caudal mínimo a considerar deverá corresponder a $3 \text{ m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$.

Porém, como existe o risco dos equipamentos de ventilação e de controlo de fumo serem desproporcionadamente grandes para efeitos da ventilação para redução do teor de radão, pode-se optar por instalar um sistema de ventilação dedicado para aspiração do radão. Neste caso, deve assegurar-se que o seu funcionamento não interfere desfavoravelmente com o funcionamento do sistema de ventilação e de controlo de fumo exigido regulamentarmente. Na maioria dos casos bastará

⁴ No momento da preparação deste documento, as exigências regulamentares relativas a ventilação por meios ativos, estão expressas no Art.º 183.º do Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (Portaria nº 135/2020).

assegurar que o sistema permanente de aspiração de radão seja desligado quando é detetado incêndio ou excesso de poluição devida a produtos da combustão provenientes dos veículos automóveis.

3.2.3.6 *Recomendações relativas à ventilação mecânica*

A insuflação do ar para uma cave e a sua exaustão para o exterior, para efeitos da redução dos níveis de radão nessa cave, pode fazer-se através de uma conduta de secção apropriada (por exemplo em policloreto de vinilo não plastificado (PVC-U) com 110 mm de diâmetro), ligada a um ventilador, que atravesse a parede enterrada da cave. O espaço entre a parede e a conduta deve ser completamente selado na abertura de atravessamento da parede.

Quando o teto da cave está acima do solo, a saída de exaustão (ou a admissão para um ventilador de insuflação) também pode estar próximo da superfície do terreno (afastada desta no mínimo de 150 mm), garantindo que a água da chuva não se possa infiltrar no sistema e que as aberturas exteriores estejam providas de uma rede, ou solução semelhante, para impedir a entrada de animais.

O ventilador pode estar colocado no interior da cave e a conduta de insuflação (em caves ocupadas) ou de exaustão (em caves não ocupadas) atravessar a parede, colocada no lado exterior (Figura 3.2) ou no lado interior da cave (Figura 3.3), conforme se considerar mais vantajoso e exequível. Embora por razões estéticas, seja preferível instalar o ventilador no interior, quando isso não é possível, o ventilador pode ser instalado no exterior, desde que se assegure uma proteção adequada aos agentes atmosféricos (Figura 3.4).

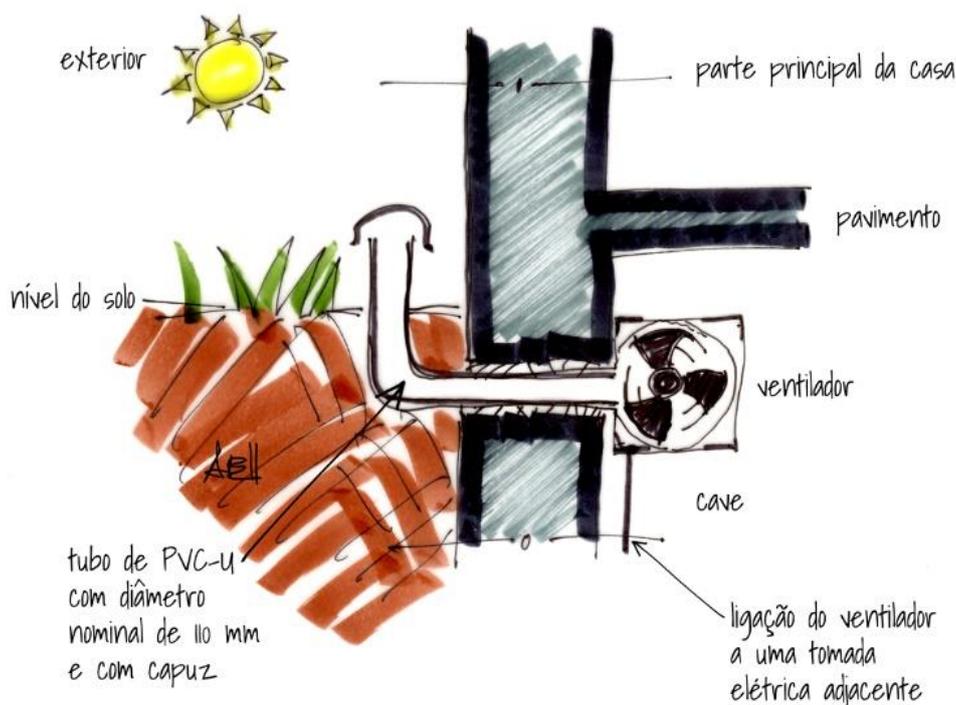


Figura 3.2 – Ventilador mecânico colocado no interior da cave, com conduta de exaustão a atravessar a parede, instalada no exterior

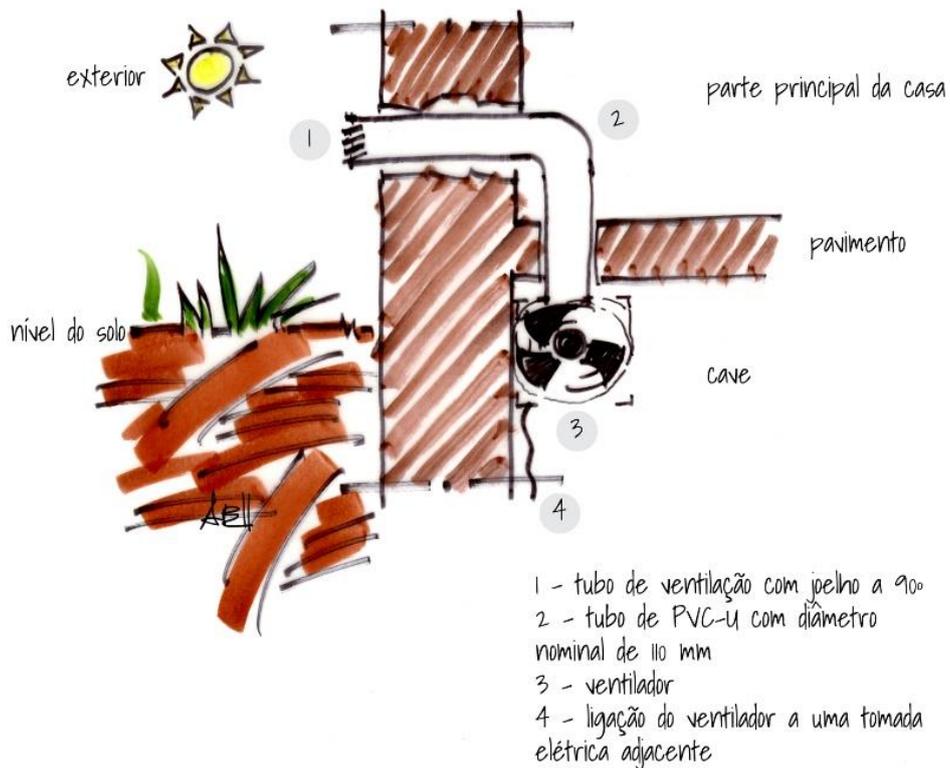


Figura 3.3 – Ventilador mecânico colocado no interior da cave, com conduta de exaustão a atravessar a parede, instalada no interior

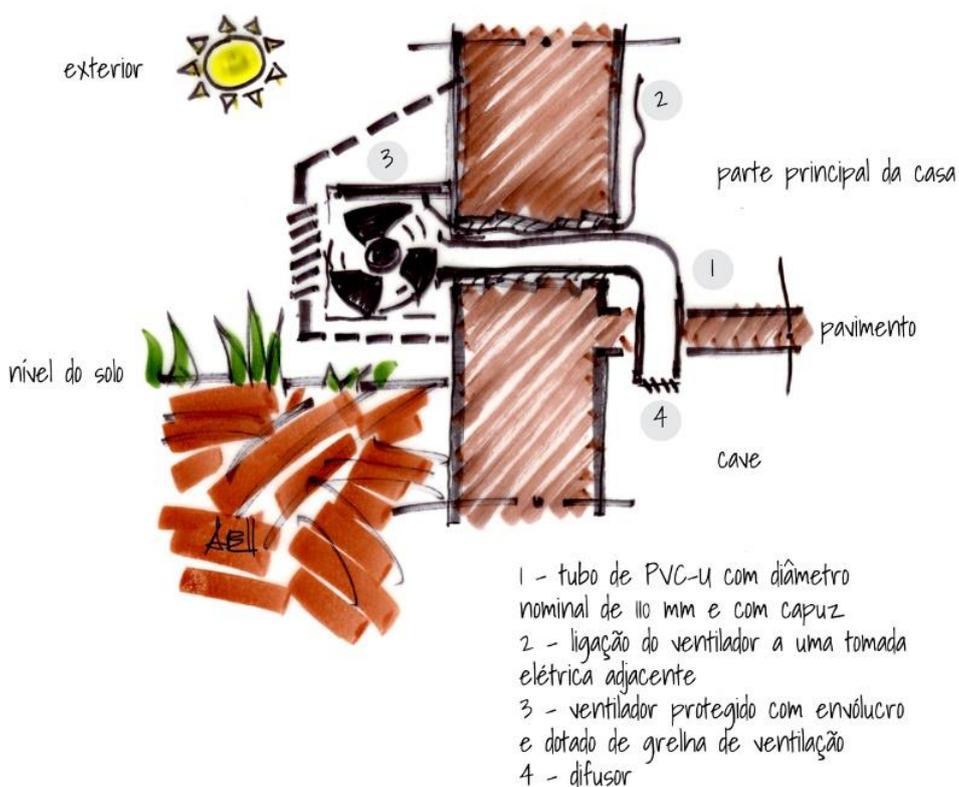


Figura 3.4 – Ventilador mecânico protegido, colocado no exterior

Quando o ventilador é colocado no interior, deve evitar-se a sua colocação sob os espaços frequentemente ocupados e mais sensíveis ao ruído (salas de estar e quartos, no caso de edifícios de habitação). Em alternativa, pode-se equipar o ventilador com um silenciador.

Apresentam-se no Anexo II, com detalhe, recomendações adicionais para sistemas de ventilação mecânica sob o pavimento térreo (caixas de ar).

3.2.4 Pressurização positiva

3.2.4.1 *Generalidades*

Como a pressão atmosférica no interior do edifício é geralmente inferior à pressão no terreno, devido à diferença de pressão resultante de diferenças de temperatura entre o edifício (mais quente) e o terreno (mais frio), a pressurização positiva do interior do edifício pretende reduzir ligeiramente a diferença de pressão entre o interior do edifício e o terreno subjacente. Este ligeiro aumento da pressão do ar pode ser suficiente para dificultar a passagem do radão para os pisos térreo e superiores.

Porém, a implementação de um sistema de ventilação interior, por pressurização positiva de toda a fração autónoma de um edifício, é eficaz apenas para níveis moderados de radão, até cerca de 750 Bq/m³. Além disso, em certas situações, o nível de radão na cave (não utilizada com frequência) pode permanecer elevado (Scivyer & Jaggs, 1998) e, nesses casos, pode ser necessário selar a cave e/ou implementar aí um outro tipo de sistema alternativo, separado do instalado na parte ocupada do edifício, para aumentar a eficiência na redução de radão na cave.

Também no caso de blocos de apartamentos (edifícios de habitação), pode ser preferível instalar um sistema comum de remoção do radão que possa ser usado como solução única para todas as habitações, sendo, nessa situação, mais apropriado instalar um sistema de despressurização do solo sob a laje térrea (secção 3.2.5 e Anexo IV).

3.2.4.2 *Sistemas de pressurização*

Os sistemas de pressurização são simples de instalar e têm a vantagem de causar pouca perturbação no espaço interior do edifício, mas funcionam melhor em frações (como as habitações) cuja envolvente tenha uma permeabilidade ao ar relativamente baixa, situação que nem sempre é fácil de assegurar em edifícios antigos.

Na maioria dos casos de edifícios de habitação unifamiliar, a instalação requer apenas que se faça uma abertura no teto de um corredor, ou noutro local de circulação, para passagem de uma conduta, sendo o resto da instalação realizada no desvão da cobertura.

Assim, o sistema de pressurização envolvendo toda a habitação só deve ser aplicado em edifícios unifamiliares, para evitar a possibilidade de haver escoamento do ar poluído do interior da habitação para outros espaços adjacentes, nomeadamente para acessos comuns de edifícios multifamiliares ou mesmo para as outras frações habitacionais no mesmo andar do edifício. Este sistema deve ser conjugado com o sistema de ventilação da habitação, de modo a ser garantido o escoamento dos

caudais previstos para a ventilação. Não existe em Portugal normalização aplicável à pressurização de edifícios. No entanto, para edifícios de habitação poderá ser usada como referência a norma NP 1037-2, considerando a insuflação de ar por meios mecânicos nos compartimentos principais (quartos e salas) e a exaustão por meios naturais nos compartimentos de serviço (cozinhas e casas de banho), de modo a não ser alterado o escoamento recomendado das zonas menos poluídas da habitação (compartimentos principais) para as mais poluídas (compartimentos de serviço). Deve ser assegurado que esta estratégia de ventilação da habitação por pressurização não altera o funcionamento previsto para os aparelhos a gás do tipo B; na dúvida, recomenda-se que estes aparelhos sejam substituídos por aparelhos do tipo C.

Para ser minimizado o desconforto devido à insuflação de ar à temperatura exterior, tal como para qualquer sistema de ventilação, deve ser tida em conta a necessidade de climatização. Se for utilizado um permutador de calor entre a admissão de ar novo e a exaustão do ar, será necessário prever a implementação de sistemas de duplo fluxo (com ventilador mecânico, quer na insuflação quer na exaustão); nesse caso, o caudal de exaustão deverá ser inferior ao de insuflação, de modo a assegurar a pressurização da habitação. Face aos requisitos técnicos de compatibilização com a ventilação da habitação, o sistema de pressurização, embora possível de implementar, corresponde a uma tecnologia de utilização menos frequente, pelo que não se recomenda.

No Anexo III apresentam-se soluções detalhadas e recomendações para aumentar a ventilação mediante sistemas de pressurização positiva em edifícios.

3.2.5 Despressurização do terreno

3.2.5.1 *Generalidades*

A solução considerada como mais eficaz para remover o radão do terreno e impedir que este exale para os espaços utilizáveis é através da instalação de uma câmara subterrânea simples ou de múltiplas câmaras (às quais se ligam os vários tubos do sistema de aspiração), equipadas com ventilador mecânico.

Este tipo de sistemas é adequado para edifícios com níveis de radão até 2.000 Bq/m³, ou superiores, desde que os pavimentos sejam de boa qualidade e pouco permeáveis (Scivyer & Jaggs, 1998). Para que o sistema de despressurização subterrânea funcione efetivamente, será necessário usar um material de enchimento permeável sob a laje (Scivyer & Jaggs, 1998).

Este sistema tem a vantagem de não alterar as condições ambientais das caves ou pisos térreos, ou mesmo dos pisos superiores do edifício, mas requer cuidados especiais se, no interior de caves, for usada uma caldeira, ou um aparelho de combustão do tipo B (ver 3.3.3).

3.2.5.2 *Breve descrição dos sistemas*

Para construir um minissistema de despressurização subterrâneo, pode-se fazer uma abertura no pavimento, em geral de betão, com cerca de 130 mm de diâmetro, e escavar o terreno criando uma câmara por baixo desse pavimento; a esta câmara liga-se um ou mais tubos de exaustão, em geral de

PVC-U (normalmente com cerca de 110 mm de diâmetro), devendo a junta do contorno desses tubos no atravessamento desse pavimento ficar suficientemente bem vedada (Figura 3.5). Liga-se então um ventilador a esses tubos de exaustão, o qual pode ficar no interior da edificação (em espaços normalmente desocupados) ou no exterior, resguardado ou não; o objetivo deste ventilador é naturalmente despressurizar o terreno (pressão inferior à atmosférica). Este minissistema de despressurização pode ser adaptado para se adequar à maioria das edificações e tipos de construção (Figura 3.5 a Figura 3.9).

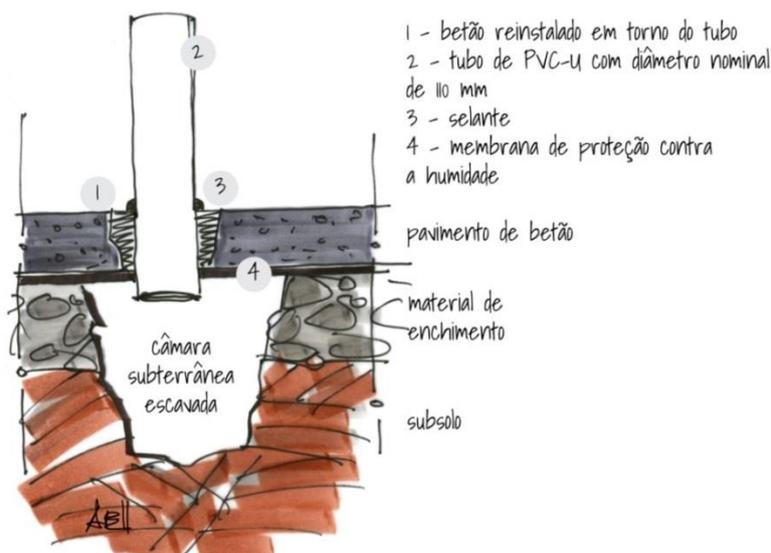


Figura 3.5 – Exemplo de sistema de despressurização do solo

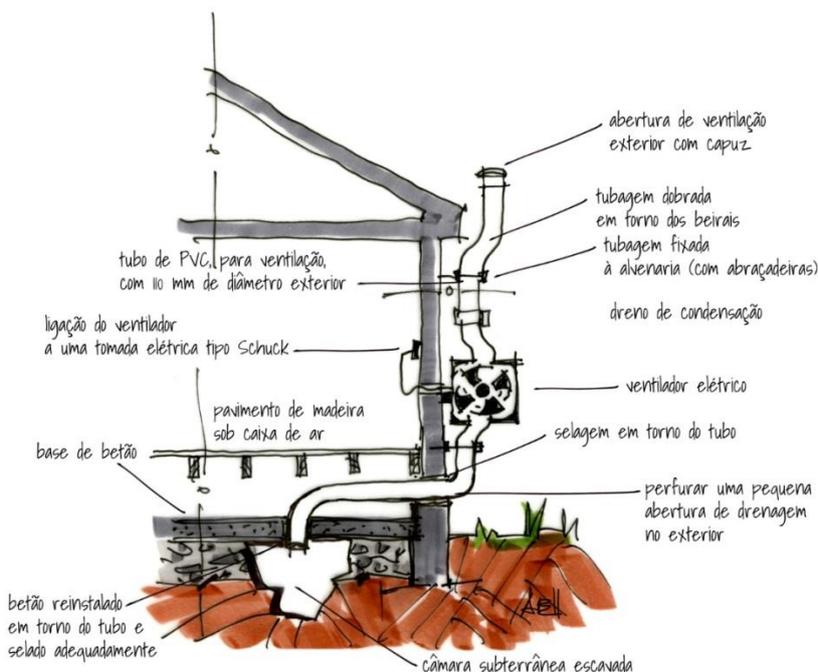


Figura 3.6 – Exemplo de sistema de despressurização do terreno debaixo da laje térrea, com condutas e ventilador localizados no exterior

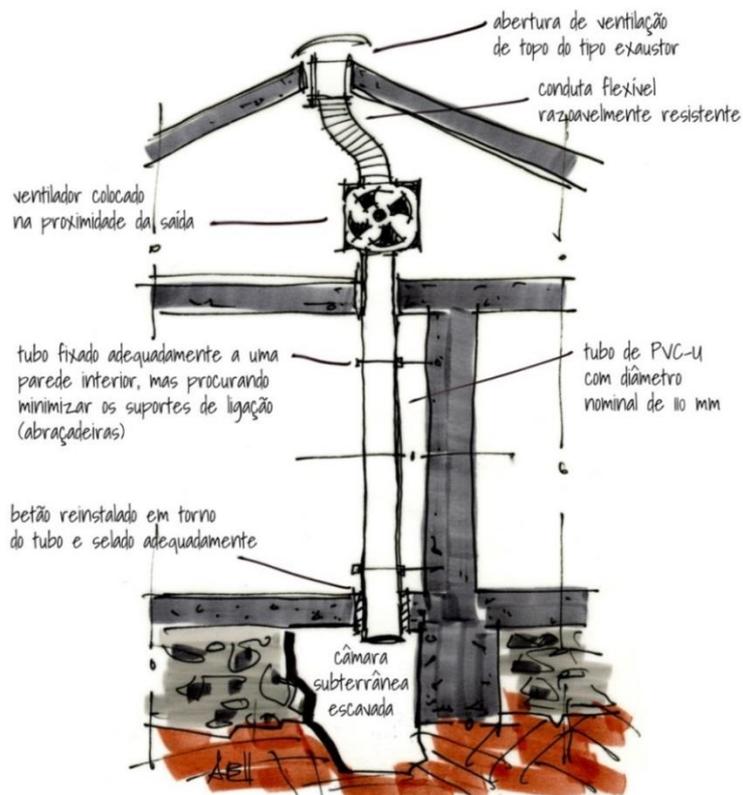


Figura 3.7 – Exemplo de sistema de despressurização do terreno debaixo da laje térrea, com ventilador localizado no interior do edifício (em espaços habitualmente desocupados)

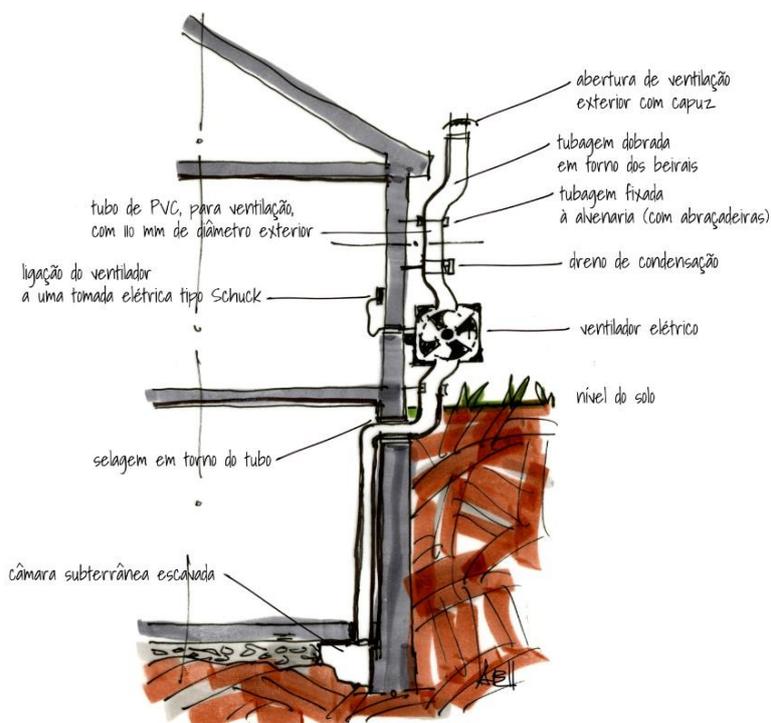


Figura 3.8 – Exemplo de sistema de despressurização do terreno debaixo da laje térrea, instalado numa cave, com condutas e ventilador localizados no exterior

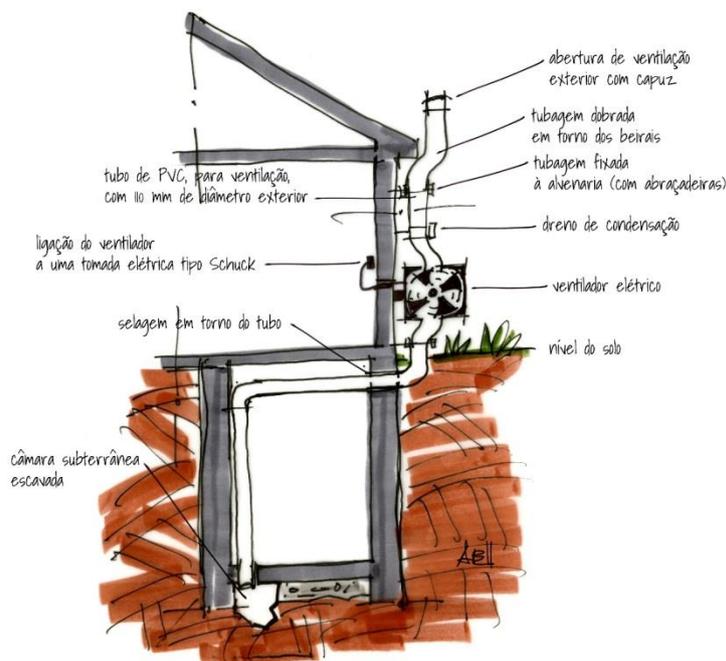


Figura 3.9 – Exemplo de sistema de câmara subterrânea instalada sob o pavimento de uma cave, com condutas e ventilador localizados no exterior

As condutas de exaustão podem ser inseridas atravessando diversos elementos construtivos, como pavimentos e paredes, pelo interior ou pelo exterior do edifício. Embora o número e a localização das condutas de exaustão necessárias dependam da facilidade com que o ar pode escoar no solo sob a laje e do nível da fonte de radão, é frequente conseguirem-se soluções satisfatórias para a captura do radão com a instalação de um único ponto de exaustão.

As localizações mais comuns para a colocação dos ventiladores são os espaços não condicionados do interior do edifício ou suas frações, como as garagens ou os sótãos, ou no exterior do edifício; note-se que deve ser considerada a possibilidade de os ventiladores gerarem ruídos incómodos para os espaços utilizados do edifício.

Existem dois tipos de sistemas de exaustão, o sistema passivo e o sistema ativo. O sistema de exaustão passivo sob o pavimento tem um funcionamento semelhante ao sistema de aspiração ativo, com exceção da aspiração recorrer à ventilação natural para extrair o radão debaixo do pavimento térreo, em vez de se recorrer a um ventilador mecânico. A exaustão passiva é geralmente associada a sistemas de proteção contra o radão instalados em edifícios unifamiliares (de habitação, portanto) recém-construídos, ou ainda em fase de construção. Porém, a exaustão passiva não é tão eficaz na redução de níveis elevados de radão quanto a exaustão ativa sob o pavimento.

Salvo situações específicas (ver casos especiais no Anexo IV), o sistema de depressurização do terreno sob o pavimento tem melhor desempenho que os restantes já referidos, o que conduz à seleção

desta opção, mesmo quando se tenha de substituir o pavimento da cave ou do piso térreo por outro menos permeável.

No Anexo IV apresentam-se soluções detalhadas para instalação de sistemas de despressurização do terreno sob pavimentos térreos.

3.2.5.3 Casos particulares de sistemas de despressurização do terreno debaixo da laje térrea

a) Colocação da câmara numa parede

Uma alternativa a instalar uma câmara subterrânea de um sistema de despressurização abaixo do pavimento de uma cave ou de um pavimento térreo, consiste em localizar essa câmara junto a uma parede enterrada (Scivyer & Jaggs, 1998). O método de construção da câmara é semelhante ao referido anteriormente (Figura 3.10).

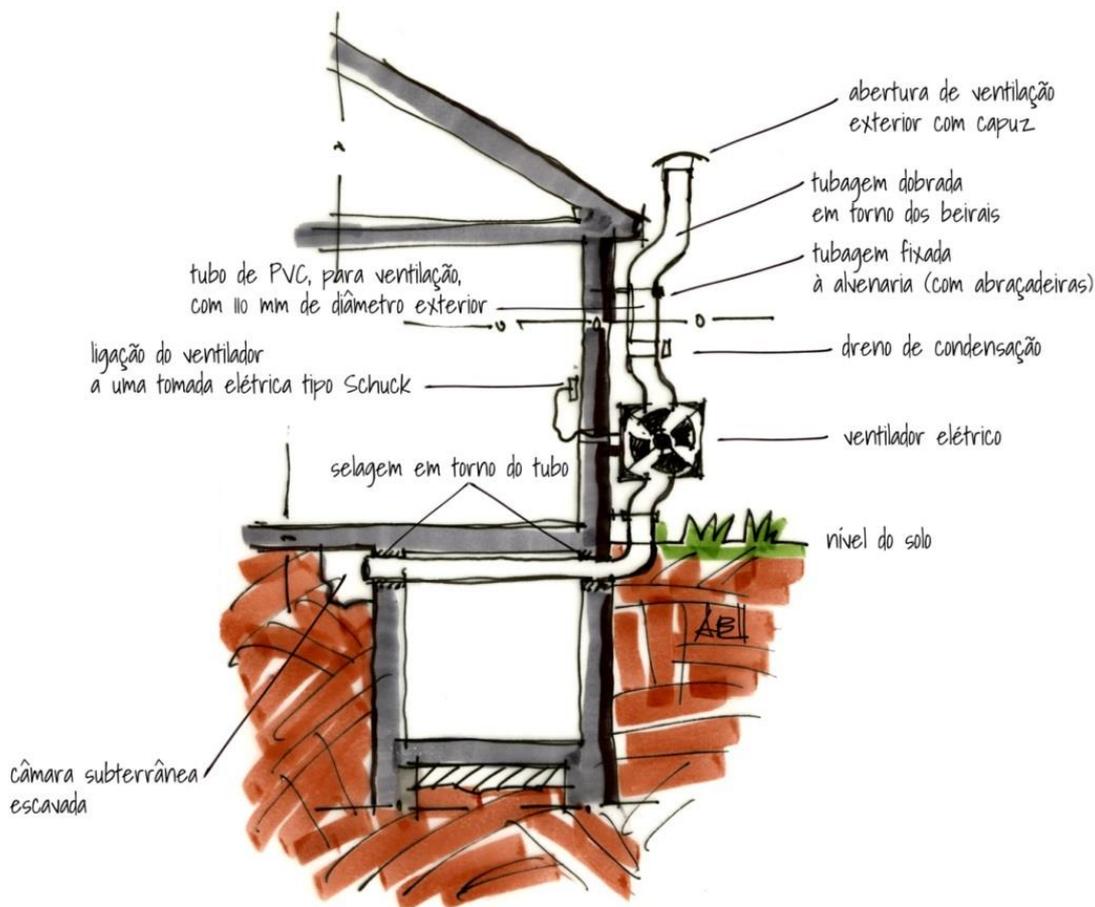


Figura 3.10 – Exemplo de sistema de câmara subterrânea junto a uma parede, com conduta e ventilador localizados no exterior

b) Abertura da câmara pelo lado exterior

Quando for impraticável construir essa câmara subterrânea pelo interior do edifício, esta pode ser escavada e construída do lado de fora do edifício, fazendo uma abertura na parede exterior logo abaixo do nível do piso térreo (Figura 3.11).

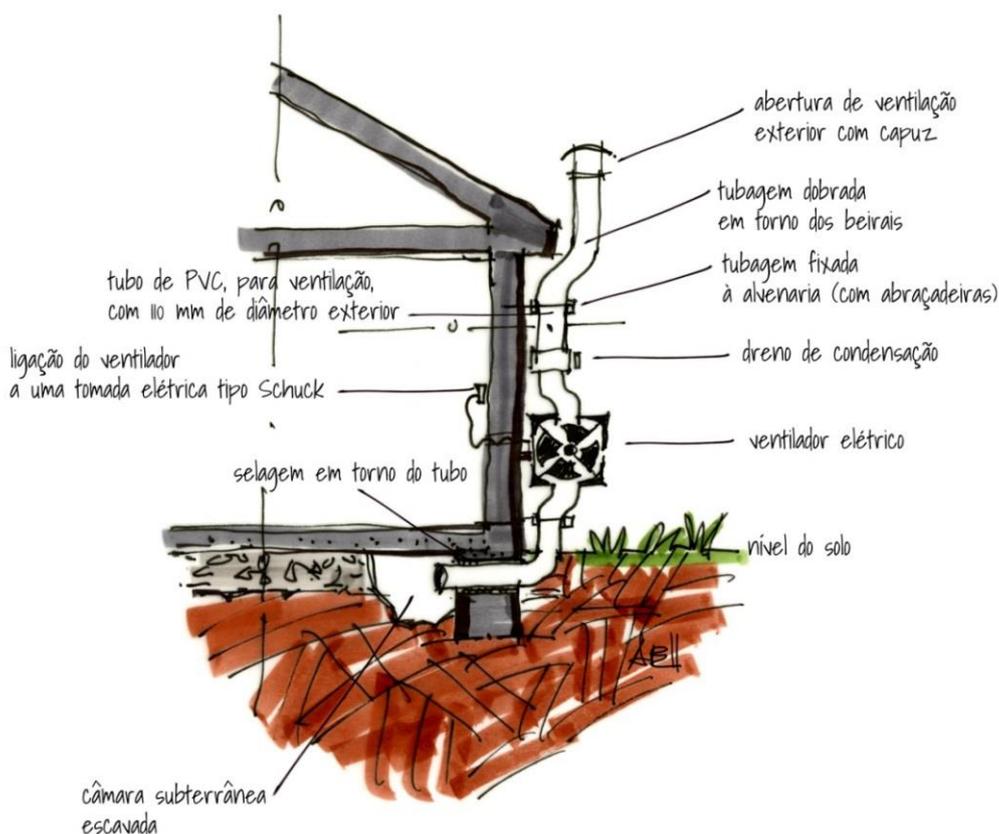


Figura 3.11 – Sistema de despressurização com câmara escavada a partir do exterior, com conduta e ventilador localizados também no exterior

c) Sistemas múltiplos com várias câmaras

Em edifícios de grandes dimensões em planta, onde a área do piso térreo ou das caves é elevada, pode ser necessário instalar mais do que um único sistema de despressurização, ou pelo menos várias câmaras no terreno; para reduzir custos de instalação e operação, a ligação de várias câmaras a um único ventilador pode ser aliás uma das soluções a implementar (Figura 3.12). Um outro exemplo onde este tipo de solução pode ser aplicado, é o caso de vivendas geminadas, construindo as câmaras subterrâneas e as respetivas tubagens do sistema de despressurização em cada habitação, ligando-os depois todos a um único ventilador e sistema de exaustão, reduzindo assim novamente os custos referidos (Scivyer & Jaggs, 1998).

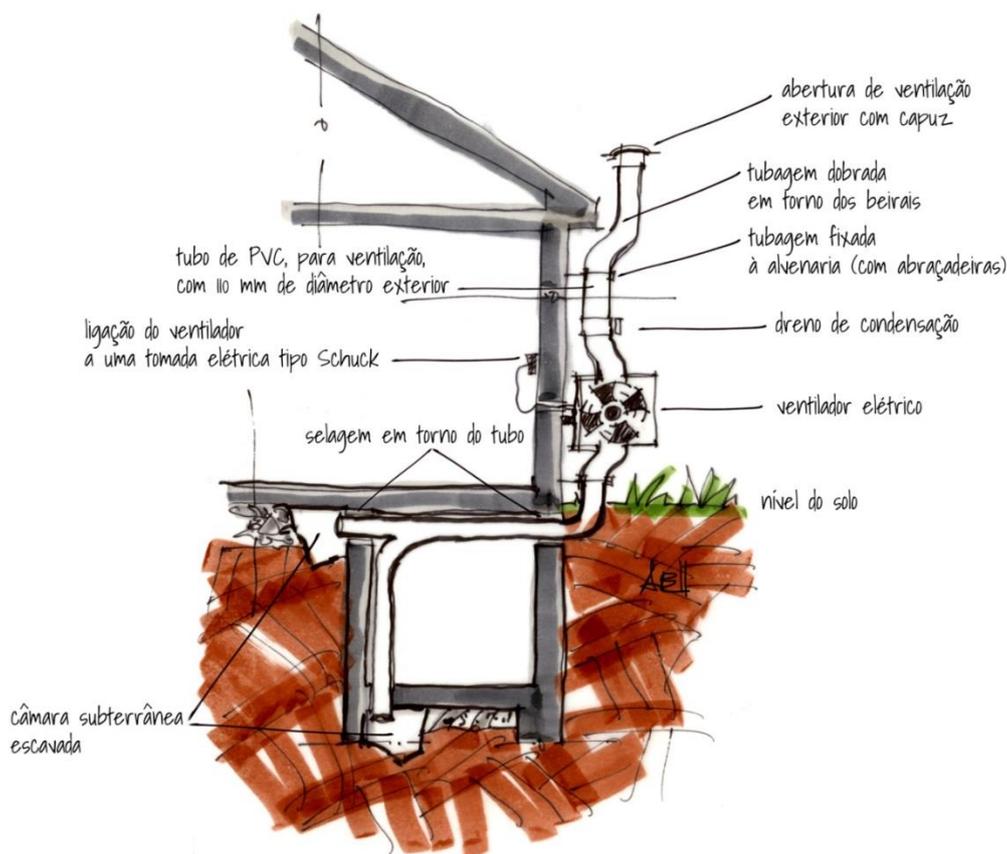


Figura 3.12 – Exemplo de sistema múltiplo constituído por duas câmaras subterrâneas e um único ventilador

d) Despressurização de desvãos sanitários sob membranas contra o radão

Já se referiu que um método eficaz para reduzir os níveis de radão em edifícios com desvão sanitário (caixa de ar sob o pavimento térreo) consiste na cobertura do solo com uma membrana impermeável ao radão (secção 3.4.3.2), usando simultaneamente um sistema de despressurização no desvão, que permita extrair o radão daquele espaço através da colocação das câmaras já referidas sob a membrana, e ventilando para o exterior utilizando ventiladores adequados e convenientemente localizados

e) Despressurização do desvão sanitário

Outra opção menos favorável é a despressurização ativa do desvão sanitário, que envolve a aspiração de ar diretamente desse espaço usando um ventilador. Em certos casos, poder-se-á reduzir o nível de radão recorrendo apenas à ventilação passiva, através das aberturas de ventilação já existentes ou realizando aberturas adicionais.

Porém, esta técnica de despressurização (ativa ou passiva) não funciona tão bem quanto a aspiração realizada sob a membrana, requerendo ainda uma atenção especial devido ao potencial retorno de produtos da combustão provenientes dos respetivos aparelhos, obrigando a que se faça uma boa vedação desse desvão sanitário em relação a outros compartimentos do edifício (EPA, 2013).

f) Aproveitamento de sistemas de drenagem

Quando existem nos edifícios sistemas de drenagem de águas pluviais instalados sob o piso térreo ou o piso das caves, com o objetivo fundamental de procurar reduzir a permanência de água no terreno junto à envolvente do edifício, estes sistemas podem ser também usados para captar o radão do terreno, desde que seja naturalmente garantida a capacidade de drenagem do sistema e essa drenagem se faça para a rede pública de águas pluviais ou para zonas afastadas do edifício.

Existem três tipos de sistemas de drenagem subterrânea que podem ser facilmente adaptados para captar o radão do solo debaixo de um edifício, que podem ser usados, isoladamente ou em conjunto (EPA, 2013).

Se existir, normalmente nas caves, um depósito de recolha e bombagem da água da chuva provindo do terreno, pode-se fazer passar, preferivelmente através da respetiva tampa, uma conduta de ventilação que será ligada a um ventilador; este removerá o radão do solo através do depósito, fazendo-se a sua exaustão para uma saída localizada acima da cobertura do edifício (Figura 3.13). É importante garantir que a referida tampa continue a poder ser removida quando necessário, nomeadamente para permitir a manutenção da bomba de água instalada no depósito.

Um sistema alternativo ou complementar de drenagem que se pode utilizar para aspiração de radão, consiste no aproveitamento de tubagens drenantes perfuradas existentes (ou a instalar) para drenar águas provenientes do terreno, sob os pavimentos térreos, ligando-as a um sistema de ventilação constituído por condutas de ventilação (incluindo as de exaustão) e ventiladores mecânicos similares ao referido na solução anterior (Figura 3.13). Neste caso, podem usar-se válvulas de retenção para selar a extremidade do dreno subterrâneo, de forma a possibilitar que o ventilador crie uma baixa pressão ao mesmo tempo que se permite que a água seja drenada.

Por fim, o terceiro tipo de sistema de aspiração do radão pode ser usado quando existem paredes enterradas e essas paredes são formadas por tijolos ou blocos perfurados, pelo menos na zona inferior da parede (Figura 3.14). Este método remove o radão através da despressurização da parede, de forma semelhante à realizada pelo método de aspiração sob os pavimentos térreos (vd. 3.2.5) e é frequentemente usado em combinação com este.

Estão acessíveis no YouTube alguns vídeos acerca da instalação deste tipo de sistemas (YouTube, 2012), (YouTube, 2019), (YouTube, 2020),

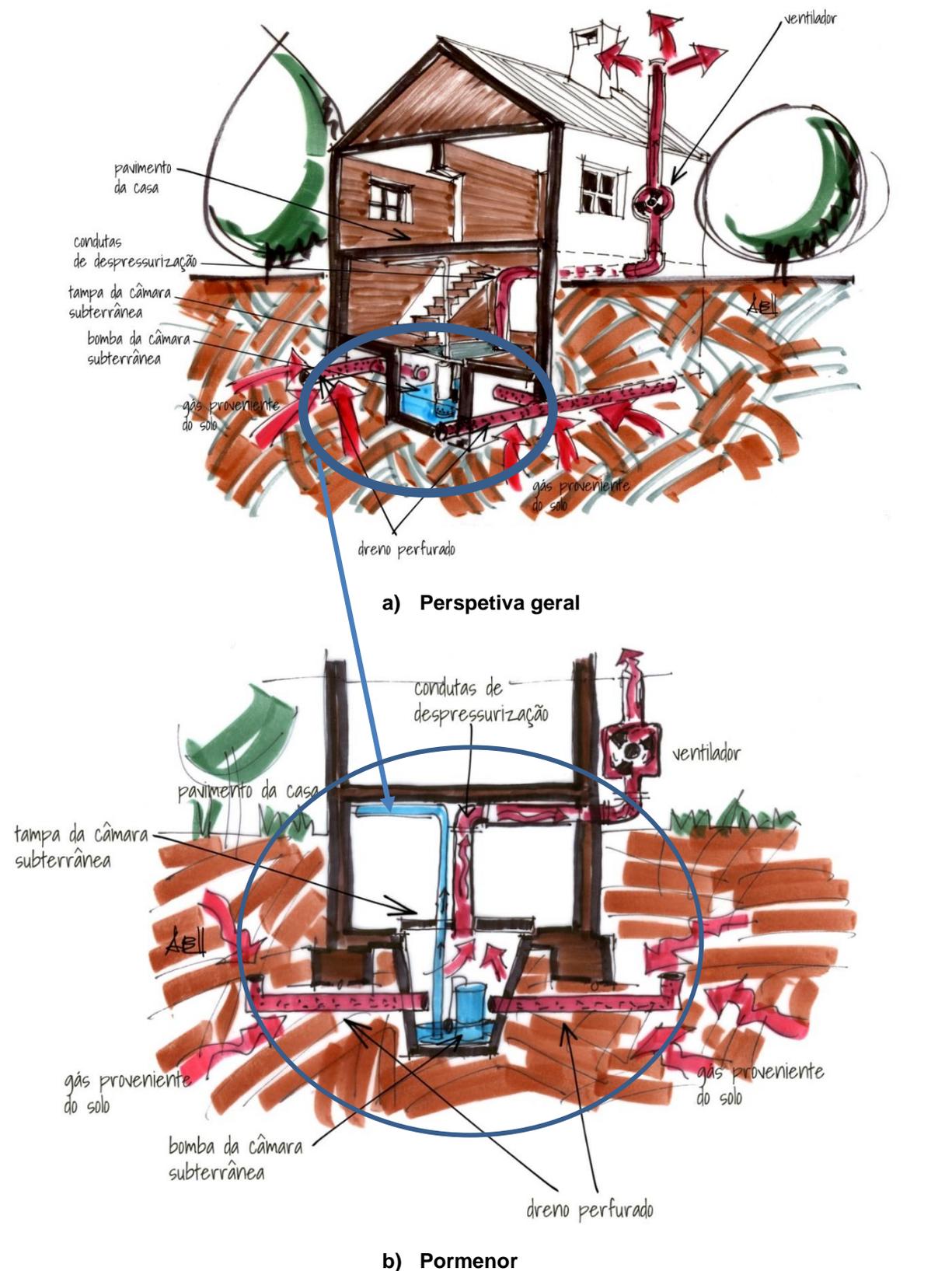


Figura 3.13 – Esquema simplificado de um sistema de aspiração de radão por tubos de drenagem pluvial e depósito subterrâneo

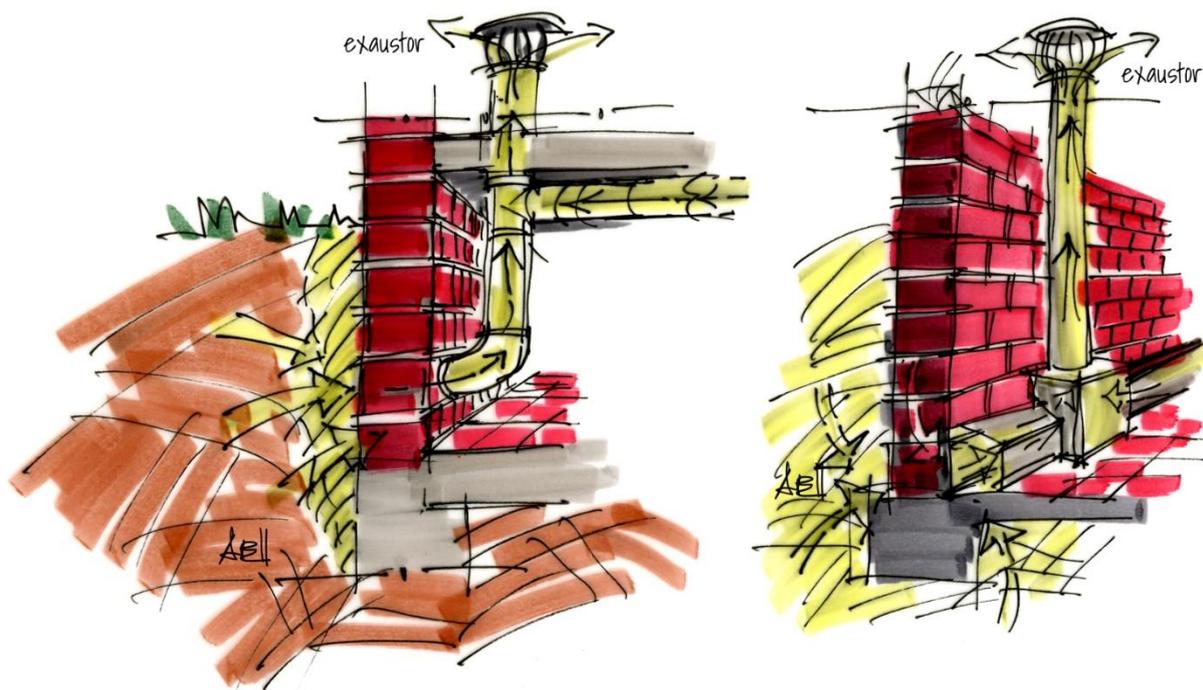


Figura 3.14 – Esquema simplificado de um sistema de aspiração pelas aberturas dos tijolos ou blocos perfurados das paredes enterradas

3.3 Recomendações relativas aos sistemas de ventilação

3.3.1 Generalidades

Embora a solução prática mais eficiente para a aspiração do radão do interior dos edifícios consista na utilização de sistemas de ventilação, existe um conjunto de cuidados que são relevantes referir, mencionando-se seguidamente alguns deles.

Para garantir o bom funcionamento, eficácia e segurança dos sistemas de ventilação, que devem estar permanentemente ligados, sugere-se que se adotem as recomendações gerais seguintes:

- Os sistemas de mitigação de radão devem estar claramente sinalizados, incluindo as condutas de ventilação e exaustão, de forma a permitir a sua clara diferenciação e evitar alterações acidentais no sistema que possam interromper o seu funcionamento. Uma possibilidade é usar tubos com cor diferente ou, em alternativa, recorrer-se à sua etiquetagem;
- As condutas de exaustão dos sistemas de aspiração do radão do solo elevar-se-ão, em regra, pelo menos 0,50 m acima do elemento mais elevado da cobertura dos edifícios (e a pelo menos 3 m do nível do solo), e bem assim das edificações contíguas existentes num raio de 10 metros

(Viegas, 2002; EPA, 2013) ⁵. As bocas de saída das tubagens de exaustão assim localizadas, devem estar pelo menos 90 cm acima de qualquer abertura aí existente (Gwine, 2013). Devem ainda estar a pelo menos 3 m de distância de janelas, portas ou outras aberturas, caso as saídas dos tubos de exaustão não estejam pelo menos à distância de 60 cm acima dessas aberturas (EPA, 2013); pretende-se com esta disposição evitar que o gás radão seja readmitido na habitação.

- As bocas de saída das tubagens de exaustão ao nível do solo, não ativas, devem ficar distanciadas a cerca de 100 mm da parede do edifício e a pelo menos 300 mm acima do nível do solo (Gwine, 2013). Até que o ventilador seja instalado, devem manter-se fechadas com uma tampa (para evitar a entrada de chuva e de pequenos animais) e estarem assinaladas com uma placa fixada na parede, acima da tampa, de forma a identificar o sistema de radão (Gwine, 2013). Deve ainda procurar-se que essa localização tenha o menor impacto estético possível na fachada do edifício, tanto mais que a ela poderá ainda vir a ser ligado um ventilador, caso seja necessário.
- O ventilador de aspiração quando colocado no interior do edifício, não deve estar localizado no espaço abaixo de uma área habitável, ou frequentemente utilizável (a menos que se trate de um espaço fortemente ventilado devido a aberturas permanentes para o exterior, por exemplo o desvão da cobertura não habitável) devendo ainda ser instalado em espaço de acesso não condicionado;
- Por razões associadas ao ruído, os ventiladores colocados no interior dos edifícios devem ser equipados com atenuação acústica;
- Sempre que as razões estéticas sejam francamente condicionantes, o ventilador de aspiração pode ser colocado no interior do edifício, nos espaços atrás referidos, seguindo as recomendações anteriormente indicadas para evitar os problemas de ruído.
- Os ventiladores instalados no exterior devem respeitar os requisitos estéticos e de segurança vigentes na zona da construção;
- As ligações elétricas de todos os sistemas ativos de redução de radão devem ser instaladas de acordo com a respetiva regulamentação existente;
- Os sistemas de ventilação devem ser dotados de um dispositivo de aviso eficaz que permita alertar quando o sistema deixe de funcionar corretamente. O dispositivo de aviso deve ser colocado onde possa ser visto ou ouvido com facilidade, devendo ser verificado nas manutenções periódicas;

⁵: No Reino Unido, é permitido que as saídas de exaustão ativas, localizadas no exterior, ao nível do solo (normalmente dotadas de sistema de proteção aos agentes atmosféricos e facilmente acessíveis para limpeza), possam ficar afastadas pelo menos a 1,50 m de quaisquer vãos de compartimentos de habitação ou de outra utilização do edifício, como portas, janelas e aberturas de ventilação, bem como de outros edifícios ou espaços regularmente utilizados, designadamente pátios, jardins, etc., (Scivyer, 2013).

Havendo recomendações diferentes nos Estados Unidos e no Reino Unido para a distância das bocas de saída das tubagens de exaustão em relação às aberturas existentes nos edifícios, considera-se que em Portugal deverá, pelo menos, ser respeitada a distância preconizada pelos ingleses, devendo preferencialmente, e sempre que possível, respeitar-se a distância preconizada pelos americanos.

- Para se verificar a eficácia inicial do sistema, deve realizar-se uma medição de radão no período compreendido entre o primeiro dia e 30 dias após a instalação do sistema, com o ventilador ligado (se for o caso), nas mesmas condições em que se fez a primeira medição (detetores colocados nos mesmos locais onde se verificaram as concentrações superiores ao valor de referência nacional);
- O estado de conservação dos sistemas deve ser assegurado em manutenções periódicas, verificando-se também o estado de conservação da etiquetagem de identificação dos sistemas; após cada operação de manutenção ou conservação, deve ser emitida uma folha de registo com a lista das eventuais anomalias verificadas e dos trabalhos realizados.
- O sistema deve possuir um manual de instruções, que inclua as regras de utilização e manutenção. Os utilizadores (ou os responsáveis pelo seu funcionamento e manutenção) devem ainda receber formação específica, mesmo que ligeira, sobre o seu funcionamento;

3.3.2 Variações de temperatura

O incremento da ventilação pode fazer baixar a temperatura do ar num determinado espaço. Quando um espaço de um edifício, como por exemplo as caves ou arrecadações, são de utilização esporádica, esse abaixamento da temperatura é provavelmente aceitável. Quando a renovação do ar interior se faz com a entrada de ar a temperatura mais baixa, pode haver necessidade, especialmente na estação fria (estação de aquecimento), de aumentar o consumo de energia para manter a temperatura no respetivo espaço. Para minimizar o impacto no consumo energético é recomendável recorrer a sistemas de ventilação com recuperação de calor, pois estes permitem obter um equilíbrio entre a temperatura do ar exterior e interior, reduzindo a quantidade de energia consumida em sistemas de ar condicionado. Outra medida eficaz de minimizar o consumo energético, e simultaneamente impedir a passagem de radão das caves para os pisos superiores, consiste, conforme já se mencionou, em selar o melhor possível as aberturas no pavimento localizado acima do teto da cave e instalar portas de comunicação de baixa permeabilidade ao ar (conforme definido na norma NP 1037-1).

Embora seja sempre recomendável, e em alguns casos exigido, o isolamento térmico de tubagens de água quente sanitária (e também de água refrigerada, quando exista), em edifícios existentes tal medida pode ainda não ter sido implementada. Por isso, o referido eventual arrefecimento da cave resultante do incremento da ventilação, pode ser mais uma razão para efetuar o isolamento térmico dessas tubagens que existam na cave.

No caso de caves que sirvam de adegas, recomenda-se que os vinhos aí armazenados sejam mantidos afastados da corrente de ar direta dos ventiladores. Semelhante recomendação poderá ser feita em relação a outro tipo de produtos sensíveis a velocidades do ar mais significativas.

3.3.3 Alterações de pressão e de caudal do ar

No caso de moradias com cave ou apartamentos térreos, ambos do tipo duplex, deve evitar ter-se no piso inferior as janelas bem fechadas ou raramente abertas, e no piso superior as janelas mal fechadas

ou frequentemente abertas, pois isso pode aumentar o efeito chaminé dentro da habitação, o que faz com que seja mais acentuada a migração do radão proveniente do solo para o interior da habitação. Da mesma forma, chaminés não utilizadas ou escotilhas não seladas podem aumentar o efeito chaminé.

Portando, deve-se assegurar que não existem aberturas deliberadamente abertas no pavimento em contacto com o solo, para ventilar aparelhos de combustão, como lareiras, pois essas podem ser as principais vias de entrada do radão; e, se existirem, devem ser seladas. Porém, como os aparelhos de combustão devem ser adequadamente ventilados, terá de ser fornecida uma fonte alternativa de ventilação.

Também se deve ter cuidado especial se existir uma caldeira ou um dispositivo de combustão do tipo B no piso superior ao da aspiração, porque estes aparelhos de combustão aspiram o ar do local em que estão localizados (este aspeto também é válido para lareiras). Normalmente, esse ar mistura-se com produtos de combustão e é libertado para o exterior através de uma chaminé (ou por meio de conduta de exaustão). No entanto, quando se usa um sistema de aspiração por ventilador para extrair o ar debaixo do pavimento, o ar dos compartimentos acima localizados pode ser aspirado através das fendas ou aberturas deficientemente vedadas que existam nesse pavimento. Em alguns casos, o escoamento dos produtos de combustão na chaminé poderá ser invertido, ou pelo menos o seu caudal reduzido, fazendo com que os gases e os fumos retornem para a habitação (ou podem criar-se condições insuficientes de combustão que poderão gerar caudais mais elevados de produtos da combustão tóxicos, por exemplo o monóxido de carbono), o que é potencialmente perigoso e deve ser sempre evitado. Nestes casos é necessário assegurar que não existe interdependência entre os pisos com aparelhos de combustão e os pisos com ventilação para redução do teor de radão, nomeadamente assegurando que as respetivas fronteiras têm baixa permeabilidade ao ar. Esta baixa permeabilidade ao ar poderá ser mais difícil de assegurar nas portas que encerram os vãos de comunicação; estas portas, conforme já se referiu, deverão ter baixa permeabilidade ao ar, de acordo com o definido na norma NP 1037-1. A eventual utilização de um sistema de ventilação por insuflação, em detrimento de um sistema de ventilação por exaustão, só deverá ser realizada se houver possibilidade de ultrapassar as dificuldades técnicas referidas na secção 3.2.4.2.

Não se devem instalar ventiladores ou sistemas de exaustão perto de aberturas de circulação de ar, ou na proximidade de janelas ou portas, conforme se refere no Anexo II.

Deve ter-se ainda em atenção possíveis impactos associados à existência de pavimentos térreos com caixa de ar subjacente, especialmente se forem formados por réguas de madeira, ou solução semelhante, em que essa caixa de ar comunique com uma cave (Figura 3.15). Pode acontecer que um aumento na aspiração nessa caixa de ar, possa inadvertidamente conduzir à admissão de mais radão para a cave. Assim, é importante garantir que a ventilação da caixa de ar não afete adversamente essa cave. De facto, nestes casos, qualquer alteração na ventilação da cave pode afetar os níveis de radão na caixa de ar e nos espaços acima desta. É óbvio que o impacto desta situação é menor quando a cave é apenas parcial, não abrangendo, portanto, toda a área do piso sobrejacente, do que quando isso acontece.

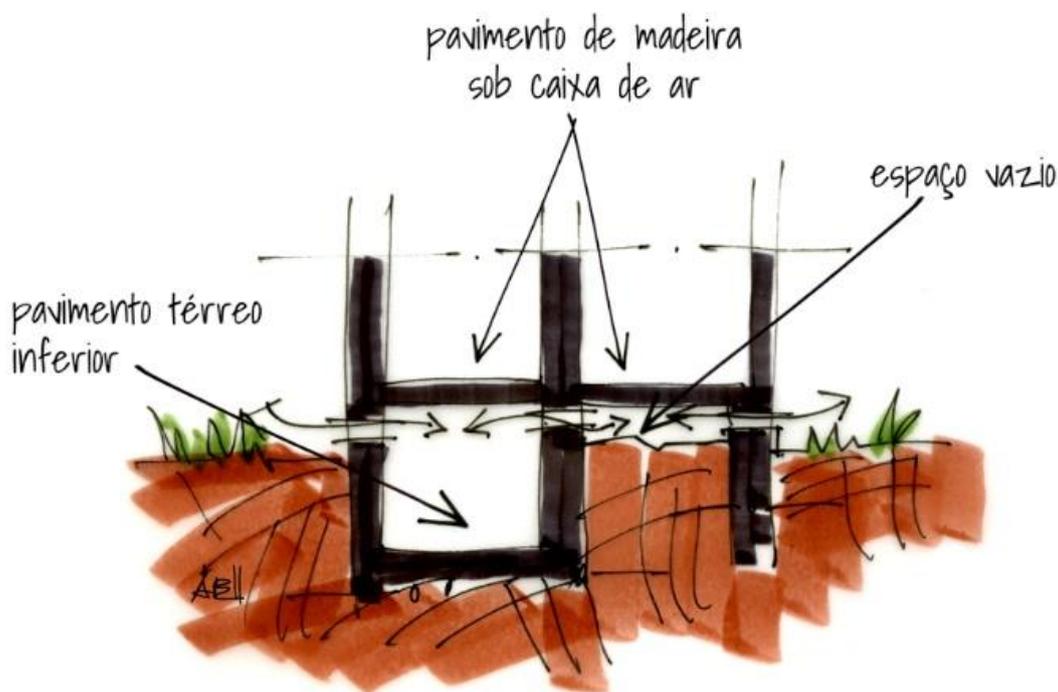


Figura 3.15 – Caves em comunicação com a caixa de ar sob o pavimento do piso superior adjacente

Em qualquer sistema de ventilação (natural ou mecânica), é necessário ter em consideração as características das portas e do teto de caves, uma vez que o ar da ventilação dessas caves pode escoar para os pisos superiores e vice-versa. A ventilação da cave permite diluir o radão aí existente e aumentar ligeiramente a pressão do ar dentro da cave, de modo a restringir o fluxo natural de radão do solo para a cave; mas este mecanismo apenas funciona se estiverem bem seladas todas as possíveis vias de escoamento do ar da cave para o piso superior.

No caso de sistemas de extração de ar instalados em caves, se as paredes e tetos tiverem aberturas (fendas ou fissuras) deficientemente vedadas, verificar-se-á um fluxo de ar para essas caves a partir dos pisos superiores. O mesmo acontece se o pavimento da cave também tiver aberturas, pois neste caso ficam criadas condições para ser facilitada a admissão do radão do terreno para o interior da cave, aumentando aí a concentração deste gás. Assim, este tipo de opção só deve ser considerado se a cave estiver bem selada ao nível do teto, das paredes e do pavimento.

A ventilação mecânica por aspiração também não é apropriada para instalação em caves ocupadas, pois o efeito de despressurização pode resultar em aumento dos níveis de radão nesse espaço, por aspiração de radão do solo.

3.3.4 Ruído

Os problemas associados ao ruído estão mais frequentemente associados ao funcionamento de sistemas de ventilação mecânica, quer o introduzido pelo funcionamento do ventilador quer pela vibração que o escoamento do ar nas condutas possa provocar.

No Anexo II tecem-se algumas considerações em relação a este aspeto.

3.3.5 Estética

Este aspeto, especialmente relacionado com a instalação de sistemas de ventilação mecânica, é abordado no Anexo II.

3.3.6 Características dos ventiladores

As características dos ventiladores são igualmente indicadas no Anexo II.

3.4 Selagem e impermeabilização

3.4.1 Generalidades

A selagem (ou vedação) e a impermeabilização dos pisos, em contacto com o terreno, e das paredes enterradas, pode fazer-se mediante aplicação localizada de produtos vedantes em zonas singulares desses elementos construtivos, ou pela aplicação de membranas (geralmente prefabricadas) anti radão (muitas delas utilizadas também como impermeabilização ou barreira contra a ascensão capilar da água do terreno); estas soluções têm ainda a vantagem de reduzir perdas de energia devido ao funcionamento de aparelhos de condicionamento de ar.

A selagem completa de fendas e de aberturas (juntas) em paredes e pavimentos é sempre difícil e bastante morosa e, de entre todos os métodos de mitigação conhecidos, é o menos eficaz, porque é difícil identificar e selar permanente e totalmente essas zonas de entrada do radão. Além disso, a selagem das principais fendas ou aberturas pode conduzir ao encaminhamento do radão para outros locais por onde possa migrar para o interior do edifício. De facto, até à data ainda não foi demonstrado que esta técnica, só por si, diminua os níveis de radão de forma significativa ou consistente (EPA, 2013).

Assim, recomenda-se que a selagem de zonas singulares seja sempre complementada com outras medidas de mitigação, designadamente com a aplicação de um sistema de ventilação com aspiração.

Para garantir um nível de eficácia de selagem elevado, tem de ser escolhida a solução mais ajustada ao tipo de fissuras ou juntas a vedar, garantindo a adequada aderência do vedante às superfícies de contacto.

Apesar destas limitações e dificuldades, fazem-se nos itens seguintes algumas considerações sobre as intervenções em paredes e pavimentos em contacto com o terreno, e ainda em pavimentos elevados e zonas de comunicação vertical.

3.4.2 Paredes enterradas

A passagem do gás radão pelas paredes em contacto com o terreno para o interior dos pisos enterrados ou semienterrados pode fazer-se pela própria parede, pelas juntas de assentamento dos elementos que constituam a parede (blocos de pedra ou de betão, tijolos), pelas juntas entre a parede e os

pavimentos ou por elementos que atravessam a parede (como tubagens de abastecimento de água ou de drenagem). Conforme já se mencionou, os pontos mais sensíveis desses atravessamentos são as juntas que os contornam.

Como as referidas juntas de assentamento dos elementos que constituem a parede têm um peso significativo na possibilidade de passagem do radão, quando estão deficientemente preenchidas, devido a falta de cuidado na construção inicial ou devido a desagregação que possa ocorrer ao longo dos anos, são necessários trabalhos de vedação mais dispendiosos, envolvendo a aplicação de produtos especiais, geralmente argamassas. Caso essa degradação envolva já os próprios elementos da alvenaria da parede adjacentes a essas juntas, com destacamentos mais ou menos generalizados, será necessário preencher os respetivos vazios, segundo as técnicas específicas aplicáveis ao tipo de alvenaria existente e à dimensão desses vazios.

As entregas dos pavimentos de madeira nas paredes enterradas são um caso particular da existência de juntas nessas paredes, podendo encontrar-se mais ou menos degradadas. A sua vedação deve assim também ser convenientemente realizada (usando-se por exemplo argamassas especiais de preenchimento). Deve continuar a garantir-se, ou mesmo melhorar-se, se for necessário, a ventilação, não só dos pisos enterrados ou semienterrados, mas igualmente dos pisos superiores.

Nos Anexos I e II apresentam-se soluções detalhadas para aumentar a ventilação por baixo do pavimento, também aplicável a estes casos.

É importante, assim, não obstruir as aberturas destinadas a ventilar as caves ou os equipamentos de combustão (por exemplo as caldeiras), a menos que seja adotada uma fonte alternativa de ventilação.

Há casos em que a selagem de paredes enterradas ou semienterradas se torna excessivamente dispendiosa, a menos que seja integrada em trabalhos de reabilitação, eventualmente associados à reconversão das respetivas caves desocupadas em espaços mais utilizáveis.

3.4.3 Pavimentos enterrados

Para além da selagem normal das juntas ou fendas do pavimento, podem também colocar-se as já mencionadas membranas (prefabricadas) anti radão, aproveitando para melhorar a estanquidade à água proveniente do terreno, já que muitas das membranas com aquelas funções têm como campo de aplicação a impermeabilização de pavimentos e paredes enterrados e de coberturas em terraço. Estas membranas, preferivelmente aplicadas pelo exterior, são relativamente fáceis de aplicar em construções novas, mas em edifícios existentes a sua aplicação nas mesmas condições torna-se bastante dispendiosa, obrigando, no caso dos pavimentos enterrados, à sua remoção (vd. 3.5). Assim, nestes casos opta-se pela colocação da membrana do lado interior do pavimento (vd. 3.4.3.2).

3.4.3.1 Vedação com selantes

A vedação de pequenas fendas ou fissuras em pavimentos de betão, pode geralmente fazer-se com pistolas ou com espátulas apropriadas, usando mástiques ou outros vedantes. As fendas de maiores dimensões podem ser alegradas e preenchidas com argamassa de cimento, ou cimento e cal. A maior

dificuldade pode advir da necessidade de realizar a selagem da junta contínua entre o pavimento e a parede, a qual, à semelhança de todos os trabalhos, deverá ser cuidadosamente executada.

As juntas resultantes do atravessamento de canalizações e cabos em pavimentos de betão sobre caixa de ar, ou mesmo diretamente assentes no terreno, existentes em edifícios recentes, geralmente bem construídos, são relativamente fáceis de selar.

Também no caso de pavimentos constituídos por blocos de pedra ou por elementos cerâmicos, a selagem se pode limitar fundamentalmente à vedação das juntas nas zonas de atravessamento dessas canalizações ou cabos, uma vez que é pouco provável que a vedação das juntas entre esses blocos de pedra ou os elementos cerâmicos permita reduções significativas na admissão de radão do terreno para os pisos superiores (Scivyer & Jaggs, 1998).

Também no caso de pavimentos em madeira com caixa de ar subjacente, se deve proceder à vedação das aberturas de maior dimensão, assim como às zonas de atravessamentos de canalizações e cablagem, ou onde falem peças de remate. No caso de pequenos orifícios podem aplicar-se elementos de vedação à base de espuma (eventualmente expansível). Não se devem usar indiscriminadamente oleados ou folhas plásticas, pois estas podem contribuir para a degradação biológica da madeira. Todavia, já no caso de pavimentos de betão apresentando fendilhação generalizada, é recomendável fazer uma selagem com uma membrana anti radão devidamente escolhida, nomeadamente em função dos níveis de radão a reduzir no interior do edifício (vd. 3.4.3.2).

A selagem de pavimentos apenas será geralmente rentável, no caso de haver grandes aberturas e fendas, mas que estas sejam em quantidade reduzida e que possam ser facilmente preenchidas.

3.4.3.2 Vedação com aplicação de membranas prefabricadas

a) Generalidades

Os pavimentos de betão construídos ao nível do solo permitem apenas uma proteção básica ao radão, devendo, sempre que necessário, tecnicamente possível e economicamente razoável, ser revestidos com uma membrana contra o radão, de baixa permeabilidade aos vapores, para conferirem uma barreira de maior proteção a este gás (Figura 3.16).



Figura 3.16 – Exemplo típico de uma membrana contra o radão⁶

⁶ Imagem cedida por cortesia da empresa Visqueen (UK).

Conforme se referiu, as membranas contra o radão também reforçam a proteção contra a humidade. As membranas ou filmes utilizados como barreira à humidade, nomeadamente à humidade ascendente do terreno, como por exemplo os filmes de PE não reciclado com 300 µm de espessura, também se têm mostrado adequados para a estanquidade ao gás radão (Gwynne, 2013; BBA, 2017). Outras soluções encontradas na bibliografia têm também estas funções, como é o caso de membranas compósitas de folhas de polietileno de baixa densidade e folhas de alumínio (Necoflex, 2014), ou desta mesma natureza, mas menos eficientes, sem folha de alumínio (NASAI, 2009). Na família dos betuminosos encontram-se também referências com este campo de aplicação (DANOSA, 2021; VETROASFALTO, s/d), bem como na família das membranas sintéticas de TPO (JUTA, 2020).

b) Detalhes construtivos sobre a aplicação das membranas

Conforme se referiu, a eficácia da solução, com membranas aplicadas sobre (ou sob) os pavimentos, depende muito da sua continuidade em toda a superfície do pavimento. Ora as paredes existentes, divisórias ou de fachada, são um obstáculo a essa continuidade. Embora se possa introduzir a membrana sob as paredes divisórias, se estas não forem paredes resistentes e se permitirem esse tipo de trabalho, tal não é tecnicamente prático e economicamente não é compensador; nestes casos será preferível fazer um rasgo, com uma serra de discos, numa junta horizontal de assentamento da alvenaria, introduzindo em toda a espessura da parede uma banda de membrana anti radão, a uma cota o mais baixa possível, geralmente também usada como barreira à ascensão capilar de água do terreno (mais eficazes ainda serão os perfis metálicos inseridos também nessa junta horizontal por efeito de ações mecânicas - Figura 3.17).

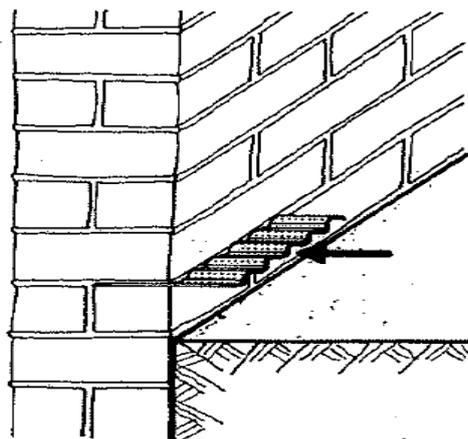


Figura 3.17 – Exemplo de inserção de um perfil metálico na junta horizontal de uma parede⁷

⁷ Henriques, 2007 – Humidades em paredes. Lisboa: LNEC. CED 01.

É importante assegurar que a membrana seja contínua em toda a zona corrente do pavimento e que todas as juntas entre os rolos da membrana sejam completamente seladas, assim como as zonas de passagem de tubagens (Figura 3.18 e Figura 3.19). Uma das formas de garantir essa selagem consiste na utilização de fita adesiva de face dupla de colagem, de baixa permeabilidade aos vapores, com uma largura de, pelo menos, 150 mm (Figura 3.18); soluções de outro tipo com as mesmas funções são igualmente admissíveis.



Figura 3.18 – Membrana sobre um pavimento e respetivos remates com as paredes e tubagens (a); Tela geotêxtil de proteção da membrana contra o radão subjacente ilustrada em a) (b)⁷

Em alternativa à aplicação da membrana sobre o pavimento existente, essa membrana pode ser aplicada sobre o terreno ou sobre um massame executado sobre o terreno, ou ainda sobre camada de enrocamento, sendo para isso necessário remover o pavimento térreo existente (vd. 3.5). Neste caso, se não existir já uma caixa de ar sob o pavimento existente, deveria, preferivelmente, criar-se essa caixa de ar. O novo pavimento deve ficar devidamente encastrado nas paredes ou vigas, que para tal sejam necessárias executar, quer na hipótese de ser criada uma caixa de ar quer na hipótese de isso não acontecer. Deste modo reduz-se a possibilidade de rotura dos remates da membrana com as paredes, devido a eventuais assentamentos do terreno, que seriam transmitidos diretamente ao pavimento sobrejacente.

Assim, numa obra de reabilitação em que seja necessário substituir o pavimento térreo e fazer escavação para retirar solo contaminado ou instalar qualquer sistema subterrâneo de ventilação, podem-se seguir as recomendações aplicáveis a edifícios novos (Scivyer, 2015). Neste caso, a membrana contra o radão deve ser colocada sobre um material suficientemente fino que permita obter uma superfície lisa que não perfure a membrana (a areia fina é um exemplo desse material). Uma alternativa consiste em aplicar a membrana contra o radão sobre uma manta geotêxtil, geralmente de massa superficial elevada (da ordem dos 800 g/m²) que confira a mesma proteção à penetração dos elementos do terreno ou do enrocamento.

O trabalho de colocação das membranas deve ser complementado com outras medidas de segurança, nomeadamente ventilação da caixa de ar subjacente (quando exista), ou com um sistema de despressurização de espaços sob a laje (que inclui câmaras, condutas de ventilação e exaustão com

ventilador), ou quando se utiliza um método de aspiração por sub-membrana (similar ao método de despressurização de espaços sob a laje), para extrair o radão de baixo da membrana e fazer a sua exaustão para o exterior, através de um ventilador ligado a um tubo de ventilação e exaustão. No entanto, sempre que possível deve evitar-se o atravessamento das membranas por tubagens diversas. Quando isso não for possível, deve realizar-se uma boa selagem em torno da zona de atravessamento do tubo (Figura 3.19), de forma a garantir-se a sua hermeticidade. O mesmo se deve efetuar em volta de pilares ou colunas de aço ou betão que atravessem as membranas (Figura 3.20).



Figura 3.19 – Pormenor da vedação, com reforço da membrana sobre o pavimento, na zona de atravessamento de conduta de um sistema de aspiração instalado abaixo do pavimento⁸



Figura 3.20 – Pormenor do reforço da membrana contra o radão na zona de atravessamento de uma coluna em aço⁹

⁸ Imagem cedida por cortesia da empresa Visqueen (UK).

⁹ Imagem cedida por cortesia da empresa Visqueen (UK).

c) Especificações das membranas

A especificação e as características das membranas utilizadas como barreira à humidade, que podem também ser usadas como barreiras à passagem do radão para o interior dos edifícios, são objeto das normas NP EN 13969 (IPQ, 2008) e EN 13967 (CEN, 2017).

Embora em alguns países europeus, e mesmo fora do continente europeu, as membranas habitualmente usadas sejam em material plástico (por exemplo, polietileno virgem, não reciclado), em Portugal, dado ser reduzida a cota de mercado deste tipo de membranas (segundo informações recolhidas no meio técnico e empresarial), presume-se que possam ser mais usadas as membranas betuminosas.

O desempenho destas membranas à passagem do radão melhora se estas dispuserem de uma folha metálica, geralmente de alumínio. Tal é possível incorporar no caso das membranas betuminosas, quer na sua armadura quer como acabamento da superfície exterior. Melhora-se igualmente essa característica se forem usadas membranas plásticas do tipo multicamada (por exemplo, até 6 camadas sobrepostas), com pelo menos uma camada em folha de alumínio e uma camada de reforço em rede de fibras, usualmente de poliéster.

Existem ainda soluções alternativas com base em produtos líquidos ou pastosos, de naturezas químicas diversas (sintéticos ou betuminosos) (Scivyear, 2015b).

De uma forma geral, as características mais importantes das membranas são, naturalmente, em primeiro lugar, o coeficiente de difusão ao radão (geralmente expresso em $a \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$), determinado de acordo com a ISO/DTS 11665-13, ou a transmitância ao radão (correntemente expressa em $b \times 10^{-9} \text{ m/s}$) ou a resistência ao radão (expressa em $c \times 10^7 \text{ s/m}$), as propriedades de transmissão de vapor de água, as propriedades em tração (tensão, ou força máxima, e alongamento na rotura), as resistências ao punçoamento estático ou dinâmico (impacto ou choque), e, por fim, a eventual libertação de compostos orgânicos voláteis (VOC's).

A título de exemplo registam-se os seguintes valores do coeficiente de difusão ao radão encontrados na bibliografia: $2,4 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (DANOSA, 2021), $5,8 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (VISQUEEN, 2018) e $16,0 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (BBA, 2017). Estudos experimentais realizados pela Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Técnica da República Checa e pelo *National Radiation Protection Institute* do mesmo país, sobre uma amostra de 126 materiais distintos, mostram que este parâmetro pode variar entre 10^{-15} e $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ (JIRÁNEK, s/d). Um outro estudo realizado anteriormente em 2000 pelo mesmo autor (JIRÁNEK; HŮLKA, 2000) sobre 80 membranas mostra igualmente uma variação do coeficiente de difusão do radão entre 10^{-13} e $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.

Para um mesmo tipo de membrana ou filmes (com a mesma constituição química e composição das camadas), as propriedades mecânicas e de estanquidade melhoram com o aumento da espessura (no caso dos filmes a espessura varia normalmente entre 300 e 800 μm), e a capacidade de difusão e da membrana pelo radão diminui. De qualquer modo, os menores coeficientes de difusão correspondem,

como seria de esperar, a membranas que integram na sua constituição folhas metálicas (em geral de alumínio) ou películas de plástico. A esta conclusão, chegaram também, os autores dos estudos referidos atrás, sendo as membranas betuminosas (as mais correntes em Portugal) dispendo de uma folha metálica as que apresentaram melhores resultados para o coeficiente de difusão.

O referido estudo (JIRÁNEK, s/d) mostra também que o uso de materiais reciclados no fabrico de membranas de PVC plastificado (situação corrente na generalidade das atuais instalações fabris deste tipo de membranas) aumenta o coeficiente de difusão ao radão em média cerca de 3 vezes o obtido com membranas sem materiais reciclados.

Seria útil dispor de informação alargada sobre os resultados do ensaio do coeficiente de difusão das membranas mais usadas em Portugal, ou que venham a sê-lo, de modo a futuramente se poderem estabelecer critérios para o seu uso em função, por exemplo, da sua eficácia para a redução dos níveis de radão no interior dos edifícios. Entretanto, poder-se-ão considerar como satisfatórias as soluções de selagem formadas por membranas contra o radão aquelas cujos coeficientes de difusão estejam compreendidos entre 5×10^{-12} e $10 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (JIRÁNEK; HŮLKA, 2000). Tal corresponde a utilizarem-se membranas betuminosas com cerca de 3 a 4 mm de espessura e membranas de PVC plastificado com 1 ou 2 mm de espessura; as membranas com estas características geométricas são exatamente aquelas mais vulgares em Portugal para outros campos de aplicação. As membranas betuminosas incorporando as referidas folhas metálicas de alumínio satisfazem evidentemente aquela exigência; note-se, no entanto, que são muito reduzidas as capacidades resistente e de deformação deste tipo de membranas, devendo, portanto, terem-se cuidados acrescidos aquando da sua aplicação em obra.

Sob este ponto de vista, o de aplicação em obra, convém referir que embora os produtos mais espessos possam ser mais resistentes, eles podem ser mais difíceis de ajustar a zonas angulosas ou arredondadas com pequenos raios de curvatura, pelo que nesses locais é aconselhável usar componentes pré-formados ou selantes pastosos compatíveis com as membranas da zona corrente. Em alternativa, também se pode recorrer a membranas prefabricadas mais espessas, para instalar na zona corrente, e usar materiais mais fáceis de ajustar ou produtos pastosos, nos remates com as paredes periféricas e com outros pontos singulares (Scivyear, 2015b).

Embora as membranas possam ser aplicadas em sistemas de dupla ou mesmo tripla camada, para aplicações mais exigentes, algumas delas são suficientemente resistentes para, por si só, suportar tráfego pedonal (ligeiro, moderado ou intenso, conforme a especificação) ou mesmo de maquinaria ligeira. Quando sobre as membranas deva ser aplicada uma camada de proteção formada pelas próprias lajes de betão armado do pavimento, o sistema formado por essas membranas deve ser suficientemente resistente para as ações a que está sujeito, tanto mais que os trabalhos de reparação que necessitem posteriormente de ser efetuados têm sempre custos significativos.

Existem ainda bandas ou perfis de membranas especificamente adequados para a selagem de elementos construtivos com zonas angulosas ou de geometria difícil de contornar.

3.4.4 Tetos

A situação construtiva em geral mais desfavorável corresponde ao caso de o teto dos espaços enterrados ou semienterrados ser formado apenas por pavimentos de madeira do espaço do piso acima (Scivyer and Jaggs, 1998). Nesse caso será útil, ou mesmo necessário, colocar um teto estanque no espaço enterrado ou semienterrado, não só para constituir uma barreira física ao fluxo de radão para o piso superior, mas também para reduzir, no inverno, o fluxo de ar frio entre o piso enterrado (se não for ocupado, e por isso não climatizado) e os espaços sobrejacentes ocupados, potenciando assim uma melhoria do conforto térmico com menores consumos de energia.

Independentemente da cave ou semicave ter ou não um teto adequado, é sempre necessário selar as maiores aberturas que existam no pavimento do piso sobrejacente, utilizando os materiais e as técnicas referidas em 3.4.3.

3.4.5 Zonas de comunicação interiores

Por vezes é mais fácil, e certamente mais económico, selar bem os acessos (portas) entre a cave e o piso sobrejacente, e ainda ventilar adequadamente a cave, do que selar todas as aberturas do pavimento, das paredes e do teto da cave, de acordo com o mencionado nos itens anteriores.

Assim, caso o acesso entre a cave e o piso sobrejacente seja feito apenas através de um vão aberto, deve ser colocada uma porta de baixa permeabilidade ao ar que funcionará também como barreira protetora contra as correntes de ar. Em Portugal esta porta deve ter uma permeabilidade ao ar inferior a 10 m³/h, sob uma diferença de pressão de ensaio de 100 Pa (IPQ, 2015). Esta exigência, cuja função principal será naturalmente reduzir os níveis de radão no interior das zonas habitáveis, permite ainda reduzir as trocas de calor entre os dois pisos adjacentes.

A existência de uma porta de baixa permeabilidade ao ar entre a cave e o piso sobrejacente permite ainda que se possa intensificar a ventilação da cave, sem afetar o conforto do piso sobrejacente habitável, o qual será ainda acrescido, reduzindo-se também os consumos de energia, se for assegurado o adequado isolamento térmico do pavimento entre esses dois pisos.

3.5 Pavimento de substituição

Em certos casos pode ser necessário substituir o pavimento existente em contacto com o terreno (ou com uma caixa de ar subjacente) por outro cuja permeabilidade ao gás radão seja substancialmente mais baixa, sendo assim uma barreira à passagem do radão proveniente do terreno. Quando em contacto com o terreno, estes pavimentos serão sempre em betão ou formados por elementos pétreos. Poderão ser de madeira, ou seus derivados, quando exista uma caixa de ar sob os mesmos.

Essa necessidade de substituição pode também verificar-se nos pavimentos dos pisos superiores, nomeadamente quando se apresentem bastante fissurados ou com degradações construtivas diversas, nomeadamente quando sejam formados apenas por réguas ou pranchas de madeira.

Após a aplicação do novo pavimento do piso térreo ou da cave, deve ser colocada uma membrana contra o radão, que contribuirá também como barreira contra a ascensão capilar da água do terreno. Esta membrana deve ser suficientemente resistente às ações que virá a estar sujeita (vd. 3.4.3.2.c), nomeadamente a ações mecânicas de punçoamento de elementos pontiagudos.

Esta medida, só por si, é geralmente insuficiente para garantir obstruções significativas à passagem do gás radão, nomeadamente pela dificuldade de garantir uma continuidade da membrana sob as paredes, sendo geralmente adotada em conjunto com outras, nomeadamente com a ventilação dos espaços interiores, ou, caso exista uma caixa de ar sob o pavimento, com a ventilação desta caixa de ar.

Além disso, sempre que possível, caso ainda seja insuficiente a redução dos níveis de radão no interior dos espaços, pode-se instalar também um sistema de depressurização sob o novo pavimento (ver 3.2.5), com sistema de exaustão para o exterior do edifício. Este sistema será ativado se os níveis de radão ainda permanecerem elevados após a colocação do novo pavimento com a membrana anti radão.

4 | Custos das intervenções

Como é compreensível, os custos da implementação de qualquer uma das soluções de mitigação da presença de radão no interior dos edifícios é função de um conjunto muito alargado de fatores.

Os fatores em questão são naturalmente função do tipo de técnica ou solução implementada, as quais dependem também do nível de concentração de radão nos vários espaços do edifício. É claro que as soluções em princípio mais económicas correspondem àquelas que não envolvam a utilização de equipamentos (como é o caso dos ventiladores), ou em que o seu uso seja limitado, e as que a mão de obra seja também limitada.

Assim, podem enumerar-se os seguintes principais fatores, distribuídos por quatro grupos, que terão influência no custo global das medidas de mitigação em questão:

a) Fatores associados às características do edifício

- área bruta (ou útil) do edifício ou do espaço a intervir;
- distribuição dos compartimentos com maior ocupação por pessoas (e.g., quartos e salas, em edifícios de habitação, ou escritórios, em edifícios de serviços) e interligação com outros espaços;
- constituição dos principais elementos construtivos, como paredes, pavimentos, coberturas e caixilharia;
- pé-direito livre;

b) Fatores associados às características do terreno

- tipo de terreno (e.g., granítico, basáltico, arenoso);
- densidade de fendas, falhas, bolsas, ou outras descontinuidades, e comunicação entre elas;
- presença ou não de níveis freáticos elevados atravessando terrenos com fundo radioativo elevado;

c) Fatores associados aos materiais e equipamento usados

- características de ventiladores (e.g., potência, caudal, marca comercial);
- características das tubagens (e.g., de material plástico ou metálico, secção, comprimento, acessórios, perdas de carga);
- características de grelhas de ventilação (de material plástico ou metálico, dimensões, secção de escoamento do ar);

d) Fatores associados à execução

- qualidade da mão-de-obra;
- tipos de equipamentos necessários (e.g., compressores, retroescavadora, martelo pneumático, escopro, serra de discos);
- grau de intrusividade nos elementos construtivos (e.g., realização de aberturas em paredes, pavimentos e tetos);

- introdução de medidas de proteção adicionais para reforço da segurança estrutural dos principais elementos da estrutura resistente (e.g., paredes resistentes, pavimentos);
- constrangimentos na utilização (e.g., desocupação por período reduzido ou prolongado, redução de área útil);
- grau de dificuldade na realização de câmaras de descompressão no terreno e respetivas tubagens de extração.

Note-se ainda que, em geral, a implementação das medidas de mitigação da presença de radão ocorre quando se prevê a reabilitação de um edifício, ou vice-versa, ou seja, devido à necessidade de implementar essas medidas aproveita-se também para realizar obras de reabilitação de outra índole. Este facto pode também dificultar a discriminação dos custos associados apenas à implementação das medidas de mitigação da presença de radão.

Todos estes fatores devem ser, evidentemente, tidos em conta na fase do projeto de reabilitação do edifício ou de intervenção para mitigar a presença do gás radão no seu interior.

Assim, julga-se ser contraproducente avançar com estimativas do custo deste tipo de obras, sem dispor de uma amostra significativa a nível nacional do custo de obras já realizadas com cada uma das técnicas mencionadas. De facto, a variabilidade dos custos pode ser de tal forma significativa que qualquer tentativa de esboçar essas estimativas teria não só pouca utilidade como poderia dar indicações erradas para os principais intervenientes no processo (dono-de-obra, projetista e construtor), ou mesmo para as entidades públicas que possam vir a avaliar as medidas de mitigação propostas.

Essa variabilidade está bem patente na bibliografia disponível sobre o assunto; mencionam-se, a título indicativo, alguns valores obtidos a partir de uma amostra de 342 intervenções em obras no Reino Unido (PHE, 2019), um dos países europeus que tem há mais tempo implementado medidas para minimizar a presença de radão nos edifícios existentes.

Assim, no caso da ventilação natural sob o pavimento térreo, a solução mais frequentemente usada nessas 342 amostras, o custo variou entre 8 e 4236 £; também é referido que este último valor pode incluir outros trabalhos que não apenas os relativos às obras específicas para reduzir a concentração de radão no interior dos edifícios respetivos.

No caso da vedação de aberturas, juntas ou frinchas, a solução menos utilizada nessas mesmas 342 amostras, a variação do custo é ainda maior, sendo o intervalo respetivo de 5 a 10.000 £ (aplicando-se o mesmo comentário anterior em relação ao extremo superior deste intervalo).

A mesma entidade pública do Reino Unido, num outro documento (PHE, 2020) dá indicações sobre os valores de custos típicos e de custos máximos para os principais tipos de intervenção para reduzir as concentrações de radão no interior de edifícios existentes. Reproduzem-se no Quadro 4.1 esses valores (aproximando-se à dezena de euros superior), para as principais técnicas de intervenção nos edifícios existentes (PHE, 2020).

Quadro 4.1 – Valores típicos e máximos do custo de intervenções para redução da concentração do radão (PHE, 2020)

Tipo de intervenção	Custo típico (€)	Gama normal do custo (€)
Câmara de despressurização (feita pelo próprio)	340	780
Câmara de despressurização pré-fabricada (sem ventilador)	510	1120
Câmara de despressurização (com ventilador)	890	2230
Ventilação natural sob o pavimento térreo	230	670
Ventilação mecânica sob o pavimento térreo	780	1670
Pressurização do edifício	620	1120

Nos EUA (HomeAdvisor, 2020) os custos das obras para mitigação do radão variam entre 774 e 1177 dólares, com um valor médio de 971 dólares. No entanto, em edifícios de grandes dimensões ou de área bruta significativa, ou com vários tipos de fundações ou configurações complexas, o custo pode atingir 3000 dólares.

Mais algumas referências na bibliografia foram encontradas que comprovam a grande variabilidade dos custos de cada uma das soluções possíveis de implementar (EPA, 2003; TURK *et al*, 1991).

A apresentação destes valores poderá servir de base a estudos futuros a realizar em Portugal sobre os custos dos mesmos tipos de intervenções, ajustados a valores do mercado nacional, tendo em conta os parâmetros atrás assinalados.

Algumas empresas portuguesas especializadas neste domínio apresentam estimativas de custos entre 1.200 € e os 2.500 €, para reduzir a concentração do radão de valores iniciais entre 1000 e 200 Bq/m³, para valores inferiores a 400 Bq/m³ (Lusoradon, 2015)¹⁰. Estes valores correspondem a soluções com a instalação de ventiladores cujo consumo de energia elétrica, a adicionar àqueles custos, variará entre 50 a 200 € por ano.

Assim, sugere-se que seja criada uma base de dados com os custos aproximados que se vão apresentando no mercado nacional, nomeadamente através dos orçamentos apresentados pelos projetistas às entidades licenciadoras (ou à APA) para as obras de reabilitação de edifícios que

¹⁰ Note-se que o valor de referência atual é de 300 Bq/m³.

contemplem as de mitigação da presença de radão, procurando-se que os diretamente afetos a estas últimas sejam convenientemente discriminados ou fracionados.

5 | Conclusões

Neste guia foram apresentadas e descritas várias soluções visando mitigar a admissão de radão para o interior de edifícios.

Da análise das várias soluções e técnicas apresentadas, pode-se concluir que a sua eficácia para reduzir a concentração de radão até níveis abaixo do nível de referência (300 Bq/m^3), é a seguinte:

- Vedação com selantes e melhoria de ventilação interior de espaços em edifícios: apresentam uma eficácia limitada até níveis de radão de 400 Bq/m^3 , com exceções em alguns casos, que podem ir até 500 Bq/m^3 . A ventilação natural é normalmente a solução mais económica. Já a selagem de pavimentos apenas será rentável, no caso de haver grandes aberturas e fendas, mas que estas sejam em quantidade reduzida e que possam ser facilmente preenchidas, ou, quando esta é efetuada conjuntamente com outros trabalhos de reabilitação ou reparação.
- Aplicação de membranas anti radão: apenas permite uma proteção básica ao ingresso do radão. Em edifícios existentes, esta é habitualmente usada quando é necessário aplicar um pavimento de substituição, de forma a reforçar a proteção à entrada de radão e de humidade nas edificações. A eficácia desta solução depende da permeabilidade ao radão do novo pavimento e das características das membranas (natureza, espessura, constituição das camadas e coeficiente de difusão ao radão). Como a proteção básica ao radão nem sempre é eficaz, esta medida deve ser complementada com a construção de uma câmara subterrânea para aspiração de radão, que pode ser ativada com um ventilador se o nível de radão for elevado e se constatar que o pavimento e a membrana não permitem reduzi-lo para valores satisfatórios, nomeadamente quando se pretende ocupar o espaço do pavimento substituído (SCIVYER; JAGGS, 1998). É também de referir que esta é provavelmente a solução mais dispendiosa e, por isso, a menos frequentemente aplicada na redução do nível de radão em edifícios existentes (SCIVYER; JAGGS, 1998).
- Sistemas de pressurização positiva (insuflação de ar) e de melhoria da ventilação natural por baixo do pavimento térreo, junto ao terreno: apresentam sensivelmente o mesmo grau de eficácia, até concentrações de radão de 700 Bq/m^3 , possibilitando, em alguns casos, êxito até 1000 Bq/m^3 ou 1200 Bq/m^3 , respetivamente para os sistemas de pressurização positiva e a melhoria da ventilação natural. Trata-se de intervenções relativamente onerosas.
- Melhoria da ventilação mecânica por baixo do pavimento térreo, junto ao terreno, por aspiração de ar: é ligeiramente mais eficaz que os sistemas anteriores, pois permite ser adequada até níveis de radão de 850 Bq/m^3 , ou, em alguns casos, até 1200 Bq/m^3 . Esta solução é também relativamente onerosa.
- Instalação de um sistema ativo de depressurização do terreno sob pavimentos térreos ou sob membranas contra o radão: constitui a medida mais eficaz para reduzir a concentração de radão no interior dos edifícios, com nível de eficácia assegurado até 2000 Bq/m^3 , ou mesmo superiores a este valor em alguns casos, desde que o solo seja suficientemente permeável.

Esta medida, embora muito dependente da amplitude dos trabalhos a executar, é geralmente mais dispendiosa do que as anteriores, exceto em relação à aplicação de membranas com pavimento de substituição.

- Aproveitamento de sistemas de drenagem: funcionamento semelhante aos sistemas de despressurização do terreno, muitas vezes também usados em conjunto com estes. Os sistemas ativos são mais eficazes do que os sistemas passivos. O grau de eficácia e os custos poderão ser semelhantes aos dos sistemas de despressurização subterrânea.

Complementarmente, apresenta-se no Quadro 5.1 um resumo de várias técnicas de redução dos níveis de radão no interior dos edifícios (EPA, 2013), através do qual se confirma o maior grau de eficácia das soluções envolvendo ventilação mecânica (taxa de redução do radão de 50 a 99%), relativamente às técnicas passivas.

Quadro 5.1 – Técnicas de mitigação para redução da concentração de radão nos edifícios

Técnica	Taxa típica de redução de radão	Comentários
Aspiração/despressurização ativa sob a laje térrea	50 a 99 %	Funciona melhor se o ar puder fluir facilmente nos materiais sob a laje.
Aspiração passiva sob a laje térrea	30 a 70 %	Pode ser mais eficaz em climas frios; não é tão eficaz como a despressurização ativa sob a laje.
Aspiração através de conduta perfurada (drenos sob a laje térrea)	50 a 99 %	Pode funcionar em sistemas de drenagem de águas pluviais.
Despressurização em paredes com tijolos ou blocos perfurados	50 a 99 %	Somente em edifícios com estes elementos nas paredes; requer vedação das maiores aberturas.
Despressurização através de câmara de infiltração de água construído sob a laje térrea	50 a 99 %	Funciona melhor se o ar fluir facilmente para a câmara.
Despressurização sob membrana barreira contra o radão em desvão sanitário	50 a 99 %	Em climas frios origina menos perda de calor do que a ventilação natural.
Ventilação natural em desvão sanitário	0 a 50 %	Realça-se para esta técnica a grande variabilidade dos custos para a implementar
Selagem das aberturas, fendas e fissuras de entrada do radão	Consultar comentários	Normalmente usado apenas em conjunto com outras técnicas; exige materiais e instalação adequados.
Pressurização da habitação ou da cave	50 a 99 %	Funciona melhor em caves de pequena dimensão, isoladas do exterior e dos pisos superiores. Existe o risco de escoamento de poluentes para os pisos superiores.
Ventilação natural	Variável/Temporária	Perda significativa do ar aquecido ou arrefecido, se não houver isolamento térmico adequado; os custos operacionais dependem das taxas de utilização e do caudal de ventilação.
Ventilador com recuperador de calor (VRC)	Variável (consultar comentários)	Uso limitado; eficácia dependente da concentração de radão existente ou pela quantidade de ar para ventilação disponível para diluição através da técnica VRC. Mais bem aplicado em áreas de espaço limitado, como embasamentos.

Por fim, convém destacar que:

- Todos estes sistemas de mitigação devem ser concebidos e aplicados de forma que o seu funcionamento seja compatível com a ventilação dos compartimentos ocupados dos edifícios e com o funcionamento dos aparelhos de combustão, de modo a não prejudicar o desempenho térmico do edifício e a segurança dos ocupantes;
- Deve ter-se em atenção que na maior parte dos casos (e com maior relevância em caves habitualmente ocupadas) não é suficiente adotar uma única solução para maximizar a redução das concentrações de radão no interior dos edifícios existentes, devendo-se assim ponderar quais os benefícios esperados, nomeadamente nas condições de salubridade e de conforto dos ocupantes (como o conforto térmico e acústico), face ao custo da implementação de todas as soluções possíveis.

Relativamente aos custos de cada uma das soluções propostas, sugere-se que seja criada uma base de dados com os custos aproximados que se vão apresentando no mercado nacional, nomeadamente através dos orçamentos apresentados pelos projetistas às entidades licenciadoras (ou à APA) para as obras de reabilitação de edifícios que contemplem as de mitigação da presença de radão.

Lisboa, LNEC, dezembro de 2020

VISTOS

O Diretor do Centro de Instrumentação
Científica

João Carlos Viegas

O Chefe do Núcleo de Acústica, Iluminação,
Componentes e Instalações

Jorge Viçoso Patrício

O Diretor do Departamento de Edifícios

Jorge M. Grandão Lopes

AUTORIA

Luís Pimentel Real
Investigador Auxiliar

João Carlos Viegas
Investigador Principal com Habilitação

Jorge M. Grandão Lopes
Investigador Principal

Referências bibliográficas

- BRITISH BOARD OF AGREEMENT (BBA), 2017 – **Radbar gas membrane**. Garston, 2017. Agrément Certificate n° 96/3267. Product Sheet 2.
- CEN, 1992 – **Specification for degrees of protection provided by enclosures (IP code)**. Brussels: CEN. EN 60529:1992.
- CEN, 2012 – **Flexible sheets for waterproofing - Plastic and rubber sheets for roof waterproofing - Definitions and characteristics**. Brussels: CEN. EN 13956:2012 (WI=00254141).
- CEN, 2017 – **Flexible sheets for waterproofing - Plastic and rubber damp proof sheets including plastic and rubber basement tanking sheet - Definitions and characteristics**. Brussels: CEN. EN 13967:2012+A1:2017.
- DANOSA, 2021 – **POLYDAN 180-40 P POL**. Fontanar, 2021. Ficha técnica (<https://portal.danosa.com/danosa/CMSServlet?node=141404>). Consultado em 28 de dezembro de 2020.
- DECRETO-LEI n.º 108/2018 – **Estabelece o regime jurídico da proteção radiológica**. Diário da República n.º 232/2018, Série I de 2018-12-03, pp 5490 – 5543.
- DECRETO-LEI n.º 224/2015 – **Estabelece o regime jurídico da segurança contra incêndio em edifícios**. Diário da República n.º 198/2015, Série I de 2015-10-09, pp 8740 – 8774.
- DI MARCO; *et al*, 2020 – **Convert becquerel to picocurie - radioactive decay converter**, <https://www.unitjuggler.com/convert-decay-from-Bq-to-pCi.html>, Setemember 2020.
- EPA, 2003 - **Consumer’s Guide to Radon Reduction. How to Fix Your Home**, United States Environmental Protection Agency (EPA). EPA 402-K-03-002. February, 2003.
- EPA, 2012 – **A Citizen’s Guide to Radon. The Guide to Protecting Yourself and Your Family from Radon**. EPA 402/K-12/002|2016. United States Environmental Protection Agency (EPA), Indoor Environments Division. EP 402/K-12/002. 16 pp. May 2012.
- EPA, 2013 – **Consumer’s Guide to Radon Reduction. How to Fix Your Home**, United States Environmental Protection Agency (EPA), Indoor Environments Division. EPA 402/K-10/005. March 2013.
- FAÍSCA; *et al.*, 1992 – **Indoor Radon Concentrations in Portugal - A National Survey**, Radiation Protection Dosimetry, 45, pp. 465-467.
- FAÍSCA, M. C., 1996 – **Exposição da população ao radão**. Radioprotecção, Vol. 1, nº 1, pp. 17-28, ISSN:0874-7016, Sociedade Portuguesa de Protecção Contra Radiações, ISSN:0874-7016, 1996.
- GWYNNE, A., 2013 – **Guide to Building Control: For Domestic Buildings**. John Wiley & Sons. February 2013. 328 pp. ISBN 9781118507766.
- HomeAdvisor, 2020 – <https://www.homeadvisor.com/cost/environmental-safety/remove-radon-gas/>. Consultado em 28 de dezembro de 2020)

- IPQ, 2008 – **Membranas de impermeabilização flexíveis. Membranas betuminosas usadas contra a ascensão capilar de água do terreno. Definições e características.** Caparica, IPQ. NP EN 13969:2008.
- IPQ, 2009 – **Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás - parte 2: edifícios de habitação - ventilação mecânica centralizada (VMC) de fluxo simples.** Caparica: IPQ. NP 1037-2:2009.
- IPQ, 2011 – **Membranas de impermeabilização flexíveis; Membranas betuminosas armadas para impermeabilização de coberturas; Definições e características.** Caparica: IPQ. NP EN 13707:2004+A2:2011.
- IPQ, 2012 – **Ventilação dos edifícios com aparelhos a gás. Parte 3-1: Edifícios de habitação. Instalação dos aparelhos a gás: volume dos locais; posicionamento dos aparelhos e suas ligações aos vários sistemas de alimentação; ligações ao sistema de ventilação.** Caparica: IPQ. NP 1037-3-1:2012/Emenda 1.
- IPQ, 2015 – **Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás; Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural.** Caparica: IPQ. NP 1037-1: 2015.
- ISO, 2017 – **Measurement of radioactivity in the environment — Air: radon 222 — Part 13: Determination of the diffusion coefficient in waterproof materials: membrane two-side activity concentration test method.** Zurique: ISO. ISO/TS 11665-13: 2017.
- JIRÁNEK, Martin; HŮLKA, Jiří, 2000 – **Radon diffusion coefficient in radon-proof membranes – Determination and applicability for the design of radon barriers**, in International Journal on Architectural Science, Volume 1, Number 4, p.149-155, 2000.
- JIRÁNEK, Martin, s/d – **Testing and design of radon resisting membranes based on the experience of Czeck Republic.** Praha. Czeck Technical University, Faculty of Civil Engineering.
- JUTA, 2020 – **JUNIFOL.** <https://www.juta-geosynthetics.com/testing/waterproofing-membranes-and-anti-radon-barriers>. Consultado em 28 de dezembro de 2020).
- KHAN; *et al.*, 2019 – **Radon interventions around the globe: A systematic review.** Heliyon, Volume 5, Issue 5, May 2019, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01737>.
- LUSORADON, 2015 – <https://www.centronoticias.pt/2015/05/09/lusoradon-e-especializada-em-resolver/> (consultado em 28 de dezembro de 2020).
- MADRUGA; *et al.*, 2019 - **Radiation Exposure from Natural Radionuclides in Building Materials.** Radiation Protection Dosimetry (2019), Vol. 185, No. 1, pp. 57–65, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncy256>.
- NASAI, 2009 - NecoFlex RAM™ – **Radon, Air and Moisture Protection System.** Dublin, 2009. Certificate nº 09/0328.
- NECOFLEX LIMITED, 2014 – **Monarflex. Reflex Super. Gas protection systems.** Dublin, 2014. Product Information Sheet, Issue 01.
- Public Health England (PHE), 2019 – **Passive Remediation of Radon in UK Homes.** London, PHE publisher. Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards.
- PHE, 2020 – <https://www.phe-protectionservices.org.uk/radon/information/reducelevels> (consultado em 28 de dezembro de 2020).

- Portaria n.º 949-A/2006 – **Aprova as Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Diário da República n.º 175/2006, 1º Suplemento, Série I de 2006-09-11, 176 páginas.
- Portaria n.º 135/2020 – **Altera e atualiza o Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (SCIE), aprovado pela Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro**. Diário da República n.º 107/2020, Série I de 2020-06-02. Páginas 2 – 214.
- RAMADAN, K. A.; UBEID, K. F., 2018 – **Measurement of Radon Exhalation Rates from Different Rock Types and Construction Materials (Gaza Strip, Palestine)**. *Yerbilimleri (Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University)*, 39 (3), pp. 195-206, 2018.
- RGEU, 1951 – **Regulamento Geral das Edificações Urbanas**, Decreto-Lei n.º 38 382 de 7 de agosto de 1951.
- SCIVYER, C. R.; JAGGS, M. P. R., 1998 – **A BRE guide to radon remedial measures in existing dwellings. Dwellings with cellars and basements**. 1998. BR 343. ISBN 186081 219 8.
- SCIVYER, C. R., 2012 – **BRE Good Repair. Guide GRG 37. Part 1 - Radon solutions in homes: improving underfloor ventilation**. Bracknell, IHS BRE Press, 2012. ISBN 978-1 -84806-300-6.
- SCIVYER, C. R., 2013a – **BRE Good Repair. Guide GRG 37. Part 2 - Radon solutions in homes: positive house ventilation**. ISBN 978-1-84806-301-3.
- SCIVYER, C. R., 2013b – **BRE Good Repair. Guide GRG 37. Part 3 - Radon solutions in homes: Radon sump systems**. Bracknell, IHS BRE Press, 2013. ISBN 978-1-84806-302-0.
- SCIVYER, C. R., 2015a – **Radon protection for new domestic extensions and conservatories with solid concrete ground floors**. *Good Building Guide*, GG 73. BRE. January 2015. IHS BRE Press, Garston, Watford. ISBN 978-1-84806-405-8.
- SCIVYER, C. R., 2015b – **Radon protection for new dwellings. Good Building Guide**, GG 74. BRE. January 2015. IHS BRE Press, Garston, Watford. ISBN 978-1-84806-406-5.
- TURK, Bradley H. *et al*, 1991 - **Effectiveness of Radon Control Techniques in Fifteen Homes**. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 41, 1991.
- VETROASFASTO, s/d – **Viapol Techno Sphera. APP Elastoplastomeric membrane**. Basiano (MI). Data Sheet.
- VIEGAS, 2005 – **Ventilação Natural de Edifícios de Habitação**. LNEC, 2010. CED 4, 120 pp.
- VISQUEEN, 2018 – **Radon membrane**. Derbyshire, 2018. Technical Support: 0333 202 6800.
- YOUTUBE, 2012 – **Using Drainage Systems to Mitigate Radon**, CERTI, 2012, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=pD6IDblQ8xg>, video baseado no livro “Do-It-Yourself. Protecting Your Home From Radon”, publicado pelo Center for Environmental Research and Technology Inc. (CERTI), consultado em janeiro de 2021.
- YOUTUBE, 2013 – **Drain Trench Performance: Radon Mitigation and Foundation Drainage**, Home Performance, 2013, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=AliH2EkJOfM>, consultado em janeiro de 2021.
- YOUTUBE, 2019 – **Radon Mitigation in a Home with Drain Tile**, American Radon Mitigation, 2019, disponível em https://www.youtube.com/watch?v=h0g_UY5-Zew, consultado em janeiro de 2021.

ZEEB, H.; SHANNOUN, F., 2009 – **WHO Handbook on Indoor Radon. A Public Health Perspective.**

World Health Organization, 2009, 94 pp. ISBN 978 92 4 154767 3.

Agradecimentos

Agradece-se ao Sr. Óscar Silva, da firma RadãoStop (PT), a cedência de algumas imagens, designadamente as Figuras 3.18, AIV.4 e AIV.5.

Agradece-se ao Eng.º Bruno Nogueira, da firma Lusoradon (PT), a cedência da imagem da Figura AIV.6.

Agradece-se à firma Visqueen (UK) a permissão de reprodução de algumas imagens, designadamente as Figuras 3.16, 3.19 e 3.20.

Agradece-se ao British Research Establishment (BRE, UK) e à Editora IHS Markit a permissão de reprodução de algumas imagens, designadamente as Figuras AI.2, AI.3, AI.5, AIII.2 e AIV.2.

Anexos

ANEXO I

Melhoria da ventilação natural por baixo do pavimento térreo junto ao terreno

1 – OBJETIVOS E CAMPO DE APLICAÇÃO

Pretende-se dar orientações aos projetistas e construtores, e também a proprietários de edifícios, para os trabalhos a realizar para aumentar a ventilação natural sob pavimentos térreos. Para tal torna-se necessário, evidentemente, que exista uma caixa de ar sob esses pavimentos, ou seja, que o pavimento não esteja em contacto com o terreno.

Também são dadas orientações sobre o sistema de manutenção a implementar e sobre as intervenções a realizar quando o sistema não evidenciar uma redução adequada dos níveis de radão.

As soluções apresentadas seguidamente podem ser utilizadas sob qualquer tipo de pavimento (de madeira ou de betão, ou de soluções mistas com dois materiais distintos).

2 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Devido a ligeiras diferenças nas pressões interiores e exteriores ao edifício, causadas pelo vento e por diferenças de temperatura, o radão proveniente do solo é propagado para o interior do edifício. Ao ser incrementada a área das aberturas de ventilação (maiores aberturas ou em maior número, ou aberturas adicionais) sob o pavimento térreo e nas paredes envolventes do edifício, o caudal de ventilação é incrementado (especialmente por ação do vento) e o radão que existe no ar sob o pavimento do edifício, é diluído pelo ar, o qual contém um teor muito menor de radão (aproximadamente $10 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$), que circula do exterior para o interior da caixa de ar.

3 – EFICÁCIA

A melhoria da ventilação natural por baixo do pavimento é adequada e geralmente eficaz para habitações ou outro tipo de espaços autónomos, com concentrações de radão até $500 \text{ Bq}/\text{m}^3$ (Scivyer, 2012).

Caso se venha a verificar que esta solução não é suficientemente eficaz, pode-se complementar a instalação adicionando posteriormente um ventilador mecânico por baixo do pavimento ou no exterior.

Os sistemas de ventilação natural também podem ser aplicados em caves parciais, com paredes expostas, ou, nos outros casos providenciando aberturas de ventilação em paredes duplas, orientando as saídas para uma cota acima do nível do solo.

Para otimizar a ventilação cruzada (ventilação por ação do vento) e minimizar as zonas de estagnação de ar abaixo do piso, deve haver aberturas nas paredes opostas do piso e não em zonas de cunhal (Figura AI.1) (Scivyer, 2012). Devem existir aberturas aplicadas na parede, sujeita pelo exterior a pressões positivas que conduzem o ar para o interior do edifício. Nas restantes paredes geram-se pressões negativas que promovem o escoamento do ar da caixa de ar para o exterior. As aberturas colocadas nas paredes sujeitas a pressões positivas não devem ficar obstruídas por obstáculos próximos que dificultem a circulação do vento, pois, a acontecer, podem-se gerar pressões negativas nas zonas dessas aberturas que contrariem, portanto, o sentido pretendido do escoamento de ar. Se

existir grande probabilidade de um segundo rumo de ação do vento, deve colocar-se um segundo conjunto de aberturas dispostas da forma anteriormente descrita, para maximizar a sua ação.

Convém ainda ter em conta os obstáculos que existam no espaço da caixa de ar, como por exemplo paredes resistentes, de forma a garantir que seja eficaz o modelo de funcionamento adotado, com as aberturas definidas e realizadas nas paredes exteriores.

A melhoria da ventilação por baixo do pavimento para reduzir os níveis de radão também beneficia os espaços do piso sobrejacente do edifício, evitando ou reduzindo a ocorrência de humidade.

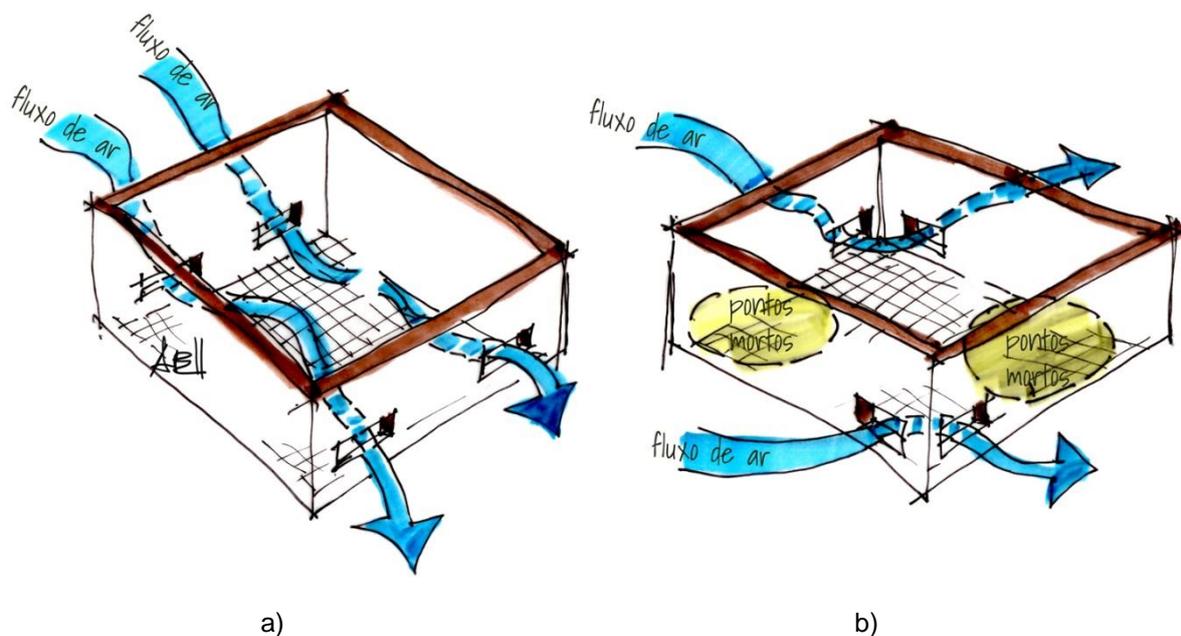


Figura A1.1 – Exemplos de (a) boa ventilação e (b) má ventilação, com zonas de estagnação

4 – ADEQUABILIDADE

Este método é principalmente adequado se parte, ou a totalidade, do pavimento do piso térreo for constituído por elementos de madeira; a sua eficácia é naturalmente superior se o pavimento for formado por uma laje de betão, devido à maior resistência dessa laje à passagem do radão para o piso sobrejacente.

Pavimentos de madeira com caixa de ar

Se parte, ou a totalidade, do pavimento do piso térreo com caixa de ar for constituído com elementos em madeira, a melhoria da ventilação por baixo do pavimento pode ser um método adequado para reduzir os níveis de radão no interior dos edifícios. Além disso, os pavimentos de madeira com caixa de ar devem ser bem ventilados para reduzir o risco de ataque da madeira por agentes biológicos e odores a mofo.

Pavimentos de betão com caixa de ar

Os pavimentos de vigotas e abobadilhas cerâmicas ou de betão apenas se tornaram mais comuns no início da década de 1980, podendo ser difíceis de identificar, uma vez que o acabamento do piso é semelhante ao de um pavimento de betão maciço. Nas paredes exteriores podem existir grelhas de ventilação ou tijolos perfurados, logo acima do nível do solo, sendo visíveis pelo exterior. Se estas aberturas de ventilação não forem visíveis, então o pavimento de betão pode ter sido aplicado diretamente sobre o terreno e, nesse caso, terá de ser tratado, para efeitos de redução de propagação de radão de uma outra forma, ou seja, como um pavimento de betão normal assente diretamente no terreno.

5 – METODOLOGIA DE INSTALAÇÃO

Caso já existam aberturas de ventilação nas paredes abaixo do piso térreo, geralmente materializadas através de grelhas de ventilação ou dos tijolos perfurados, um dos primeiros passos a executar, consiste na sua substituição, se se encontrarem deteriorados ou obstruídos. Caso se encontrem em bom estado de conservação ou possam ser reabilitados (desobstruídos e limpos), podem manter-se, acrescentando, se necessário, aberturas de ventilação adicionais.

As aberturas de ventilação devem ser protegidas por grelhas que impeçam a passagem de roedores, ou outros animais, e que lhes sejam resistentes de modo a não serem por eles destruídas.

— Verificar e limpar as aberturas de ventilação existentes

Quando não existe uma manutenção satisfatória, é comum que as aberturas de ventilação fiquem bloqueadas, de tal modo que já não permitam uma ventilação adequada do espaço sob o pavimento. Podem ter ficado bloqueadas com sujidade ou detritos diversos, obstruídas pela folhagem, por alterações efetuadas sem a devida precaução, ou por qualquer outro motivo (Figura AI.2).

Caso à vista desarmada não se consiga perceber com rigor se as aberturas estão convenientemente abertas até ao interior da caixa de ar, pode-se fazer passar um arame grosso ou outro elemento semelhante através delas para se fazer tal verificação.

Em qualquer destas situações, será necessário instalar aberturas de ventilação adicionais, dado que, em princípio, as existentes terão sido aplicadas apenas para garantirem alguma ventilação do espaço sob o pavimento de modo a reduzir a possibilidade de transmissão de humidade para o piso sobrejacente.



Figura A1.2 – Exemplos de aberturas de ventilação, construídas na parede, imediatamente acima nível do solo, bloqueadas ou obstruídas¹¹

As aberturas de ventilação podem ainda ter sido colocadas abaixo da superfície do terreno exterior, cujo acesso se faça através de uma abertura no terreno adjacente (Figura A1.3). Estas aberturas podem ser preenchidas rapidamente com detritos diversos, nomeadamente folhagem, bloqueando as aberturas de ventilação colocadas nas paredes (Figura A1.3). Estas soluções são naturalmente menos eficientes do que as anteriores, recomendando-se que, a manterem-se, e sempre que possível, sejam alargadas e aprofundadas, de modo a facilitar a circulação de ar na caixa de ar sob o pavimento.



Figura A1.3 – Exemplos de aberturas de ventilação instaladas abaixo do nível do solo, parcialmente ou totalmente obstruídas¹¹

¹¹ © IHS Markit, reproduzido com permissão de “Radon Solutions in Homes Part 1: Improving Underfloor Ventilation (GRG 37/1)”.

— **Verificação das aberturas de ventilação em paredes duplas**

As aberturas de ventilação instaladas, ou a instalar, através das paredes duplas, devem ser formadas por troços de uma conduta, para que o escoamento do ar se possa fazer diretamente do exterior para o interior da caixa de ar sob o pavimento, sem perdas para a caixa de ar da parede dupla (Figura Al.4). Os tijolos ou blocos usados em cada paramento de uma parede dupla raramente se alinham entre si na zona da abertura de ventilação, dificultando a instalação de novas condutas. Por vezes, erradamente, a instalação das aberturas de ventilação é feita apenas no pano exterior da parede, esperando-se que o ar circule até à caixa de ar sob o pavimento através de fendas ou aberturas existentes na alvenaria e nas respetivas juntas entre blocos ou tijolos. Nestas circunstâncias, a ventilação na caixa de ar sob o pavimento é evidentemente bastante mais reduzida do que a resulta da instalação de aberturas com troços de conduta (Scivyer, 2012).

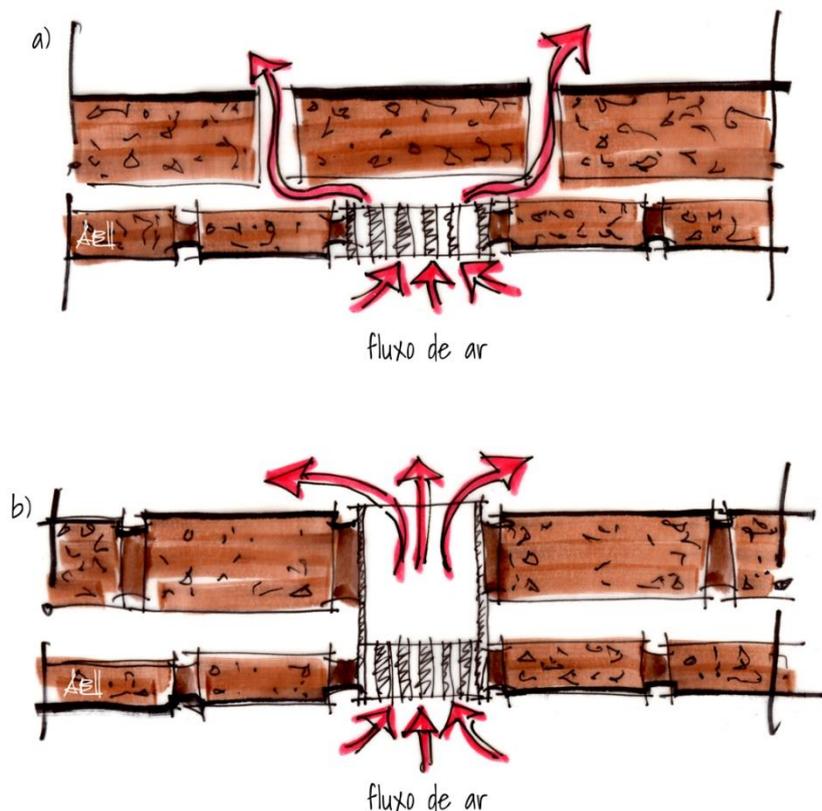


Figura Al.4 – Escoamento do ar em paredes duplas através: (a) de fendas ou aberturas na alvenaria; (b) de troço de conduta

Caso, na parede dupla, tenha sido, ou venha a ser aplicado um material isolante térmico, convém verificar se as aberturas de ventilação não foram, ou passem a estar bloqueadas com essa aplicação.

— **Instalação do número de aberturas de ventilação ideal para o objetivo pretendido**

Para assegurar o nível de ventilação natural adequado, devem seguir-se as seguintes orientações:

- As aberturas de ventilação devem ser instaladas em, pelo menos, duas paredes opostas para facilitar a circulação do ar na caixa de ar por baixo do pavimento.
- A dimensão das aberturas de ventilação a instalar depende fundamentalmente da espessura dessa caixa de ar e da existência de obstruções totais ou parciais (através de paredes) entre o terreno e a superfície inferior do pavimento. A espessura do espaço de ar sob o pavimento pode variar entre valores quase nulos e valores típicos de 0,45 m a 0,60 m. Para espessuras desta ordem de grandeza, as aberturas de ventilação devem ter pelo 1500 mm² por cada metro linear de perímetro da parede (medido em planta).
- As aberturas de ventilação têm tipicamente as dimensões aproximadas de um tijolo ou bloco e devem ser espaçadas de cerca de 1,5 m a 2,0 m, ao longo do perímetro do edifício.
- Caso a espessura da caixa de ar seja superior aos valores apresentados, ou tiver profundidades variáveis, como é comum acontecer em edifícios localizados em terrenos inclinados, a secção das aberturas de ventilação deve ser aumentada adequadamente.

— **Posicionamento adequado das aberturas de ventilação**

A disposição do edifício no terreno e a geometria dos pavimentos com caixa de ar subjacente podem ser fatores limitativos da localização de novas aberturas de ventilação. Os edifícios em terrenos inclinados são muitas vezes os mais difíceis de abordar, em termos de instalação de aberturas de ventilação, pois nas zonas onde a cota do terreno é mais elevada, pode existir apenas uma pequena área nas paredes acima do terreno para instalar novas aberturas de ventilação.

É ainda preciso confirmar se a caixa de ar existente constitui um espaço único, ou se eventualmente se encontra compartimentado, conforme atrás já se referiu. Neste último caso, a ventilação cruzada, ou não será possível de se verificar, ou será muito deficiente. Para mitigar esta situação, devem existir aberturas de ventilação em todos os septos (paredes) que compartimentem o espaço da caixa de ar, obedecendo às regras anteriormente descritas.

— **Substituição das aberturas de ventilação existentes e instalação de adicionais**

A maior parte das aberturas de ventilação de edifícios antigos, designadamente as existentes em tijolos perfurados, estão normalmente em mau estado de conservação e, mesmo não estando, têm uma área livre reduzida para o efeito pretendido, a qual, por vezes, é menor do que a que aparenta quando vistas de frente (Figura A1.5). Consequentemente, devem ser substituídas por aberturas de ventilação de maior secção, como as existentes em grelhas de lâminas, as quais permitem um maior caudal de ar (Figura A1.6).

Recomenda-se a instalação de aberturas de ventilação adicionais sempre que as existentes estejam em mau estado, ou não sejam em quantidade suficiente. A instalação em paredes de alvenaria de tijolo

ou de blocos de betão pode fazer-se facilmente, através da remoção de um número limitado desses tijolos ou blocos. Já se torna mais difícil a sua instalação em paredes de pedra, geralmente com espessuras significativas em edifícios antigos; a perfuração dessas paredes pode fazer-se utilizando brocas circulares (por exemplo, com 110 mm de diâmetro), resultando daí aberturas de ventilação circulares.

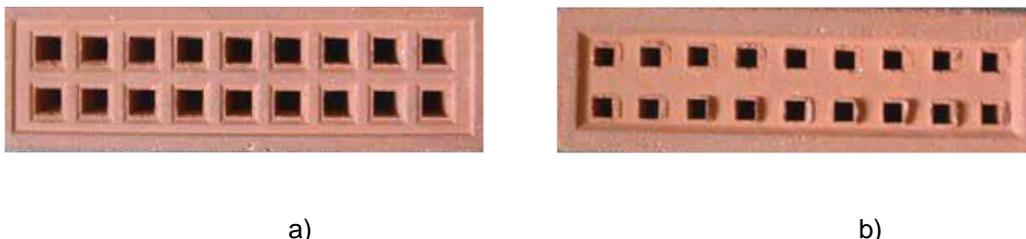


Figura A1.5 – Aberturas de ventilação em peças de material cerâmico¹², vista de frente (a) e vista de trás (b)



Figura A1.6 – Aberturas de ventilação com grelhas de lâminas¹²

As aberturas de ventilação devem ser evidentemente instaladas acima do nível do terreno exterior, devendo localizar-se de forma a ventilar adequadamente o espaço por baixo do pavimento térreo. Quando o nível do terreno exterior é relativamente mais elevado do que o interior (sob o pavimento), devem usar-se aberturas de ventilação periscópicas, solução que, no entanto, requer tecnologias de perfuração mais sofisticadas (Figura A1.7).

É sempre recomendável selar bem as juntas entre as aberturas realizadas na parede e os elementos de ventilação aí colocados (nomeadamente as aberturas de ventilação telescópicas ou periscópicas), de forma a aumentar a sua estanquidade e reduzir a possibilidade de fuga de radão (Scivyear, 2012).

¹² © IHS Markit, reproduzido com permissão de “Radon Solutions in Homes Part 1: Improving Underfloor Ventilation (GRG 37/1)”.

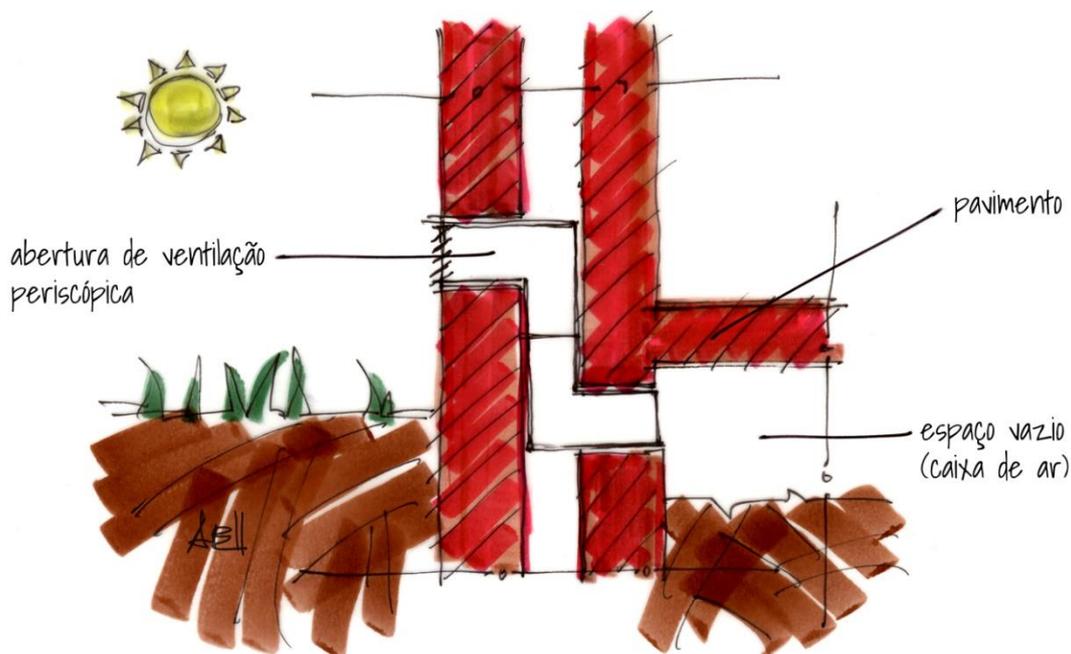


Figura A1.7 – Esquema de abertura de ventilação periscópica

Recomenda-se a instalação de aberturas de ventilação que tenham uma proteção interior que impeça a entrada de animais ou insetos e, no exterior, uma proteção que evite a infiltração de água da chuva (Figura A1.8).



Figura A1.8 – Exemplos de grelhas de ventilação com proteção

6 – CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

Variações de temperatura

O aumento da ventilação por baixo do pavimento irá fazer circular mais ar à temperatura exterior, contribuindo para maiores trocas de calor com os compartimentos sobrejacentes, podendo assim aumentar o consumo energético de climatização nesses compartimentos.

Para minimizar esta situação e restringir também o mais possível o escoamento de radão para os pisos superiores, é aconselhável tomar medidas para vedar quaisquer aberturas através do pavimento, mediante a aplicação de vedantes adequados a cada caso, ou mesmo a colocação de membranas

impermeáveis ao radão; podem aproveitar-se os respetivos trabalhos para isolar termicamente o pavimento (vd. Anexo V) e as tubagens da rede de água quente e fria que eventualmente existam sob ele, reduzindo também assim as perdas térmicas através dessas tubagens e a possibilidade de congelamento da água.

Alterações de pressão e de caudal de ar devidos a *equipamentos de combustão*

Quando existem aberturas de ventilação nos pavimentos sobre a caixa de ar para admitir ar para a combustão de aparelhos de combustão com exaustão natural, estas devem ser seladas, para impedir que o fluxo de ar e de gases de combustão na chaminé seja invertido, em consequência de eventuais depressões geradas pelo vento na caixa de ar, e que escoe para compartimentos ocupados. Porém, tem de se criar uma abertura de ventilação alternativa para a alimentação de ar novo para os aparelhos de combustão, podendo ser colocada numa parede acima do pavimento, devendo-se também assegurar que a chaminé ou a conduta de exaustão conduza os gases diretamente para o exterior, de acordo com a prescrições das normas NP 1037-1 (IPQ, 2015) e NP 1037-2 (IPQ, 2009).

7 – ENSAIO DE FUNCIONAMENTO

Deve-se verificar se o sistema de ventilação natural implementado ou melhorado funciona e é eficaz. Para isso, recomenda-se que, nos edifícios onde se tenham implementado medidas corretivas para reduzir o teor de radão, se faça uma reavaliação dos níveis de radão, durante cerca de 3 meses, para verificar a eficácia do sistema aplicado. Note-se que determinações do teor de radão realizadas por períodos mais curtos (entre 7 a 14 dias) podem conduzir a falsas interpretações devidas a grandes flutuações das concentrações de radão que podem ocorrer diariamente.

As determinações dos níveis de radão deverão ser repetidas a intervalos de cinco a dez anos e após quaisquer alterações substanciais no edifício, quer sejam construtivas quer sejam na forma como este é utilizado (por exemplo, na alteração do tipo de ocupantes). Intervenções como a ampliação do edifício ou trabalhos de conservação ou reabilitação, nomeadamente a instalação de nova caixilharia, mais estanque ao ar, e com vidros mais isolantes, podem alterar os padrões de ventilação e/ou aquecimento, podendo afetar a concentração de radão no interior do edifício.

Caso a concentração de radão, após a implementação das medidas de mitigação, não seja reduzida ou seja apenas ligeiramente reduzida, deve-se investigar a razão do insucesso e implementar medidas corretivas (ver Quadro AI.1)

Quadro A1.1 – Medidas corretivas para melhoria da ventilação natural por baixo de pavimentos térreos

PROBLEMA	OBSERVAÇÃO	SOLUÇÃO
<p><i>Não existe alteração nos níveis de radão ou verifica-se apenas uma ligeira redução</i></p>	<p><i>As aberturas de ventilação parecem estar limpas</i></p>	<p><i>Verificar se existem aberturas de ventilação suficientes, adequadamente posicionadas e expostas ao vento, conforme descrito neste Anexo.</i></p> <p><i>Caso contrário, considerar a possibilidade de instalar aberturas de ventilação adicionais.</i></p> <p><i>Em alternativa, considerar a necessidade de instalar um ventilador mecânico no lugar de uma das aberturas de ventilação.</i></p> <p><i>Nota: Nos casos em que apenas parte de um piso térreo tem uma construção com caixa de ar, a eficácia do aumento da ventilação por baixo do piso pode não ser tão grande e portanto deve ser considerada uma solução alternativa, como por exemplo a instalação de um sistema de depressurização subterrânea ou um sistema de ventilação positiva que vise outras áreas do edifício (consultar o Anexo III).</i></p>

8 – MANUTENÇÃO

O estado das aberturas de ventilação localizadas nas paredes exteriores sob o pavimento deve ser verificado o número de vezes necessário para garantir que estas não ficam de alguma forma bloqueadas. Essa verificação deve ser realizada pelo menos, uma vez por ano, de preferência na primavera. Os detritos que obstruam as aberturas de ventilação devem ser retirados com uma escova manual, ou outro dispositivo apropriado, de forma a evitar o mais possível que se desloquem para o interior da caixa de ar sob o pavimento.

ANEXO II

Melhoria da ventilação mecânica por baixo do pavimento térreo junto ao terreno

1 – OBJETIVOS E CAMPO DE APLICAÇÃO

Pretende-se dar orientações aos projetistas e construtores, e também a proprietários de edifícios, para os trabalhos a realizar para melhorar a ventilação sob pavimentos térreos, utilizando para isso meios ativos. Para tal, torna-se necessário, evidentemente, que exista uma caixa de ar sob esses pavimentos, ou seja, que o pavimento não esteja em contacto com o terreno.

Também são dadas orientações sobre o sistema de manutenção a implementar e sobre as intervenções a realizar quando esse sistema não evidencie uma redução adequada dos níveis de radão.

As soluções apresentadas seguidamente podem ser utilizadas sob qualquer tipo de pavimento (de madeira ou de betão, ou de soluções mistas com os dois materiais aplicados em locais distintos do edifício).

2 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Devido a ligeiras diferenças entre as pressões no terreno e fora dele, causadas pelo vento e por diferenças de temperatura (efeito chaminé), o radão proveniente do terreno propaga-se para o interior do edifício. Instalando-se um sistema de ventilação mecânica da caixa de ar sob o pavimento, cria-se um escoamento de varrimento, originando a diluição do radão que existe nessa caixa de ar e a diminuição da respetiva concentração.

3 – EFICÁCIA

A ventilação mecânica por baixo do pavimento pode ser utilizada em pavimentos com caixa de ar subjacente para as quais a ventilação natural seja inadequada ou insuficiente, sendo uma solução adequada para níveis de radão até 850 Bq/m^3 (Scivyer e Jaggs, 1998).

Os ventiladores podem ser utilizados para insuflar ou aspirar ar. Tanto a ventilação por aspiração como a ventilação por insuflação podem ser usadas, mas é difícil dizer, à partida, qual a melhor para um edifício em particular, pois a sua eficácia depende de vários fatores, nomeadamente da permeabilidade do pavimento e do número e posição das grelhas (aberturas) de ventilação, entre outros. Como ambos os métodos envolvem exatamente o mesmo tipo de trabalhos, diferindo apenas a forma como o ventilador funciona, a abordagem recomendada consiste em aplicar um dos métodos e, se esse não funcionar bem, inverter o ventilador, ou seja, usá-lo para insuflação de ar, em vez de para aspiração de ar, ou vice-versa. Todavia, é preciso ter em conta que a insuflação gera pressões positivas que promovem o escoamento para o interior do edifício, podendo permitir a condução mais acentuada de odores e do gás radão, se não existir um elemento construtivo de baixa permeabilidade ao ar entre o espaço pressurizado (a caixa de ar sob o pavimento) e o interior do edifício. O risco de migração de cheiros e do próprio radão para o edifício depende da diferença de pressão existente entre estes espaços; assim, se as aberturas de exaustão de ar forem amplas, o nível de pressurização será baixo, pelo que se minimiza esse risco.

A ventilação mecânica sob o pavimento funciona principalmente através da diluição do radão no ar por baixo do pavimento. Na ventilação por aspiração ocorre alguma extração de radão da caixa de ar, e na ventilação por insuflação proporciona-se um ligeiro efeito de pressurização nessa caixa de ar, reduzindo assim a entrada de radão, proveniente do solo, no espaço por baixo do pavimento.

Para esta solução de ventilação mecânica, são válidas as indicações de otimização de ventilação cruzada indicadas no Anexo I para sistemas de ventilação natural, bem como a sua adequação em função do tipo de pavimentos (madeira ou betão) e de todas as referências relativas às aberturas de ventilação.

4 – LOCALIZAÇÃO DOS VENTILADORES

A localização preferencial dos ventiladores é no exterior do edifício, respeitando os requisitos estéticos e de segurança vigentes na zona da construção, ou em espaços subterrâneos (desvão sanitário ou caixa de ar).

Caso sejam colocados no interior do edifício, estes não devem estar localizados no espaço por debaixo de uma área habitável, devendo ser instalados em espaços não climatizados, preferencialmente na cave, garagem ou sótão.

Qualquer ventilador instalado no exterior, terá de ser resistente aos agentes atmosféricos, pelo que na maior parte dos casos é mais prudente que ele seja montado dentro de uma caixa estanque à água e resistente à ação dos agentes atmosféricos normais, e a eventuais ações ocasionais dos utilizadores; pode sempre minimizar-se o impacto estético sobre o edifício através de soluções que sejam agradáveis visualmente, desde que cumpram o distanciamento recomendado em relação a aberturas existentes no edifício (grelhas, janelas, portas, etc.).

Em alternativa, o ventilador pode ser colocado por debaixo do pavimento. A principal vantagem desta localização será o menor impacto estético que poderia causar no edifício. Porém, deve ter-se em conta que esta solução pode ser suscetível de aumentar os níveis de ruído nos espaços sobrejacentes do edifício, para além, naturalmente, da necessidade de se remover parcialmente parte do pavimento térreo. Mesmo com a sua localização no exterior, este aspeto relacionado com o ruído deve ser tido em conta, especialmente se o ventilador estiver localizado próximo de um vão de um quarto.

Não se devem instalar ventiladores perto de aberturas de circulação de ar (aberturas de ventilação). Se uma abertura estiver muito próxima (ou seja, a uma distância inferior a 1,5 m) de um ventilador que extrai ar debaixo do pavimento, o ar externo pode ser aspirado através da abertura para o espaço de ar sob o pavimento e depois recirculado para o exterior pelo ventilador. Esse 'curto-circuito' significa que é improvável que o sistema funcione efetivamente. Se o local ideal para a instalação do ventilador estiver perto de uma abertura de ventilação, esta deve ser fechada.

5 – NÚMERO E CARACTERÍSTICAS DOS VENTILADORES

O dimensionamento de um ventilador depende fundamentalmente do espaço a ventilar e do nível de radão existente, pelo que não é possível estabelecer uma especificação adequada a todas as circunstâncias. Para habitações, ou espaços ocupados, de dimensão média, um único ventilador pode ser adequado. No entanto, é importante que seja selecionado com base na estimativa do volume do espaço sob o pavimento e na taxa de renovação de ar a estabelecer.

A utilização de dois ventiladores mais pequenos, instalados em locais distintos do edifício, em vez de apenas um, pode permitir obter resultados equivalentes, tornando-se uma alternativa que pode ser vantajosa sob o ponto de vista da instalação, para além de permitir reduzir o nível de ruído.

O sistema de ventilação selecionado deve assegurar uma taxa de ventilação entre 3 e 10 renovações por hora, e ser capaz de manter os ventiladores a funcionar continuamente durante todo o ano.

De uma forma genérica, pode-se estabelecer que um ventilador a instalar para uma habitação média, deve ter uma potência mínima aproximada de 75 W.

Os ventiladores podem ser de tipo centrífugo ou axial (Figura AII.1 e Figura AII.2). Não há evidências suficientes para indicar qual deles possa ser o melhor, mas, em princípio, os ventiladores axiais (que, em geral, têm caudais mais elevados e pressões mais baixas do que os ventiladores centrífugos) devem conduzir a maiores reduções do nível de radão, desde que haja aberturas de ventilação suficientes no lado oposto do edifício para permitir a ventilação cruzada adequada. O desempenho dos ventiladores axiais diminui significativamente se eles precisarem de ser ligados a condutas de aspiração, devido ao incremento das perdas de carga.

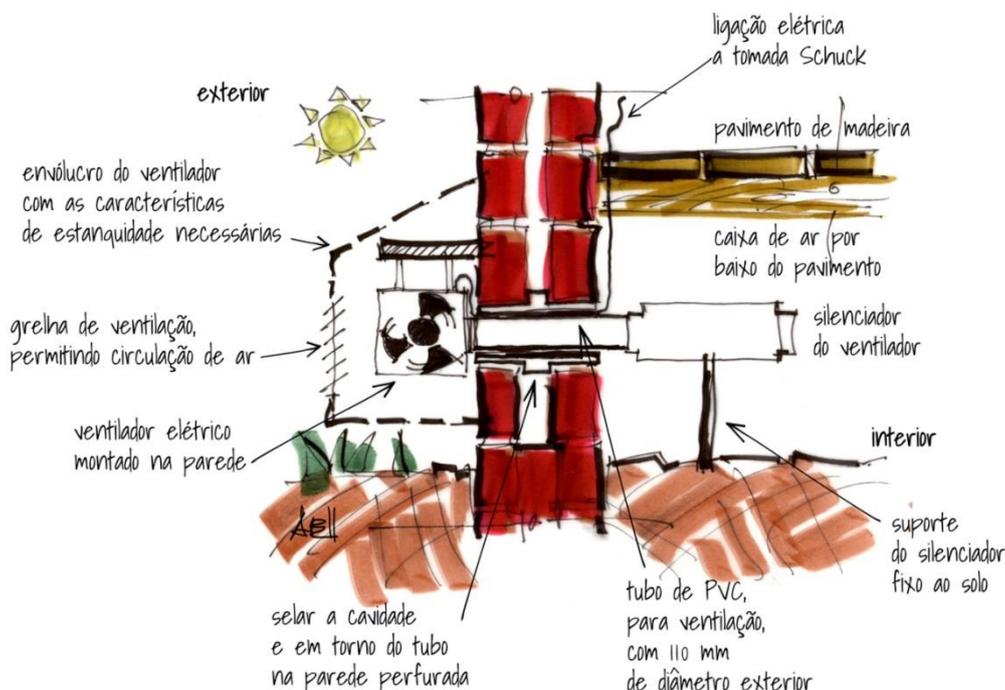


Figura AII.1 – Esquema de ventilador de exaustão centrífugo ligado a conduta

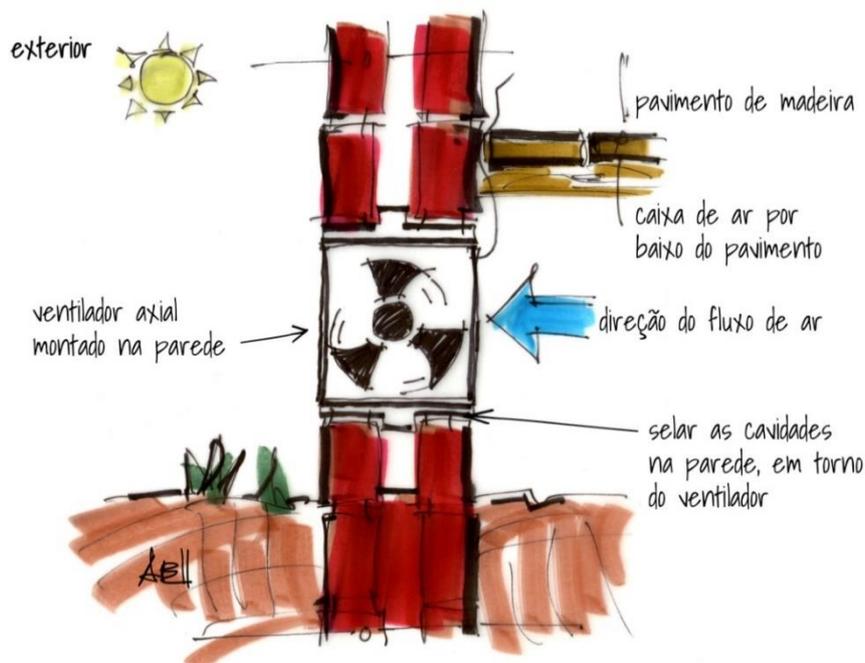


Figura AII.2 – Esquema de ventilador axial localizado dentro de uma cavidade inserida na parede

Quando o espaço disponível para a colocação do ventilador é restrito, como geralmente acontece em espaços abertos debaixo de pavimentos de espaços utilizados, o recurso a um ventilador centrífugo ligado a uma conduta pode ser a única opção possível. Um ventilador centrífugo tem a vantagem de poder ser ligado a condutas de menor secção e, se necessário, a um atenuador acústico.

Um ventilador que tenha de ficar no exterior, exposto aos agentes atmosféricos, deve estar devidamente protegido, de acordo com o nível IP54 segundo a classificação da norma EN 60529 (CEN, 1992). Caso o ventilador não satisfaça este nível de proteção, terá de estar localizado num local protegido da ação da água da chuva ou de rega.

Os ventiladores devem ser cablados de acordo com a Portaria n.º 949-A/2006.

Um ventilador energeticamente eficiente, estanque à passagem de radão, silencioso, com motor termicamente protegido, apto a uso interior e exterior em espaços comerciais e residenciais e com 5 anos de garantia, tem um custo aproximado entre 300 euros (50 a 75 W, 375 Pa) e 500 euros (90 a 120 W, 440 Pa).

6 – MODO DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO

Na maioria dos casos, para instalar ventilação mecânica num espaço de ar por baixo de um pavimento, começa-se por se retirar uma grelha de ventilação (respirador), caso exista, ou instalar-se uma nova, se não existir, de forma a colocar ou ligar aí o ventilador (Scivyear, 2012).

O ventilador deve ser ligado a uma conduta de ventilação, com cerca de 110 mm de diâmetro, a qual se deve manter firmemente no lugar para que se possa fixar o ventilador.

Nos casos em que não haja aberturas de comunicação entre os espaços subterrâneos confinados, a conduta, a ligar ao ventilador, deve atravessar esses espaços para ventilar os vários compartimentos (Figura All.3).



Figura All.3 – Representação de um sistema múltiplo de ventilação, equipado com um atenuador acústico, atuando por baixo de vários quartos

7 – CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

7.1 - Redução do ruído

Na maioria dos casos, os ventiladores instalados sob o pavimento funcionam de forma relativamente silenciosa, mas ocasionalmente o ruído gerado pode ser suficientemente audível, especialmente no período noturno. O ruído é mais frequentemente causado pelo escoamento do ar nas condutas do que pelo funcionamento do próprio ventilador.

As condutas de exaustão (e também os ventiladores) podem ser colocadas no exterior do espaço de ar sob o pavimento, para minimizar situações indesejáveis associadas ao ruído.

Um ventilador deve poder trabalhar continuamente com baixos caudais e elevadas diferenças de pressão. Porém, se o sistema produzir ruídos significativos, estes devem ser minimizados com soluções técnicas apropriadas à transmissão de ruído aéreo. De forma a minimizar a incomodidade provocada pelo ruído sugerem-se as seguintes recomendações, a ser adotadas pela ordem de prioridade decrescente indicada:

- Posicionar a saída de exaustão afastada das portas ou janelas, especialmente das janelas dos quartos de dormir no rés-do-chão (especialmente quando possam ser deixadas abertas à noite);
- No caso de ventiladores mecânicos instalados por baixo do pavimento, deve evitar-se a sua colocação sob os espaços frequentemente ocupados (salas de estar e quartos, no caso de

edifícios de habitação). Se possível, os ventiladores devem estar localizados sob os espaços menos sensíveis ao ruído, como por exemplo, no *hall* de entrada de uma habitação ou de outro tipo de espaço utilizável do edifício;

- Utilizar materiais de absorção sonora na caixa de proteção aos agentes atmosféricos, quando o ventilador é colocado no exterior;
- Garantir que os ventiladores instalados sob um pavimento de madeira estejam apoiados no terreno, em vez de estarem fixados ao pavimento;
- Instalar apoios de material resiliente (sistema de absorção de vibrações) em ventiladores, especialmente no caso de sistemas destinados a atuar por baixo de um pavimento (Figura All.3), em particular no caso de sistemas múltiplos.

7.2 - Alterações de pressão e de caudal

— *Devidas a equipamentos de combustão*

Aplicável o que é referido a este propósito em sistemas de ventilação natural (Anexo I).

— *Devidas a localização inadequada de ventiladores*

Deve evitar-se também a colocação de ventiladores mecânicos de aspiração na proximidade de janelas ou portas, para impedir que o radão extraído da caixa de ar sob o pavimento reentre no edifício.

Os sistemas de exaustão também devem ser sempre posicionados afastados de portas ou janelas, para impedir a reentrada do ar extraído.

Também é prudente manter as entradas de ar de ventilação afastadas de portas ou janelas, porque é sempre possível converter um sistema de ventilação por aspiração não satisfatório num sistema de ventilação por exaustão, invertendo o ventilador, e, nesse caso, a entrada de ar tornar-se-á numa saída de exaustão e, portanto, passível de causar readmissão (Scivyer, 2012).

7.3 - Estética

As condutas de exaustão e os ventiladores podem ser colocados no interior ou exterior dos edifícios, tendo em atenção aspetos de natureza estética.

Os ventiladores são colocados no exterior acima do nível do solo, na parede ou à superfície do terreno, podendo ser ocultados com caixas que os envolvam, ou com plantas devidamente dispostas.

Os ventiladores colocados no interior também podem ser montados de forma oculta (por exemplo, na caixa de ar debaixo do pavimento), de modo a minimizar o impacto estético no edifício e a reduzir o ruído no interior dos espaços ocupados. As tubagens interiores do sistema de ventilação devem, preferencialmente, encontrar-se ocultas.

8 – ENSAIO DE FUNCIONAMENTO

Deve-se verificar se o sistema de ventilação mecânica implementado, ou melhorado, funciona e é eficaz. Para esse efeito, recomenda-se que se adotem as mesmas medidas que estão referidas a propósito de sistemas de ventilação natural, no Anexo I, na secção de “Considerações adicionais”.

Caso a concentração de radão não seja reduzida, ou que seja apenas ligeiramente reduzida, após a instalação do sistema de ventilação mecânica, deve-se procurar a razão de tal estar a acontecer e implementar as respetivas medidas corretivas (ver Quadro All.1).

Quadro All.1 – Medidas corretivas para melhoria da ventilação mecânica sob o pavimento (Scivyer, 2012)

PROBLEMA	OBSERVAÇÃO	SOLUÇÃO
<p><i>Não existe alteração nos níveis de radão ou verifica-se apenas uma ligeira redução</i></p>	<p><i>O ventilador mecânico não está a funcionar</i></p>	<p><i>Verificar se o ventilador está ligado. Se estiver, deve-se também verificar se o fusível/disjuntor não terá disparado. Se o fusível não estiver com defeito e o ventilador continuar sem funcionar, deve-se consultar um eletricista ou o fabricante.</i></p>
	<p><i>O ventilador mecânico está a funcionar</i></p>	<p><i>Deve-se verificar se o ventilador não está perto de uma abertura de ar, pois nesse caso o ventilador pode estar a extrair ar fresco do exterior em vez de ar com radão por baixo do pavimento. Se parecer ser este o caso, deve-se bloquear a abertura de ventilação.</i></p> <p><i>Se houver apenas uma ligeira redução na concentração de radão, tal sugere que está a ocorrer alguma diluição ou alteração na pressão. Verificar se a potência do ventilador e a definição da velocidade são apropriadas. Se assim não for, deve-se aumentar a velocidade do ventilador ou instalar um ventilador com maior caudal.</i></p> <p><i>Inverter o fluxo do ventilador, ou seja, se o ventilador estiver em modo de aspiração de ar do espaço sob o pavimento, inverter a sua posição de forma a que ele passe a insuflar ar sob o pavimento. Esta ação só deve ser realizada se a separação entre a caixa de ar e a habitação tiver baixa permeabilidade ao ar; de outra forma corre-se o risco de favorecer a dispersão de cheiros e poluentes pelo espaço ocupado com origem na caixa de ar.</i></p>
<p><i>O nível de radão aumenta</i></p>	<p><i>O ventilador mecânico está a funcionar</i></p>	<p><i>Ocasionalmente, as concentrações de radão podem aumentar quando se instala um ventilador. Embora isso seja inicialmente dececionante, indica pelo menos que o ventilador está a afetar o equilíbrio da pressão sob o pavimento. Nesse caso deve-se inverter o fluxo do ventilador, conforme referido acima.</i></p>

9 – MANUTENÇÃO

O estado das aberturas de ventilação localizadas nas paredes exteriores sob o pavimento deve ser verificado o número de vezes necessário para garantir que estas não ficam bloqueadas de alguma forma. Pelo menos, uma vez por ano, de preferência na primavera, essa verificação deve ser realizada. Se a entrada ou saída de ar estiver bloqueada, deve-se desligar o ventilador e retirar a obstrução antes de voltar a ligar o sistema de ventilação. Se o ventilador soar mais ruidoso do que anteriormente, isso pode ser uma indicação de que já está desgastado, pois os ventiladores têm normalmente um tempo de vida útil de cerca de 5 a 7 anos (Scivyer, 2012).

ANEXO III

Pressurização positiva no interior do edifício

1 – OBJETIVOS E CAMPO DE APLICAÇÃO

Pretende-se dar orientações aos projetistas e construtores, e também a proprietários de edifícios, para os trabalhos a realizar com a finalidade de aumentar a ventilação mecânica em espaços de edifícios, nomeadamente em habitações. Trata-se da introdução de ventilação em espaços, criando aí pressões positivas.

Também são dadas orientações sobre o sistema de manutenção a implementar e sobre as intervenções a realizar quando o sistema não evidenciar uma redução adequada dos níveis de radão.

As soluções apresentadas seguidamente podem ser utilizadas sob qualquer tipo de pavimento (de madeira ou de betão, ou de soluções mistas com dois materiais distintos).

2 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Devido a ligeiras diferenças nas pressões no terreno e fora dele, causadas pelo vento e por diferenças de temperatura (efeito chaminé), o radão proveniente do terreno propaga-se para o interior do edifício. Os sistemas de ventilação por pressurização consistem na insuflação ar novo filtrado para o interior de um edifício. Estes sistemas constituem uma das medidas menos perturbadoras ou intrusivas para mitigação da concentração do radão que podem ser instalados em edifícios. Esta solução só pode ser aplicada em edifícios unifamiliares e deve ser compatibilizada com o sistema de ventilação existente, ou a instalar.

A redução da concentração de radão é conseguida através de uma combinação do aumento da pressão em todo o edifício, que reduz a possibilidade de admissão de radão, e da diluição e escoamento para o exterior do gás radão que, ainda assim, entre no edifício.

Uma unidade de ventilação, normalmente localizada no desvão da cobertura inclinada, é utilizada para insuflar ar fresco filtrado para os compartimentos principais (quartos e salas) da habitação, de modo a que a diferença de pressão entre o ar no interior do edifício e o terreno subjacente seja invertida. Isto pode ser possível num edifício com uma envolvente de baixa permeabilidade ao ar, em que o ventilador aumente a pressão interior, reduzindo assim a entrada de radão através do pavimento em contacto com o terreno. Na realidade, o valor da pressão positiva atingido não costuma ser exatamente quantificado (embora o possa ser), mas mesmo que algum radão ainda seja introduzido no edifício, este é diluído e escoado para o exterior através de aberturas convenientemente definidas na sua envolvente.

As pressões geradas por sistemas de ventilação pressurizada são pequenas, tipicamente com valores de sobrepressão entre 0,2 Pa e 5,0 Pa, pelo que os ocupantes não sentirão o efeito desta pressão.

Na Figura AIII.1 faz-se a representação do funcionamento de um sistema de pressurização positiva: o ar novo entra no desvão da cobertura pelo exterior (1), por ação do ventilador (2) e é insuflado nos compartimentos principais (3); parte do ar escoo para o exterior através de fugas em toda a envolvente (4) e outra parte é escoada através do pavimento para o terreno (5), impedindo a entrada de radão.

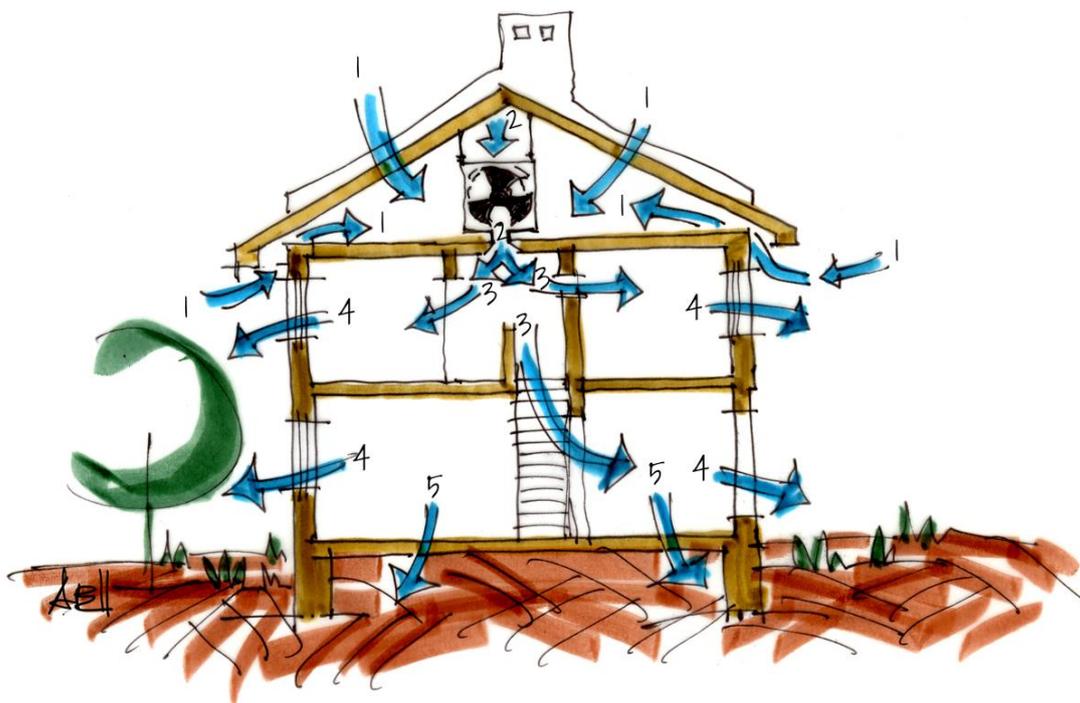


Figura AIII.1 – Exemplo de um esquema de funcionamento de um sistema de ventilação por pressurização

3 – EFICÁCIA

Os sistemas de ventilação por pressurização positiva são apenas eficazes para níveis moderados de radão (até cerca de 750 Bq/m^3) (Scivyer & Jaggs, 1998).

Os sistemas de ventilação por pressurização foram inicialmente desenvolvidos para ultrapassar os problemas de condensação e bolor que podem ocorrer em ambientes húmidos, frios e pouco ventilados. Estes sistemas proporcionam múltiplos benefícios aos utilizadores dos edifícios, nomeadamente um ambiente interior menos poluído, condensações menos frequentes (devido à redução do teor de vapor de água) e, claro, uma redução nos níveis de radão no interior do edifício.

É expectável que a ventilação por pressurização funcione tanto melhor quanto menos permeável ao ar for a envolvente do edifício, mas é sempre difícil avaliar, à partida, qual este nível de permeabilidade. No entanto, existem circunstâncias que permitem indiciar se o nível de permeabilidade ao ar da envolvente é baixo, designadamente as seguintes:

- Se existem sinais de condensação e bolor no interior do edifício;
- Se o proprietário utiliza um desumidificador;
- Se as roupas e outros objetos armazenados em armários têm cheiro a mofo e odores que perduram em vez de se dispersarem ou desaparecerem;
- Se os ocupantes não se apercebem da existência de ligeiras correntes de ar frio.

Se num edifício existem correntes de ar através de portas, janelas ou do pavimento térreo de madeira com caixa de ar, será necessário proceder à redução da permeabilidade ao ar desses elementos construtivos, antes de instalar um sistema de pressurização positiva. Nesse caso, a eficácia do sistema de ventilação por pressurização aumenta se os trabalhos de redução da permeabilidade ao ar forem executados simultaneamente com a sua instalação.

Estes sistemas são suscetíveis de funcionar melhor nas seguintes situações:

- em habitações do tipo moradia, de tamanho médio, com um volume aproximado de cerca de 250 m³;
- níveis de radão inferiores a 500 Bq/m³;
- em edifícios com envolvente de baixa permeabilidade ao ar.

Porém, quando o edifício dispõe de cave, em certas situações o nível de radão na cave pode permanecer elevado e, nesses casos, pode ser necessário isolar a cave e/ou implementar aí um outro tipo de sistema alternativo, separado do instalado na parte ocupada do edifício, para reduzir a quantidade de radão na cave.

Também, no caso de um bloco de apartamentos, pode ser preferível instalar um sistema comum de despressurização subterrânea (Anexo IV).

Se o espaço do desvão da cobertura não for bem ventilado, as concentrações de radão nesse espaço podem aumentar, uma vez que o radão pode aí chegar através de fendas ou aberturas diversas no edifício, nomeadamente através de paredes duplas ou de tubos instalados no terreno (Scivyer, 2013a).

4 – LOCALIZAÇÃO DO VENTILADOR

As unidades de ventilação devem funcionar continuamente para reduzir eficazmente as concentrações de radão.

É importante selecionar adequadamente a localização do ventilador de pressurização, procurando-se minimizar as distâncias do ventilador aos difusores de modo a terem-se obtidas perdas de carga tão reduzidas quanto possível.

A maioria dos sistemas inclui uma unidade de ventilação localizada no desvão de coberturas inclinadas (Figura AIII.2), mas esta localização pode ser afetada pela proximidade de instalações e acessórios no desvão da cobertura, como por exemplo tubagens de distribuição de água, reservatórios de água, condutas de ar e elementos estruturais.



Figura AIII.2 – Sistema de ventilação por pressurização montado no desvão da cobertura¹³

Nesses casos, ou para edifícios sem espaço sob a cobertura inclinada, como, por exemplo, edifícios em que esse espaço seja usado para arrecadação, ou em edifícios com coberturas em terraço, os ventiladores podem ser montados no interior de paredes divisórias ou de paredes exteriores, utilizando-se unidades específicas para tal.

5 – LOCALIZAÇÃO DOS DIFUSORES

O ar deve ser admitido no interior do edifício através de difusores localizados no teto dos compartimentos principais, localizados cuidadosamente para evitar potenciais problemas originados por correntes de ar frio e de ruído, pelo que se devem ter em consideração os seguintes aspetos:

- Localizar, sempre que possível, o difusor de forma que o ar circule perto do teto e a pelo menos 1 m das paredes, para evitar (ou, pelo menos, minimizar) a criação de correntes de ar mais significativas¹⁴;
- Vedar ou fechar o contorno da saída do difusor que esteja próxima de uma parede¹⁵;
- Evitar localizar o difusor perto de um detetor de fumo, para que o fluxo de ar do sistema não prejudique o funcionamento desse detetor. Em alternativa, reposicionar o detetor de fumo afastado do difusor.

¹³ © IHS Markit, reproduzido com permissão de “Radon Solutions in Homes Part 2: Positive House Ventilation (GRG 37/2)”.

¹⁴ Se o difusor direcionar o ar diretamente para uma parede próxima, é mais provável que haja problemas de ruído e correntes de ar frio, pelo que não é aconselhável localizar o difusor do teto em espaços que originem esse tipo de problemas, uma vez que isso pode levar os ocupantes a desligar a unidade de ventilação.

¹⁵ Alguns fabricantes fornecem componentes para este fim; alternativamente pode usar-se fita adesiva.

6 – CARACTERÍSTICAS DOS VENTILADORES

Para um edifício de dimensão média, é suficiente a instalação de um único ventilador. Esse ventilador deve ser dimensionado para insuflar os caudais de ar previstos na norma NP 1037-2. Para se reduzirem as trocas de calor com o exterior por ventilação, recomenda-se a utilização de um sistema de ventilação de duplo fluxo com permutadores de calor. Neste caso, o ventilador de exaustão deve ser ajustado para um caudal mais baixo do que o de insuflação, de modo a que a pressão no interior da habitação seja incrementada. O caudal de exaustão não pode ser inferior ao caudal necessário para assegurar o adequado funcionamento dos aparelhos de combustão.

Um sistema típico de ventilação por pressurização é constituído por um ventilador ligado a difusores de teto por condutas flexíveis (Figura AIII.3).

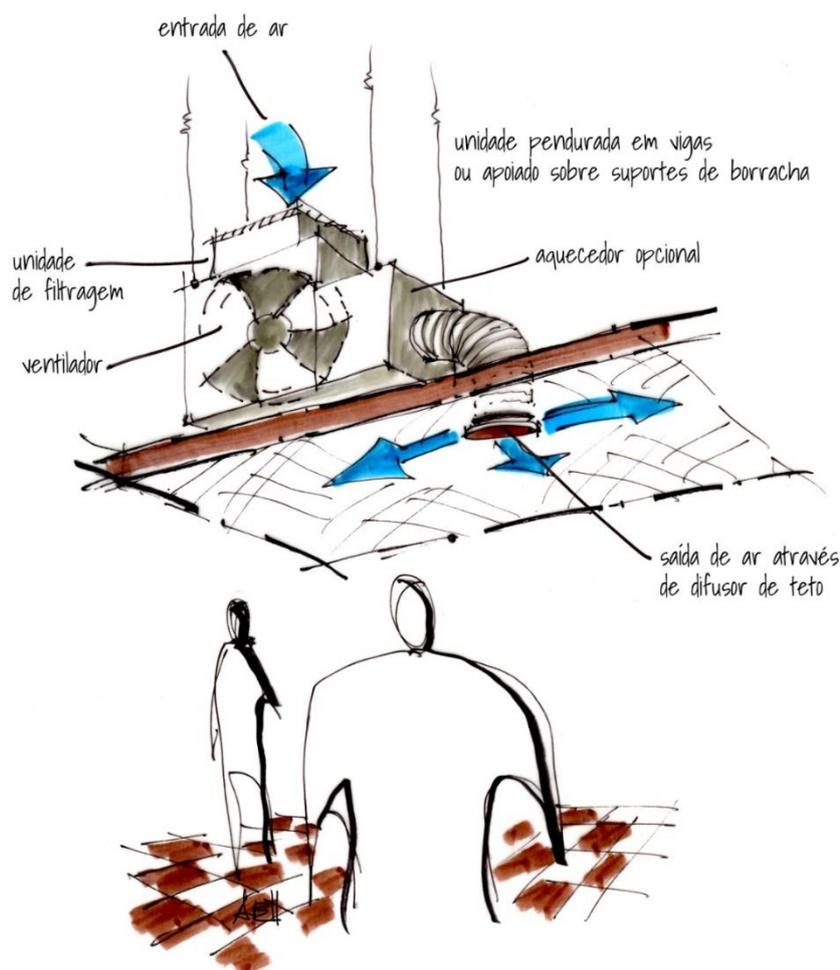


Figura AIII.3 – Esquema típico de um sistema de ventilação por pressurização

Alguns sistemas estão equipados com meios de aquecimento do ar que é admitido no interior do edifício. A maioria incorpora controlos termostáticos para regulação da temperatura. Porém, como o sistema deve funcionar continuamente, alguns sistemas incluem controlos termostáticos que fecham a ventilação em condições meteorológicas extremas, especialmente muito frias; durante estas circunstâncias excecionais o sistema não irá reduzir os níveis de radão, aspeto que, no entanto, terá pouco efeito adverso no nível médio anual de radão dentro do edifício. Todavia, esta prática é desaconselhada, pois a habitação fica sem ventilação. Nestas circunstâncias não podem ser utilizados aparelhos de combustão do tipo B.

Para minimizar possíveis problemas de ruído e vibrações, as unidades de ventilador são geralmente fornecidas com suportes anti vibração.

Para garantir que o ar insuflado para o interior do edifício seja limpo, a entrada de ar terá de ser equipada com um filtro. Também a este nível, o tipo de filtros é bastante variável, recomendando-se a utilização de filtros com capacidade de remover alergénicos, como o pó e o pólen.

7 – MODO DE INSTALAÇÃO

A instalação de um sistema de ventilação por pressurização no desvão de uma cobertura inclinada deve assentar primeiramente na seleção de um local apropriado para colocar a unidade de ventilação (normalmente por cima de um corredor ou acima de um vão de escadas). Deve-se também certificar que existe espaço suficiente no desvão para a unidade do ventilador, sem interferir com instalações e acessórios, tubagens de distribuição de água, depósitos de água, bem como outras condutas e elementos estruturais já existentes nesse espaço.

Após selecionar o local de montagem, recomenda-se que se sigam as instruções de instalação seguintes (Figura AIII.4):

1. Verificar se o desvão da cobertura inclinada tem ventilação adequada proveniente do exterior, pois, caso contrário, pode ser necessário colocar aberturas de ventilação adicionais;
2. Criar aberturas, através do teto, de dimensão suficiente para inserir as condutas e os difusores, de acordo com as características dimensionais do sistema a instalar (normalmente com 200 mm de diâmetro nominal, mas sempre de acordo com o sistema existente);
3. Montar a unidade do ventilador por pressurização em suportes resilientes (reduzores de vibração) fixados do lado superior às vigas do teto, ou do lado inferior a ganchos a colocar em vigas;
4. Ligar as condutas flexíveis à unidade de ventilação;
5. Ligar os difusores de teto às condutas e fixá-los. Estas condutas, que ligam o ventilador aos difusores, devem ser o mais curtas possível, não devendo ser reduzidas as suas secções, nomeadamente por esmagamento;

6. Restaurar o isolamento térmico ou acústico que possa ter sido afetado durante a instalação do difusor;
7. Ligar o ventilador à corrente elétrica, de acordo com as instruções do fabricante; a unidade terá de ser ligada a um fusível ou a um sistema alternativo que assegure a proteção contra choques elétricos, interrompendo a ligação em caso de corrente excessiva. Os ventiladores devem ser cablados de acordo com as recomendações da Portaria n.º 949-A/2006.

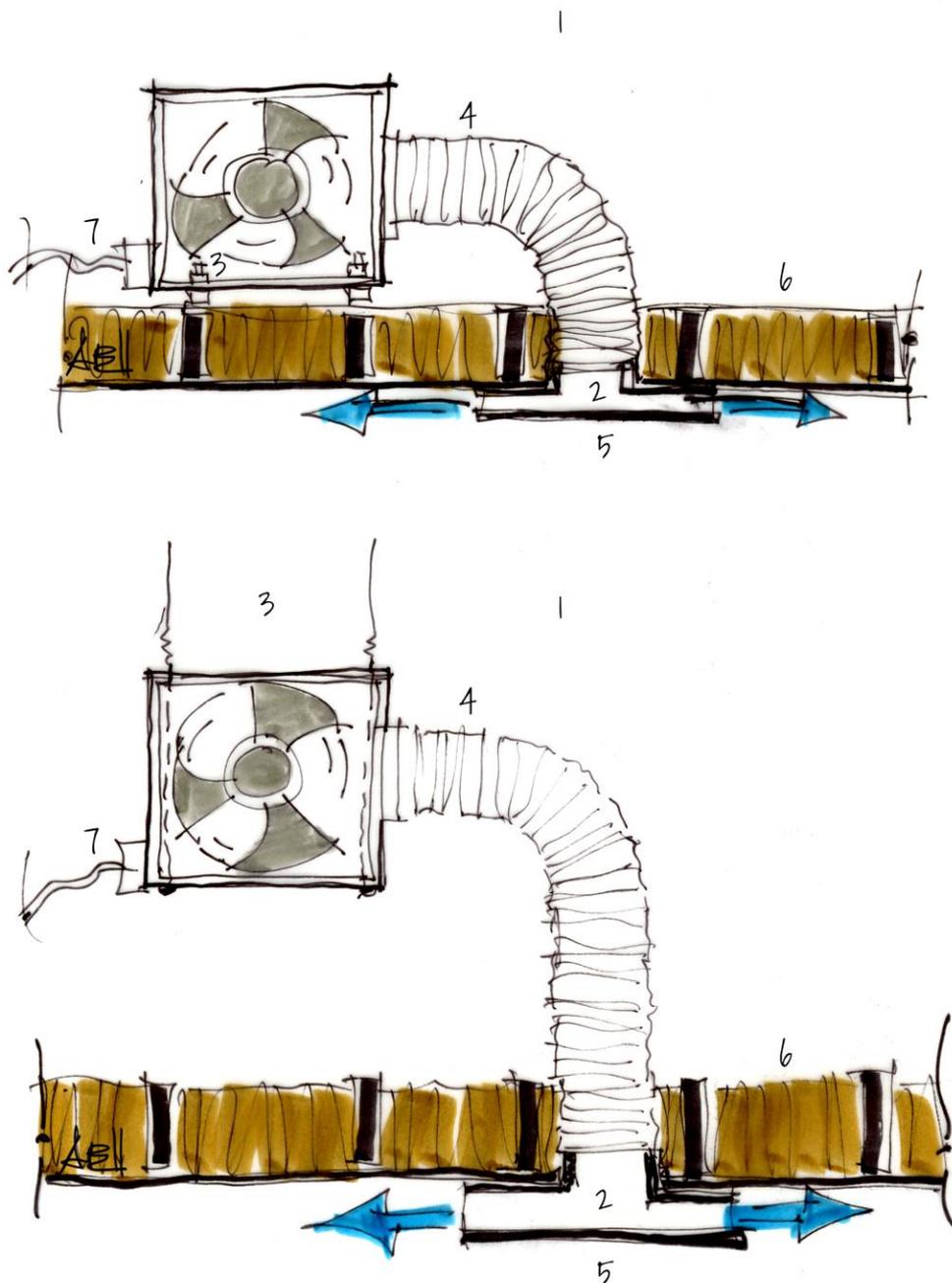


Figura AIII.4 – Esquemas de sistemas de ventilação por pressurização localizados no desvão de coberturas

8 – CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

8.1 - Variações de temperatura

Recomenda-se que os edifícios sejam climatizados e que o sistema de ventilação tenha um permutador de calor. As chaminés não utilizadas devem ser fechadas para reduzir a permeabilidade ao ar da envolvente.

8.2 - Alterações de pressão e de caudal

Para reduzir a possibilidade do estabelecimento de pressão negativa no piso térreo e de ocorrer a admissão de radão a partir do solo, as chaminés não utilizadas devem ser obturadas (SCIVYER, C. R., 2013a).

8.3 - Ruído

Os ventiladores são em geral extremamente silenciosos, mas para reduzir a possibilidade de ocorrência de ruído devem ser utilizados apoios anti vibráteis.

8.4 - Odores

Os sistemas de pressurização positiva são suscetíveis de provocar dispersão de odores, pelo que não é adequado o seu uso em habitações multifamiliares.

Noutros casos, também pode haver odores provenientes dos materiais (em especial, no caso de materiais recentemente aplicados) utilizados na zona onde o ventilador foi colocado (em geral nas coberturas dos edifícios conforme se referiu) ou de fumo proveniente da chaminé que penetre no desvão da cobertura através das juntas entre revestimentos descontínuos das coberturas, como é o caso das telhas.

Para estas situações, a única solução possível consiste em providenciar a captação de ar novo diretamente do exterior para a unidade de ventilação.

No caso de a estrutura de suporte do revestimento da cobertura ser em madeira, quando se proceder ao seu tratamento com produtos de preservação à base de solventes, é aconselhável desligar o ventilador de pressurização para impedir temporariamente que os vapores do solvente sejam arrastados para o interior do edifício. Após a redução significativa dos vapores provenientes dos solventes, o que ocorre normalmente no prazo de uma semana em coberturas devidamente ventiladas, a unidade do ventilador pode ser ligada novamente.

9 – ENSAIO DE RECEÇÃO E TESTE DE FUNCIONAMENTO

Deve-se verificar se o sistema de ventilação por pressurização implementado, ou melhorado, funciona convenientemente e é eficaz.

Caso a concentração de radão não seja reduzida ou seja apenas ligeiramente reduzida após a instalação do sistema, deve-se procurar a razão pela qual isso pode acontecer e implementar as respetivas medidas corretivas (ver Quadro AIII.1).

Quadro AIII.1 – Medidas corretivas para melhoria dos sistemas de ventilação por pressurização

PROBLEMA	OBSERVAÇÃO	SOLUÇÃO
Não existe alteração nos níveis de radão ou verifica-se apenas uma ligeira redução	O ventilador não está a funcionar	Verificar se o interruptor termostático interrompeu o funcionamento do ventilador para evitar que o ar frio seja insuflado para dentro do imóvel quando a temperatura no desvão da cobertura ou no exterior é muito baixa
		<ul style="list-style-type: none"> — Aumentar a velocidade do ventilador e, em seguida, verificar novamente os níveis de radão — Instalar uma unidade com maior potência ou um segundo sistema de pressurização — Considerar a possível instalação de soluções alternativas (Anexos I, II e IV)
Redução insuficiente de radão mas os problemas de condensação estão resolvidos	O ventilador está a funcionar	Considerar a possível instalação de soluções alternativas (Anexos I, II e IV)
O nível de radão aumentou		Melhorar a ventilação do espaço no desvão da cobertura ou retirar o ar diretamente do exterior e, em seguida, verificar novamente os níveis de radão
O edifício apresenta correntes de ar significativas provocadas pela permeabilidade da construção		Isolar portas, janelas e pavimentos, fechar chaminés não utilizadas e, em seguida, verificar novamente os níveis de radão
Há correntes de ar frio		Contactar o fabricante para instalar um aquecedor no sistema de ventilação por pressurização

9 – MANUTENÇÃO

Deve-se realizar uma inspeção visual anual ao sistema, especialmente ao ventilador.

Os rolamentos dos ventiladores são "lubrificados para o seu tempo de vida útil", pelo que não necessitam de lubrificação adicional.

As grelhas de ventilação e os difusores podem ter de ser limpos ocasionalmente, de acordo com as instruções do fabricante.

Os filtros do sistema de ventilação também devem ser periodicamente limpos ou substituídos, de acordo com as instruções do fabricante (normalmente a cada um ou dois anos). Os filtros de ventiladores com recuperação de calor requerem limpeza mais frequente e devem ser substituídos duas vezes por ano.

Se o sistema estiver instalado no desvão de coberturas inclinadas, as aberturas de ventilação devem ser verificadas e limpas periodicamente.

ANEXO IV

Despressurização do terreno sob o pavimento térreo

1 – OBJETIVOS

Pretende-se dar orientações aos projetistas e construtores, e também aos proprietários de edifícios, para os trabalhos de instalação de sistemas ativos (com assistência por ventilador) e passivos de despressurização do terreno debaixo do pavimento térreo, com uma câmara subterrânea de aspiração de radão.

Também são dadas orientações sobre o sistema de manutenção a implementar e sobre as intervenções a realizar quando um sistema não evidenciar uma redução adequada dos níveis de radão.

As soluções apresentadas seguidamente podem ser utilizadas sob qualquer tipo de pavimento (de madeira ou de betão, ou de soluções mistas com os dois materiais).

2 – CAMPO DE APLICAÇÃO

Estes sistemas podem ser utilizados em edifícios com pavimentos térreos de betão, sendo inadequados para edifícios com pavimentos térreos de madeira sobre caixa de ar, com a superfície do terreno nua (ou seja, sobre terrenos em bruto), a menos que o terreno esteja coberto com uma camada de betão ou com uma folha de plástico (*por exemplo*, de polietileno) recoberta de betão ou cascalho. Preferivelmente deve existir uma câmara de captação realizada no terreno, que deve ser executada caso não exista.

3 – CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS

Os sistemas de despressurização do terreno debaixo do pavimento térreo (também designados por sistemas de câmara de captação) podem consistir apenas num espaço vazio sob o piso, escavado no terreno, no qual é inserida uma conduta para extrair o radão. No entanto, em lugar de um espaço vazio escavado no terreno, é preferível instalar uma câmara de captação delimitando esse espaço, pois esta previne a obstrução da conduta com resíduos do terreno. Estas câmaras podem ser totalmente prefabricadas ou executadas no local, em betão ou em alvenaria de tijolo ou de blocos de betão. O principal benefício das câmaras pré-fabricadas é a facilidade de estabelecer um maior número de pontos de aspiração (Scivyer, 2013b). Para efetuar a aspiração e exaustão pode usar-se qualquer tipo de conduta, nomeadamente a de PVC usada para esgoto doméstico e ventilação

Estes sistemas são designados como “ativos”, quando equipados com um ventilador elétrico, e “passivos”, quando não têm ventilador, mas apenas condutas de aspiração ligadas à referida câmara; neste caso a sua eficácia depende apenas da acumulação natural de radão e da ação do vento para o extrair do terreno.

Os sistemas de despressurização do terreno debaixo da laje funcionam normalmente por aspiração de ar, mas quando o solo por baixo do edifício é muito permeável (o que normalmente só é possível avaliar durante a instalação), pode ser mais eficaz insuflar ar na câmara do que extrair ar da câmara. Assim, deve-se sempre instalar o ventilador prevendo a possibilidade de se inverter o sentido do fluxo de ar

do ventilador, se o nível do radão no interior do edifício não for adequadamente reduzido com o sistema de exaustão. Nesse caso, tem de se avaliar também se a pressurização da câmara não favorece a contaminação do edifício com radão, devido à menor pressão no interior do edifício, o que pode acontecer quando o nível de radão é muito elevado.

4 – MÉTODO DE FUNCIONAMENTO

Devido a ligeiras diferenças entre as pressões interiores no edifício e exteriores causadas pelo vento e por diferenças de temperatura (efeito chaminé), o radão proveniente do solo pode propagar-se para o interior de um edifício.

O gás radão flui para a câmara de captação devido à diferença de pressão criada por um ventilador elétrico (sistema ativo) ou pelo efeito chaminé (subida do ar quente dentro da conduta), juntamente com a ação do vento sobre a abertura da conduta de descarga existente na câmara de captação (sistema passivo); ou seja, os mesmos efeitos que provocam a admissão do radão no interior do edifício. O efeito de acumulação de radão no interior do edifício é maior no inverno devido à maior diferença de temperatura dentro e fora do edifício.

Um sistema passivo externo depende do efeito do vento sobre a saída da conduta e da temperatura exterior para gerar algum efeito de chaminé nessa conduta, de modo a poder extrair o radão. A eficácia dos sistemas de aspiração passiva pode ser reforçada pela montagem de ventiladores estáticos rotativos (por vezes designados por girândolas) à saída da conduta (Figura AIV.1).

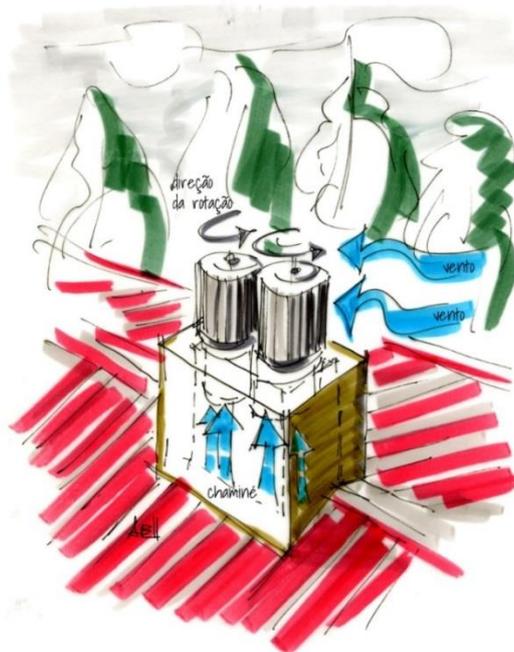


Figura AIV.1 – Ventilador estático rotativo e esquema de funcionamento

Estes sistemas funcionam normalmente em modo de aspiração, sendo esta aspiração proveniente da própria câmara de captação. Ocasionalmente, a aspiração não reduz adequadamente as concentrações de radão e, nesses casos, pode avaliar-se a possibilidade de inverter o fluxo da ventilação e fazer entrar ar para o interior da câmara de captação, para a pressurizar. A pressurização da câmara tende a funcionar eficazmente onde o solo é naturalmente muito permeável. A pressurização com ventiladores estáticos dilui a concentração de radão debaixo do pavimento, ao mesmo tempo que se consegue uma pressão suficiente para contrariar o efeito de acumulação natural de radão no edifício. De facto, se se souber que o solo sob o pavimento é muito permeável, pode ser preferível instalar um sistema de câmara com ventilação pressurizada em vez de um sistema de aspiração. O sistema de pressurização só deve, contudo, ser aplicado se for colocada uma membrana contra o radão entre o solo e o pavimento térreo do edifício.

5 – EFICÁCIA

Os sistemas de despressurização do terreno debaixo do pavimento térreo são os mais eficazes na redução de concentração de radão, em especial nas situações de maior concentração desse gás (até 2000 Bq/m³ ou mais) (Scivyer & Jaggs, 1998).

A ausência de custos de funcionamento do ventilador e, por esse facto o sistema ser silencioso, faz com que a opção pela instalação de sistemas de câmara de captação passivos seja atrativa; mas muito é menos eficaz na redução do radão, comparativamente com os sistemas ativos. De facto, os sistemas passivos apenas são adequados para concentrações de radão ligeiramente superiores ao nível de referência nacional (300 Bq/m³).

No entanto, pode-se começar por instalar um sistema passivo e, caso este não reduza suficientemente os níveis de radão, adicionar-se posteriormente um outro ventilador, desde que seja, naturalmente, acautelado na fase de projeto um espaço para o instalar.

Para a maioria dos edifícios, uma câmara de captação e um ventilador únicos são eficazes para uma área de implantação não superior a 250 m² (um raio de aproximadamente 9 m em torno da câmara de captação). Se o subsolo for particularmente permeável, o sistema pode ser eficaz no terreno até cerca de 15 m da câmara. No entanto, a existência de obstruções abaixo do pavimento pode reduzir a eficácia do sistema.

Ocasionalmente, edifícios maiores ou mais antigos podem precisar de mais do que uma câmara de captação. Nesses casos, uma, ou mais câmaras de captação adicionais podem ser anexadas ao ventilador original, estendendo as condutas para comunicarem com todas as câmaras, de forma a que todas elas sejam alimentadas por um único ventilador. Alternativamente, pode-se instalar um segundo sistema de câmara de captação independente para cobrir a área necessária à aspiração eficaz do radão.

Um sistema de despressurização do terreno abaixo do pavimento pode servir simultaneamente vários edifícios, por exemplo, em blocos de apartamentos ou em habitações geminadas, com coletores entre câmaras servidas também por um único ventilador (Figura AIV.2).

Os benefícios de sistemas compartilhados consistem, naturalmente, na redução dos custos de instalação e exploração. Naturalmente que as despesas de instalação e de manutenção ou reparação terão de ser devidamente partilhadas pelos respetivos utilizadores.

Conforme se referiu, embora os sistemas de despressurização do terreno abaixo do pavimento funcionem normalmente por aspiração de ar, em alguns casos, particularmente quando o terreno por baixo do edifício é muito permeável, pode ser mais eficaz insuflar ar na câmara, e, nesse caso, deve-se inverter o sentido do fluxo de ar no ventilador (consultar considerações adicionais neste anexo).



Figura AIV.2 – Fotografia de apartamentos independentes, com um sistema de despressurização comum composto por uma câmara de captação instalada em cada apartamento ligadas a um único ventilador e conduta de exaustão¹⁶

6 – LOCALIZAÇÃO DAS CÂMARAS DE CAPTAÇÃO

Como a cave ou o piso térreo estão à cota mais baixa da edificação, é sempre mais aconselhável realizar a instalação do sistema de despressurização a esses níveis, mas de preferência num local afastado da ventilação da rede de saneamento, de portas, janelas ou grelhas de ventilação. Quando se tenha de realizar aberturas no pavimento, deve-se ter um cuidado especial na realização dos

¹⁶ © IHS Markit, reproduzido com permissão de “Radon Solutions in Homes Part 3: Radon sump systems (GRG 37/3)”.

respetivos trabalhos, de modo a danificar o menos possível a respetiva estrutura (nomeadamente as armaduras de lajes de betão armado), cabos elétricos ou redes de tubagem de distribuição de água ou de esgoto.

Existem, basicamente, quatro formas diferentes para instalar as câmaras de captação e as condutas associadas, em edifícios com caixas de ar sob o pavimento térreo: ou a construção é realizada a partir do interior ou do exterior do edifício; e as condutas de exaustão ou são elevadas até à cobertura ou são colocada a cotas próximas da superfície do terreno exterior (Figura AIV.3). No caso de edifícios com caves, aplica-se uma metodologia semelhante. No caso de sistemas passivos, a eficácia é maior se a exaustão for ao nível da cobertura.

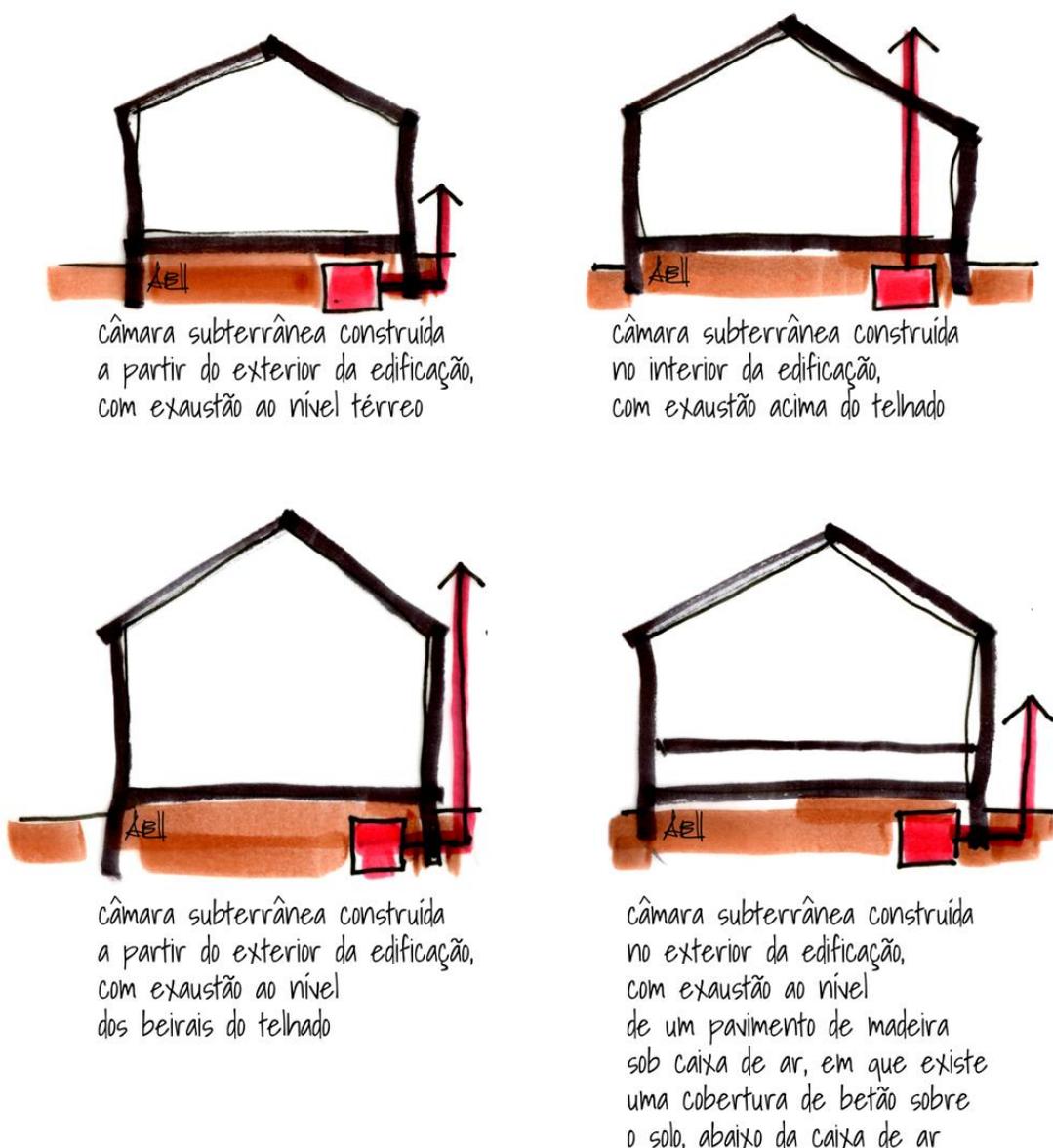


Figura AIV.3 – Posições genéricas das condutas associada a sistemas de despressurização do terreno debaixo do pavimento

Sempre que possível recomenda-se que a instalação dos sistemas de despressurização do terreno debaixo do pavimento seja realizada a partir do exterior, para evitar os inconvenientes devidos para os ocupantes.

Este tipo de instalação também se pode aplicar em edifícios com caves semienterradas, ou seja, quando se disponha de pelo menos uma das paredes, ou parte dela, em contacto com o exterior.

7 – LOCALIZAÇÃO DE VENTILADORES

É importante localizar os ventiladores (de despressurização do terreno debaixo da laje) perto da saída de exaustão, para garantir que todas as condutas estão em depressão. Esta precaução limita a possibilidade de entrada de ar carregado de radão no edifício, devida à permeabilidade natural das juntas entre os elementos dessas condutas, ou no caso de existirem danos nas condutas.

É sempre preferível colocar o ventilador no exterior, mas deve-se assegurar que este seja resistente aos agentes atmosféricos e que possa funcionar continuamente ao longo do ano. Um ventilador que tenha de ficar exposto aos agentes atmosféricos deve estar devidamente protegido, de acordo com o nível IP54 em conformidade com a norma EN 60529 (CEN, 1992). Caso o ventilador não satisfaça este nível de proteção, terá de estar localizado num local protegido da ação da água.

8 – CARACTERÍSTICAS DOS VENTILADORES

Os ventiladores mais usados em sistemas de despressurização do terreno debaixo do pavimento térreo são os ventiladores centrífugos montados em condutas que tenham um invólucro hermético (Figura AIV.4).

O caudal típico de um ventilador é de cerca de 170 m³/h para uma diferença de pressão de 200 Pa, com uma potência de 70 W (Scivyer, 2013b). Porém, se os níveis de radão estão apenas um pouco acima das concentrações recomendadas, podem ser utilizados ventiladores de potência inferior ou, o contrário, quando seja necessário aumentar a capacidade de exaustão, sempre que os níveis de radão sejam muito elevados.

Dado que o ventilador deve estar permanentemente ligado, recomenda-se que sejam dotados de um variador eletrónico de velocidade que permita, permanentemente, o ajuste do caudal de ventilação face aos resultados da medição do teor de radão.

Alguns fabricantes de ventiladores de funcionamento contínuo recomendam que, na parte inferior da carcaça do ventilador, ou na caixa do ventilador, seja efetuado um pequeno orifício para evitar que o ventilador bloqueie devido à falta de arrefecimento. Deve verificar-se com o fabricante do ventilador quais as recomendações sobre o dimensionamento desse orifício, o qual não deve ter, no entanto, mais de 5 mm de diâmetro para evitar comprometer seriamente a aspiração criada pelo ventilador (Scivyer, 2013b).



Figura AIV.4 – Ventilador centrífugo vertical típico, usado em sistemas de despressurização do terreno debaixo do pavimento¹⁷

9 – SAÍDAS DE EXAUSTÃO

Normalmente, a conduta é constituída por tubos de PVC-U de 110 mm de diâmetro. A disposição da conduta de exaustão e o seu percurso é naturalmente dependente da configuração do espaço interior do edifício e da posição do sistema de despressurização, devendo a respetiva saída da exaustão ser colocada, preferencialmente, a uma cota elevada, exceto quando não for recomendável por motivos estéticos.

Portanto, para dissipar o radão para a atmosfera e para longe do edifício, é aconselhável usar um exaustor colocado acima do nível do beiral da cobertura do edifício (Figura AIV.5).

¹⁷ Imagem cedida por cortesia da empresa StopRadão.



Figura AIV.5 – Vistas de conduta de exaustão situada no interior (à esq.) e no exterior (à dir.) de sistemas de depressurização do terreno debaixo do pavimento, ambos com a saída de exaustão ao nível da cobertura¹⁸

Em alternativa, pode usar-se um sistema de exaustão com as respetivas saídas a uma cota próxima da superfície do terreno, desde que esteja instalado de forma adequada e não haja possibilidade de reentrada dos gases de exaustão no edifício. Estes sistemas de exaustão ao nível térreo são mais fáceis de instalar e são visualmente mais discretos (Figura AIV.6). Porém, as saídas de exaustão próximas da superfície do terreno exterior devem cumprir os seguintes requisitos:

- estarem localizadas a pelo menos 1,5 m do ponto mais próximo das aberturas do edifício, como portas, janelas, aberturas de ventilação, etc.;
- estarem localizadas a pelo menos 1,5 m de distância de outros edifícios ou espaços regularmente utilizados, tais como pátios, jardins, etc.;
- não estarem localizados numa via pública;
- ter a saída direcionada para exaurir os gases para longe do edifício;
- preferencialmente, as condutas a jusante do ventilador devem situar-se no exterior do edifício (esta recomendação destina-se a evitar que ocorra escoamento de radão para o interior do edifício devido à permeabilidade ao ar das juntas da conduta, que se encontra, neste troço, em pressão positiva).

¹⁸ Imagens cedidas por cortesia da empresa StopRadão.



Figura AIV.6 – Sistemas de exaustão típicos, com ventilador incorporado, usados em sistemas de despressurização do terreno debaixo do pavimento, construídos no exterior do edifício, com exaustão a nível térreo: a) antes da instalação da caixa de proteção; b) depois da instalação da caixa de proteção¹⁹

Caso não sejam cumpridos algum destes requisitos, as saídas de exaustão devem prolongar-se até acima do nível da cobertura do edifício (Figura AIV.5).

As condutas no interior do edifício devem ser ocultadas com dutos verticais. Nesses casos, também pode ser necessário isolar a conduta para minimizar a transmissão de ruído para o interior dos espaços.

Nas zonas de atravessamento de elementos construtivos (paredes, pavimentos ou tetos) pelas condutas, as respetivas juntas devem ser convenientemente vedadas, para evitar a aspiração de ar por essas zonas singulares para o interior do edifício, em vez do radão ser encaminhado por debaixo do pavimento para a câmara de captação. A vedação pode ser conseguida usando uma mástique aplicada com pistola, ou outro tipo de vedante com características similares.

A conduta deve ainda ser Auto drenante para evitar que a água de condensação que escorra pelas suas superfícies interiores afete os ventiladores e se acumule nas mudanças de direção da conduta.

As saídas de exaustão elevadas são frequentemente equipadas com um terminal de proteção (em forma de chapéu, ou com formato de cogumelo), para evitar que a água da chuva penetre pela conduta e atinja o ventilador.

¹⁹ Imagens cedidas por cortesia da empresa Lusoradon.

10 – MODO DE INSTALAÇÃO

A instalação de um sistema de despressurização do terreno, debaixo do pavimento térreo, pode consistir na criação (por escavação) de um espaço, com volume aproximadamente equivalente a um balde com capacidade de 10 litros.

Deve-se verificar previamente se o piso térreo é de betão ou de madeira, sobre caixa de ar, e se sobre o terreno existe uma camada de betão ou material equivalente.

Na Figura AIV.7, Figura AIV.8 e Figura AIV.9, apresentam-se esquematicamente vários tipos de sistemas de despressurização ativos a colocar sob o pavimento, referenciados com a numeração sequencial, associada à descrição que se apresenta a seguir, para cada figura.

O modo de montagem sequencial de um sistema com uma minicâmara de captação construído no exterior do edifício, com exaustão a nível térreo, seguindo a numeração incluída na Figura AIV.7, é a seguinte:

1. Executar uma abertura de 120 mm de diâmetro através de uma parede exterior logo abaixo da laje do pavimento;
2. Escavar o terreno num volume equivalente a 10 dm³, debaixo da laje do piso térreo para formar uma câmara;
3. Instalar uma conduta curta de 110 mm de diâmetro, com inclinação de 2,5° em direção à câmara de captação, selando-a nas juntas com a parede, para minimizar a aspiração de ar de dentro da parede ou do espaço livre exterior;
4. Se o ventilador tiver de ser montado verticalmente (exemplo 2 da Figura AIV.7), depois de a conduta ser fixada na parede, ligar um joelho de 90° e uma conduta vertical curta;
5. Fixar o ventilador centrífugo;
6. Apoiar o ventilador com um suporte fixado à parede do edifício;
7. Ligar o ventilador a uma alimentação elétrica situada no interior do edifício;
8. Se acessível, vedar a junta entre o piso e a parede adjacente à câmara de captação para minimizar a aspiração do ar provindo do interior do edifício;
9. No caso de ventiladores que exijam proteção contra os agentes atmosféricos, usar uma caixa de proteção com grelha de ventilação localizada junto da saída do ventilador.

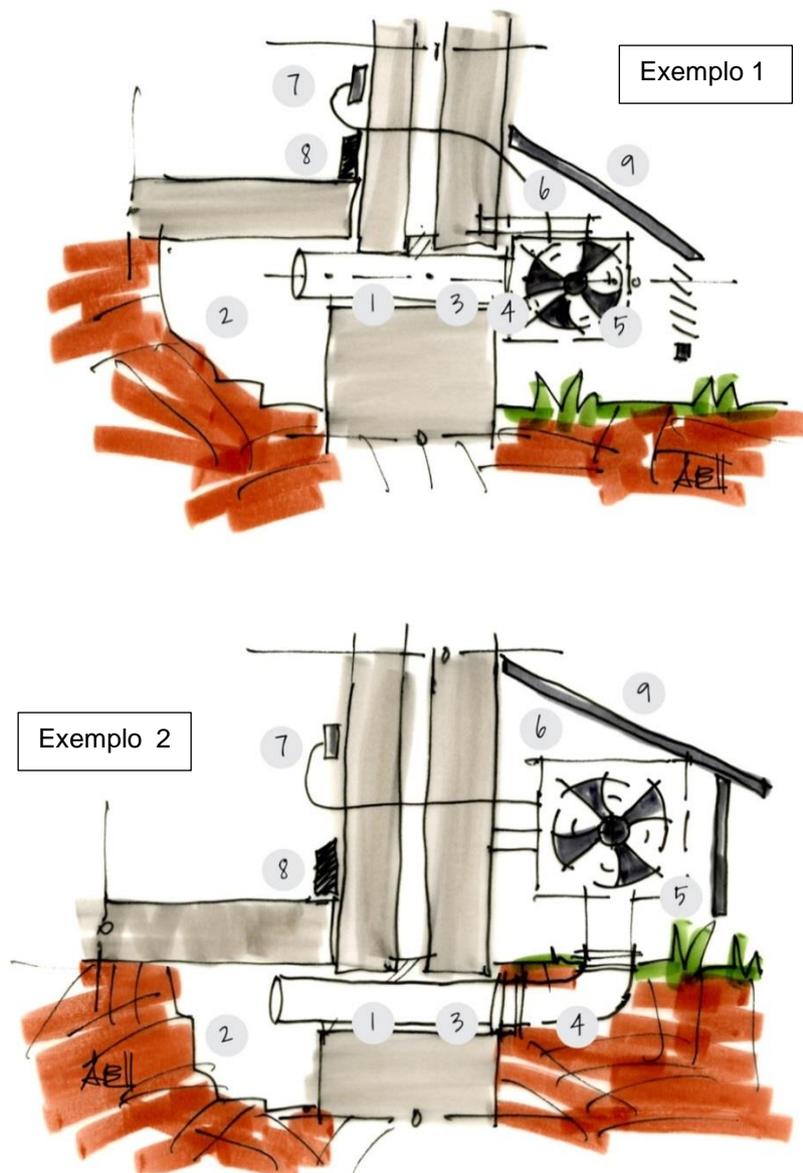
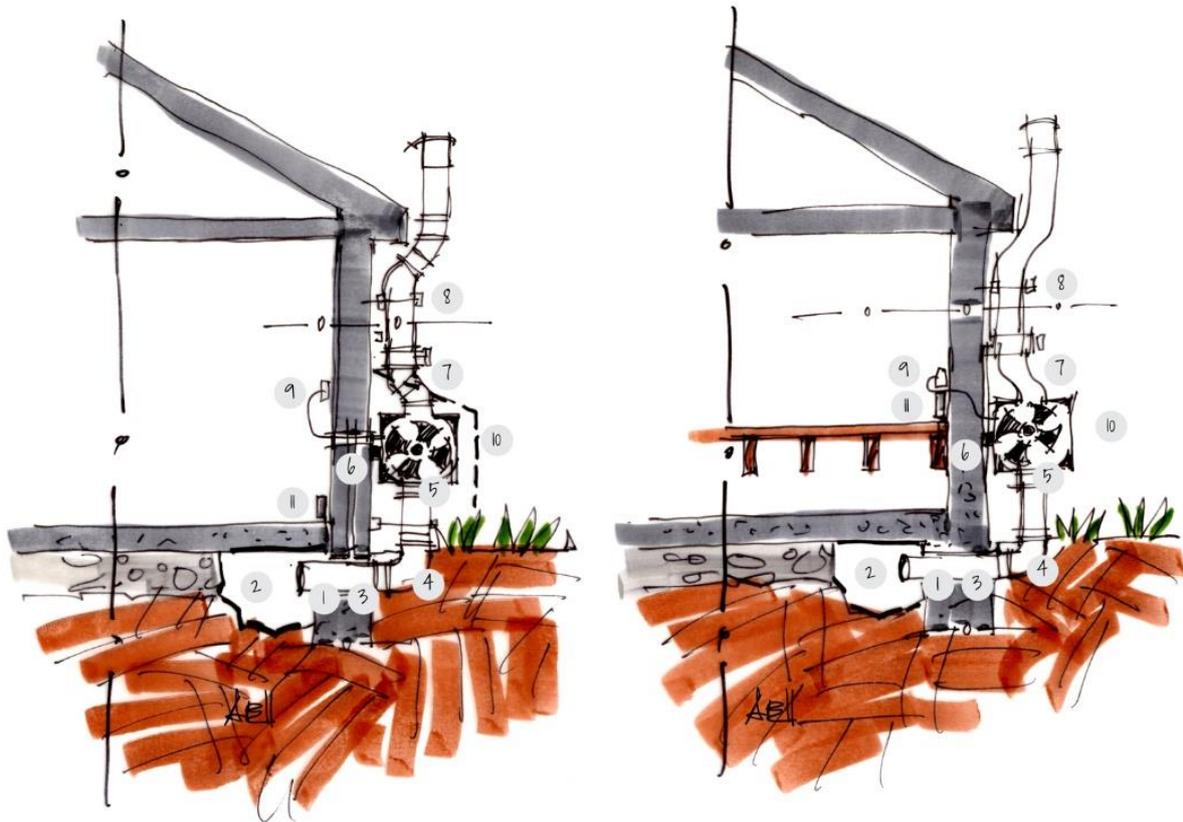


Figura AIV.7 – Esquemas exemplificativos de instalação de ventiladores de sistemas de despressurização do terreno com minicâmaras de captação, construídas através de paredes, com exaustão a nível térreo

O modo de montagem sequencial de um sistema típico de minicâmara de captação construída a partir do exterior do edifício, com exaustão elevada ao nível da cobertura, segue os mesmos passos iniciais atrás mencionadas (de 1 a 6), procedendo-se depois como indicado a seguir (Figura AIV.8):

7. Instalar outro redutor (de borracha) na parte superior do ventilador com tubagens adicionais até ao nível um pouco abaixo do beiral ou platibanda da cobertura;
8. Instalar um dreno de condensados logo acima do ventilador para evitar que a água de condensação que escorra pela condução danifique o ventilador;
9. Ligar o ventilador a uma alimentação elétrica (tal como indicado no ponto 7 da montagem descrita anteriormente);
10. Adotar as indicações descritas nos pontos 8 e 9 das instruções anteriores (Figura AIV.7).



a) Laje de betão assente no terreno

b) Pavimento de madeira sobre caixa de ar

Figura AIV.8 – Esquema exemplificativo de instalação de ventiladores de sistemas de despressurização do terreno com minicâmaras de captação construídas através da parede, com exaustão ao nível da cobertura

A Figura AIV.9 corresponde a um sistema de câmara de captação subterrânea construída pelo interior do edifício.

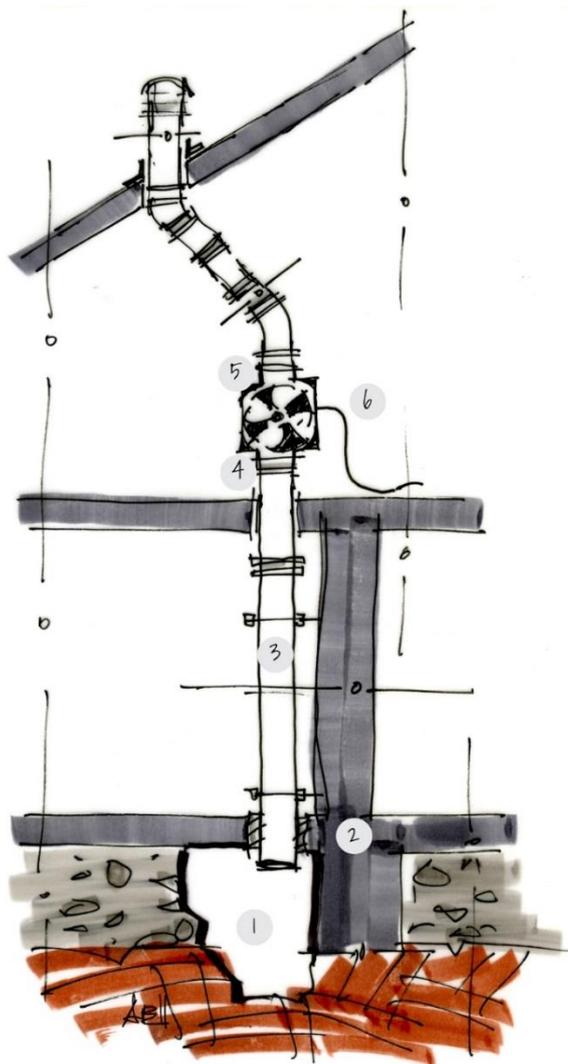


Figura AIV.9 – Esquema de instalação de um ventilador de um sistema de despressurização do terreno com minicâmara de captação construída pelo interior do edifício, com exaustão ao nível da cobertura

O modo de montagem sequencial de um sistema típico de minicâmara de captação construída pelo interior do edifício, com exaustão elevada acima de uma cobertura inclinada, segue os mesmos passos iniciais dos pontos 1 a 3 dos sistemas descritos na Figura AIV.7 e na Figura AIV.8, seguindo-se as etapas seguintes:

4. Prolongar a conduta até ao desvão da cobertura e ligar um ventilador utilizando um acessório de redução.
5. Apoiar o ventilador num suporte adequado, nomeadamente a uma parede do desvão da cobertura, e prolongar a conduta até um pouco acima do revestimento da cobertura (cerca de 0,6 m). A conduta terá de ser vedada na abertura de atravessamento e deve terminar com um “chapéu” de proteção da ação da água da chuva.
6. Ligar o ventilador a uma alimentação elétrica no interior do edifício.

11 – CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

11.1 Aparelhos de combustão

O sistema de despressurização do terreno debaixo do pavimento exige um cuidado especial se o edifício dispuser de uma cave onde estejam instaladas caldeiras ou dispositivos de combustão do tipo B; note-se que estes aparelhos admitem o ar no interior do espaço onde estão instalados para alimentar a combustão e devem estar ligados por condutas ao exterior, através das quais é feita a exaustão dos produtos da combustão (EPA, 2013), (Scivyer & Jaggs, 1998).

Nesse caso, a câmara de captação não pode ser instalada na proximidade destes aparelhos de combustão, a gás ou a lenha, a menos que exista uma barreira de baixa permeabilidade ao ar, pois é muito importante impedir que a depressão gerada na câmara de captação possa dificultar a exaustão dos produtos da combustão (aparelhos de combustão sem dispositivo de segurança podem permitir a admissão de produtos da combustão nos compartimentos do edifício). Nesses casos é necessário garantir o fornecimento de ar do exterior necessário para o bom funcionamento destes aparelhos e garantir que a abertura não esteja bloqueada. Para esse efeito deve seguir-se o disposto a norma NP 1037-1 (IPQ, 2015), para ventilação natural, ou a norma NP 1037-2 (IPQ, 2009), para sistemas de ventilação mecânica centralizada. Devem ainda adotar-se as indicações da NP 1037-3 (IPQ, 2012) relativamente ao posicionamento da saída dos produtos da combustão relativamente a janelas.

11.2 – Nível freático

Deve ser verificado se pode existir um lençol freático sob o edifício, ou que este se possa formar, especialmente durante os períodos de maior precipitação, de modo a avaliar a cota do respetivo nível freático. Caso este possa atingir a câmara de captação, o sistema de despressurização torna-se evidentemente ineficaz, pois esta câmara seria total ou parcialmente submersa, devendo-se nessa situação optar por outra solução.

11.3 – Ruído

Os ventiladores são, em geral, silenciosos. O ruído é mais frequentemente originado pelo escoamento do ar através das condutas do que pelo funcionamento do ventilador.

Para minimizar o ruído, recomendam-se as medidas seguintes:

- Manter o circuito de condutas o mais retilíneo possível, evitando percursos com demasiadas curvas;
- Posicionar a saída de exaustão afastada de portas e janelas – especialmente das janelas dos quartos de dormir, nomeadamente por poderem ser deixadas abertas à noite;
- Colocar material absorvente sonoro, quando o ventilador for montado numa caixa de proteção aos agentes atmosféricos;

- Colocar material resiliente, como bandas de borracha ou de neopreno, sob os apoios dos ventiladores colocados no interior do edifício (geralmente no desvão de coberturas inclinadas) para minorar a propagação de vibrações;
- Fixar a conduta a paredes robustas (evitar a fixação a paredes divisórias leves, como por exemplo as de gesso cartonado ou de madeira) com abraçadeiras, intercalando anilhas de material resiliente (do mesmo tipo do atrás referido) entre a conduta e a abraçadeira.

11.4 – Estética

Tanto os ventiladores como as condutas do sistema, quando localizados em áreas ocupadas, podem ser ocultados por armários, ou inseridos dentro deles, de forma a reduzir o impacto estético

12 – ENSAIO DE RECEÇÃO E TESTE DE FUNCIONAMENTO

Deve-se verificar se o sistema de ventilação por despressurização implementado, ou melhorado, funciona convenientemente e é eficaz. Para tal, deve ser feita por especialistas uma verificação minuciosa após a instalação, para diagnosticar eventuais problemas, usando um manómetro para medir a diferença de pressão existente entre a câmara de captação e o espaço do piso superior, ou entre o exterior e o interior da conduta de exaustão.

Alguns aspetos importantes a ter em conta nesse diagnóstico, são os seguintes:

- As câmaras de captação com melhor funcionamento operam quando existe, pelo menos, uma diferença de pressão de 50-200 Pa;
- Uma pressão inferior a cerca de 20 Pa pode indiciar um funcionamento em “curto-circuito” do ar na câmara de captação subterrânea, devido a uma vedação deficiente em torno da conduta de aspiração (que atravessa o pavimento ou a parede);
- Se a diferença de pressão exceder os 200 Pa, isso pode ser uma indicação de que há pouco ar a circular através do sistema, indiciando que o solo por baixo do edifício é bastante impermeável.

Para identificar eventuais admissões espúrias de ar (“fugas”) que reduzam a eficácia do sistema de aspiração de radão, também se podem usar bombas de fumo, do tipo das utilizadas na indústria mineira. Estas fugas podem resultar de:

- fissuras ou fendas nas condutas;
- juntas abertas na ligação da conduta à câmara de captação subterrânea;
- fissuras ou fendas no pavimento térreo, ou na ligação deste às paredes.
- fissuras no pavimento térreo.

Caso a concentração de radão não seja reduzida, ou seja apenas ligeiramente reduzida, após a instalação deste sistema, deve-se procurar a razão pela qual isso pode acontecer e implementar as respetivas medidas corretivas (ver Quadro AIV.1).

Quadro AIV.1 – Medidas corretivas para melhoria dos sistemas de depressurização do terreno debaixo da laje

PROBLEMA	OBSERVAÇÃO	SOLUÇÃO
Não existe alteração nos níveis de radão ou verifica-se apenas uma ligeira redução	O ventilador não está a funcionar	<ul style="list-style-type: none"> — Desligar e tornar a ligar o ventilador — Se o ventilador continuar a não funcionar, verificar o fusível. Se este estiver bom e o ventilador continuar sem funcionar, consultar o fabricante ou um electricista.
	O ventilador está a funcionar mas não está ligado permanentemente	<ul style="list-style-type: none"> — O ventilador deve estar ligado permanentemente, ou seja, a funcionar dia e noite. Se assim não acontecer, desligar e voltar a ligar o ventilador de forma permanente e verificar de novo. Se o problema persistir consultar o fabricante ou um electricista.
	O ventilador está a funcionar	<ul style="list-style-type: none"> — Aumentar a velocidade do ventilador e, em seguida, verificar novamente os níveis de radão; ou — Inverter o direcionamento do fluxo de ar e verificar de novo (esta possibilidade só deve ser utilizada se existir uma barreira de baixa permeabilidade ao ar entre a câmara de captação e o edifício); <p>Se as sugestões referidas não reduzirem suficientemente os níveis de radão, deve-se verificar se o caudal e o ajuste de velocidade do ventilador correspondem às especificações anteriormente indicadas neste anexo.</p> <p>Caso esteja tudo correto, mas se o problema persistir, recomenda-se a implementação das seguintes medidas corretivas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • instalar um sistema de ventilação pressurizada (ver Anexo III) e, em seguida, verificar de novo e/ou • melhorar a ventilação sob o pavimento, no caso de alguns desses pavimentos se encontrarem sobre caixa de ar (ver Anexos I e II) e, em seguida, verificar de novo. <p>Para edifícios de grandes dimensões ou mais antigos, pode ser necessário ampliar o sistema, construindo câmaras de captação adicionais.</p>
O nível de radão aumentou		<p>Inverter o fluxo do ventilador, ou seja, se o ventilador estiver em modo de aspiração, girá-lo para passar a modo de insuflação na câmara de captação e, em seguida, verificar novamente os níveis de radão (esta possibilidade só deve ser utilizada se existir uma barreira de baixa permeabilidade ao ar entre a câmara de captação e o edifício);</p>
SISTEMAS PASSIVOS		Colocar um ventilador no sistema para reduzir os níveis de radão e, em seguida, verificar novamente os níveis de radão

14 – MANUTENÇÃO

Deve-se realizar uma inspeção visual ao sistema, pelo menos uma vez por ano, especialmente ao ventilador.

Os rolamentos dos ventiladores são "lubrificadas para o seu tempo de vida útil", pelo que não necessitam de lubrificação adicional.

Uma forma de avaliar o funcionamento do ventilador consiste em detetar escoamento de ar na exaustão do sistema com aspiração junto do piso térreo, ou no dreno de condensados em sistemas de exaustão elevada.

Além disso, deverá ser possível escutar o ruído do funcionamento do ventilador na sua proximidade. Para avaliar a diferença de ruído, é suficiente verificar a diferença do nível sonoro com o ventilador ligado e com ele desligado. Um ventilador mais ruidoso do que o normal pode significar que apresenta já algum desgaste, podendo precisar de ser substituído.

Existem também indicadores visuais que incluem um manómetro simples, tipo bolha de sabão, constituído por um tubo transparente em "U" contendo um líquido não volátil e uma pequena esfera, que é ligado diretamente na secção de baixa pressão, na conduta que conduz ao ventilador. Este sistema permite aos ocupantes confirmar que o sistema está a funcionar. Como estes indicadores são frágeis, eles devem ser substituídos quando partidos, e não reparados, dado que a reparação (por exemplo, colando o vidro partido) pode dar indicações erradas, nomeadamente dar confirmação de funcionamento do sistema em situações em que o ventilador efetivamente se encontra avariado.

ANEXO V

Membranas ou filmes contra o radão sobre pavimentos

1 – OBJETIVOS E CAMPO DE APLICAÇÃO

Este Anexo dá orientações aos projetistas, construtores e proprietários de edifícios para a aplicação de soluções com base em membranas ou filmes prefabricados que funcionem como barreiras ao radão em pavimentos. Também são dadas orientações sobre eventuais trabalhos de reparação que haja necessidade de realizar.

Essas membranas ou esses filmes têm geralmente outro tipo de aplicação, nomeadamente de impermeabilização de coberturas em terraço, de paredes enterradas e de pavimentos térreos, funcionando neste último caso como barreira contra a ascensão capilar de água do terreno.

2 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

As membranas ou os filmes prefabricados, através da sua resistência à difusão do gás radão, permitem reduzir significativamente o fluxo deste gás do terreno para o interior do edifício.

3 – EFICÁCIA

A eficácia desta solução está fundamentalmente associada à possibilidade de execução adequada dos remates das membranas, ou dos filmes, aplicados na zona corrente do pavimento com os pontos singulares do edifício.

A solução é eficaz para qualquer nível de radão, sendo, no entanto, recomendável complementá-la com outras soluções, sempre que possível. A sua eficácia depende designadamente da incorporação de uma folha metálica (em geral de alumínio) ou de plástico na sua constituição.

3 – LOCALIZAÇÃO DAS MEMBRANAS E DOS FILMES

As membranas ou filmes são especialmente vocacionadas para serem aplicadas em grandes superfícies, ou seja, em pavimentos térreos ou pavimentos sobrelevados com caixa de ar subjacente.

A solução mais corrente de pavimentos em contacto com o terreno de edifícios existentes consiste numa camada de betão, armado ou não, ou de pedra, assente sobre uma ou todas as seguintes camadas: betão de limpeza, enrocamento, camada de regularização, isolante térmico e membrana de impermeabilização contra a ascensão capilar; estes pavimentos, com estas camadas, podem ser de pisos térreos ou de caves. Em edifícios existentes não é corrente a existência da camada de isolamento térmico. Estas camadas permitem não só dar o suporte adequado ao pavimento de betão ou de pedra, mas também garantir ou complementar a estanquidade à água proveniente do terreno, nomeadamente aquela que, por capilaridade, pudesse atingir o revestimento de piso. Ou seja, se o edifício existente dispuser já de uma barreira contra a ascensão capilar, ou mesmo uma impermeabilização, essa solução contribuirá já francamente para evitar a passagem do radão para o interior do edifício, podendo assim dispensar-se a utilização de uma das soluções que seguidamente se apresentam. No entanto, isso em

geral não acontece, como provam as inúmeras situações anómalas resultantes de humidades verificadas nos elementos construtivos de edifícios em contacto com o terreno.

No caso dos pavimentos sobrelevados do terreno, com caixa de ar subjacente, a solução de pavimento pode consistir em lajes maciças ou aligeiradas de betão armado, ou de vigotas e abobadilhas prefabricadas, ou num soalho de madeira geralmente também assente numa estrutura resistente de madeira.

Em qualquer das soluções de pavimento referidas, a membrana ou filme resistente ao radão terá de ser colocada sobre o pavimento, a menos que se aproveitem obras de reabilitação, com remoção do pavimento existente, para a poder colocar por baixo do novo pavimento.

4 – DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES

4.1 – Constrangimentos existentes

Consistindo a hipótese mais frequente na colocação da membrana ou filme sobre o pavimento existente (ou seja, sem o remover), naturalmente que os elementos construtivos existentes são um constrangimento à sua execução. Tais constrangimentos resultam da necessidade de sobrelevar a cota do piso, pelas implicações que tal terá especialmente na redução do pé direito dos compartimentos e no conflito com as portas interiores e exteriores do edifício. Além disso, nas soluções mais económicas, e também menos eficazes, essa membrana ou esse filme seriam interrompidos nas paredes interiores e nas paredes de fachada, permitindo a passagem do gás radão por essas zonas. Por estes factos, por não ser possível na generalidade dos casos (como acontece em paredes de betão armado ou em certas paredes resistentes), por razões técnicas ou económicas, garantir a continuidade da membrana em toda a superfície da construção em contacto com o terreno, esta solução deve ser encarada com as devidas reservas., esta solução deve ser encarada com as devidas reservas. No entanto, se for possível introduzir em toda a espessura das paredes uma barreira (bandas de membrana ou solução equivalente – vd. Anexo VI) que dê continuidade à membrana ou filme sobre o pavimento, esta solução já pode ser encarada como mais apropriada, complementada ou não com outras soluções de ventilação; note-se que neste caso os custos envolvidos podem ser significativos.

4.2 – Pavimento de betão ou de pedra sem caixa de ar subjacente

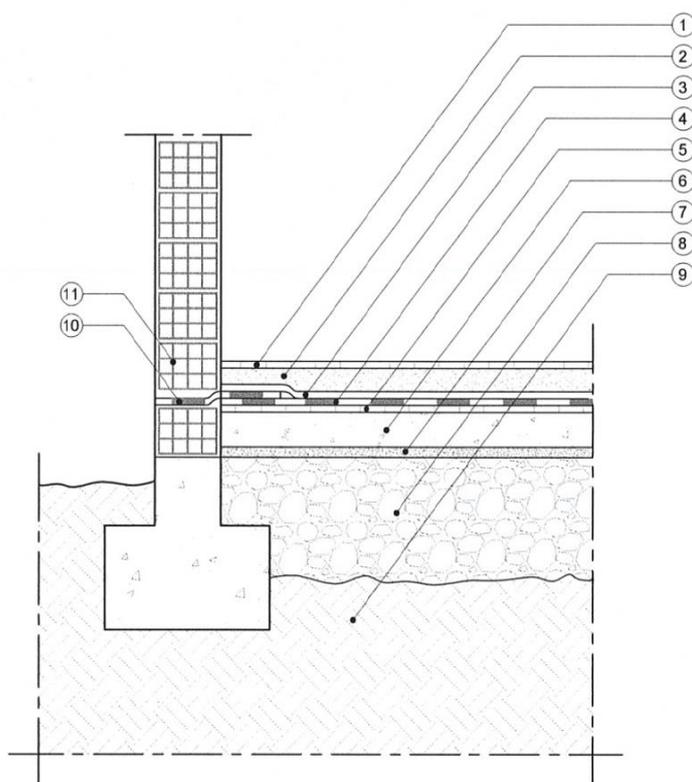
Este será o caso mais frequente referido em 4.1, que corresponde à colocação de uma barreira ao radão sem remover, portanto, o pavimento existente.

Nesta situação apresenta-se a solução para a zona corrente do pavimento e a que pode ser utilizada na sua ligação aos elementos emergentes do pavimento (em geral paredes).

a) Aplicação da membrana ou filme sobre o pavimento

Procurando ser o menos intrusivo possível, e daí também tornar a solução mais económica, a membrana ou filme resistentes ao radão poderiam ser diretamente aplicados sobre o revestimento de piso existente, totalmente independentes do mesmo, ou seja, sem a ele ser aderida ou fixada. Sobre a membrana ou filme seria depois aplicada uma betonilha dessolidarizada da mesma, através de um feltro apropriado (por exemplo, feltro de poliéster com pelo menos 300 g/m² de massa) ou de duas folhas de plástico de espessura não inferior a 200 µm cada (Figura AV.1). A espessura dessa betonilha não deve ser inferior a 30 mm. A betonilha, devidamente regularizada, servirá de suporte ao novo revestimento de piso. Conforme se referiu, esta solução obriga a intervir nas portas e na sua soleira.

Em princípio não se colocarão problemas de capacidade resistente e de deformação do pavimento existente devido às cargas adicionais que sobre o mesmo serão colocadas.



- 1 – Novo revestimento de piso
- 2 – Betonilha de regularização
- 3 – Camada de dessolidarização
- 4 – Membrana barreira contra o radão
- 5 – Revestimento de piso existente
- 6 – Pavimento de betão
- 7 – Camada de betão de limpeza (eventual)
- 8 – Enrocamento
- 9 – Terreno
- 10 – Banda barreira contra o radão (caso seja possível)
- 11 – Alvearia de tijolo (ou de pedra aparelhada)

Figura AV.1 – Membrana barreira contra o radão diretamente aplicada sobre o revestimento de piso existente (pavimento térreo)

b) Aplicação de barreiras na espessura das paredes

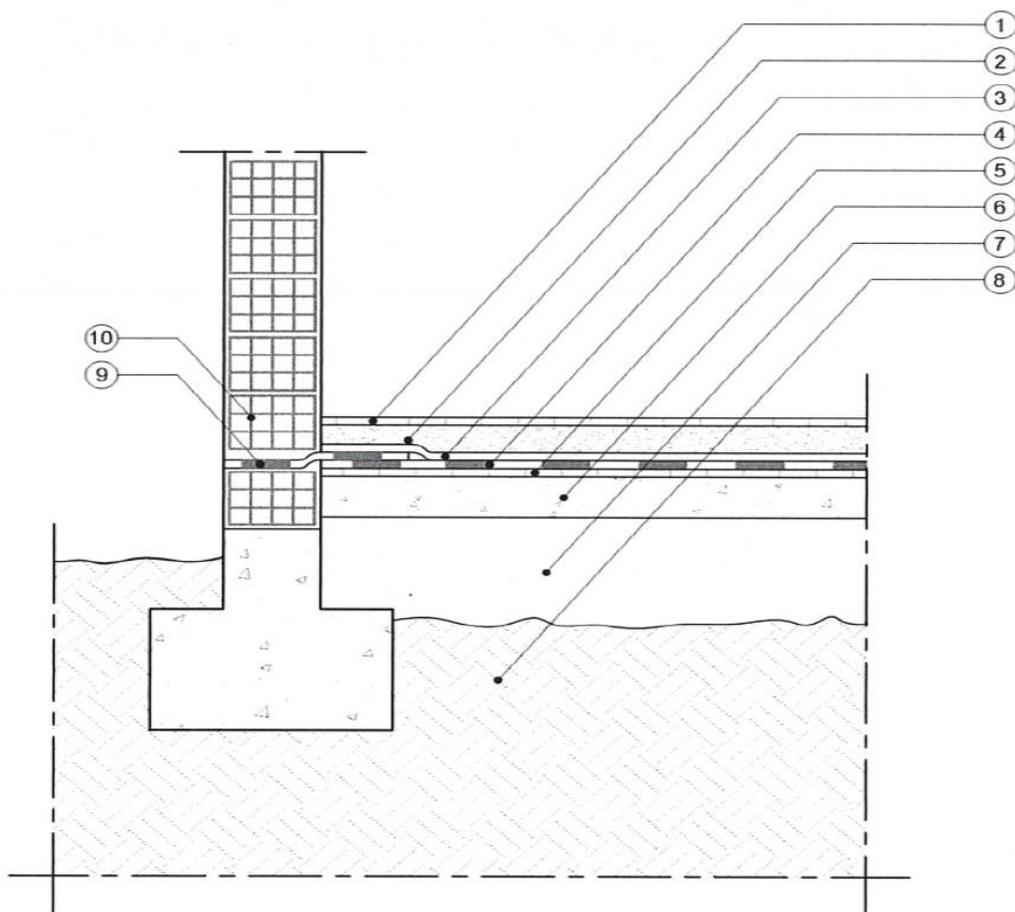
A eficiência da solução referida em a) é naturalmente maior se for possível introduzir bandas de membrana (ou de solução idêntica) na espessura de todas as paredes ao nível do pavimento térreo (Figura AV.1). Esta é de resto uma técnica usada para evitar a ascensão capilar da água do terreno pelas paredes. Para tal, existem várias soluções, que são função da resistência mecânica da parede, da sua espessura e dos materiais que a constituem. A colocação de bandas de membranas prefabricadas na parede obriga ao corte criterioso da parede, de forma alternada em toda a sua espessura e ao longo do seu desenvolvimento; esses cortes, realizados com uma serra de discos, são preferivelmente feitos nas juntas horizontais dos elementos que constituem as paredes, especialmente quando é nessas zonas que é menor a resistência mecânica da parede, quando comparada com a dos materiais que a formam (por exemplo alvenaria de pedra granítica). Quando a espessura da parede é significativa (maior que o raio da serra de discos), o corte é feito alternadamente pelo interior e pelo exterior ao longo do desenvolvimento da parede (se isso for possível pelo exterior). É claro que em paredes de betão armado, ou em certos tipos de paredes resistentes, esta técnica não é viável, pelas razões já referidas em 4.1.

4.3 – Pavimento de betão com caixa de ar subjacente

Os procedimentos de colocação da membrana ou filme sobre o pavimento e das bandas nas paredes são exatamente iguais aos referidos em 4.2 (Figura AV.2). bem como da colocação das bandas nas paredes, quando tal for possível e economicamente viável. Note-se que neste caso deve ser sempre comprovada a reserva de resistência da laje existente para as cargas adicionais aplicadas sobre a mesma.

Neste caso, o pavimento poderá ainda ser constituído por uma laje aligeirada, nomeadamente formada por vigotas e abobadilhas prefabricadas. Dada a maior permeabilidade deste tipo de laje ao gás radão, comparativamente com a das lajes maciças, devido à maior possibilidade de se formarem fendas entre os seus componentes de materiais distintos, a colocação de uma membrana ou filme em toda a sua superfície será um aspeto mais importante.

A caixa de ar sob o pavimento poderá ser utilizada, para complementar esta técnica com outras que recorram à ventilação.



- 1 – Novo revestimento de piso
- 2 – Betonilha de regularização
- 3 – Camada de dessolidarização
- 4 – Membrana contra o radão
- 5 – Revestimento de piso existente
- 6 – Pavimento de betão
- 7 – Caixa de ar
- 8 – Terreno
- 9 – Banda barreira contra o radão (caso seja possível)
- 10 – Alvearia de tijolo (ou de pedra aparelhada)

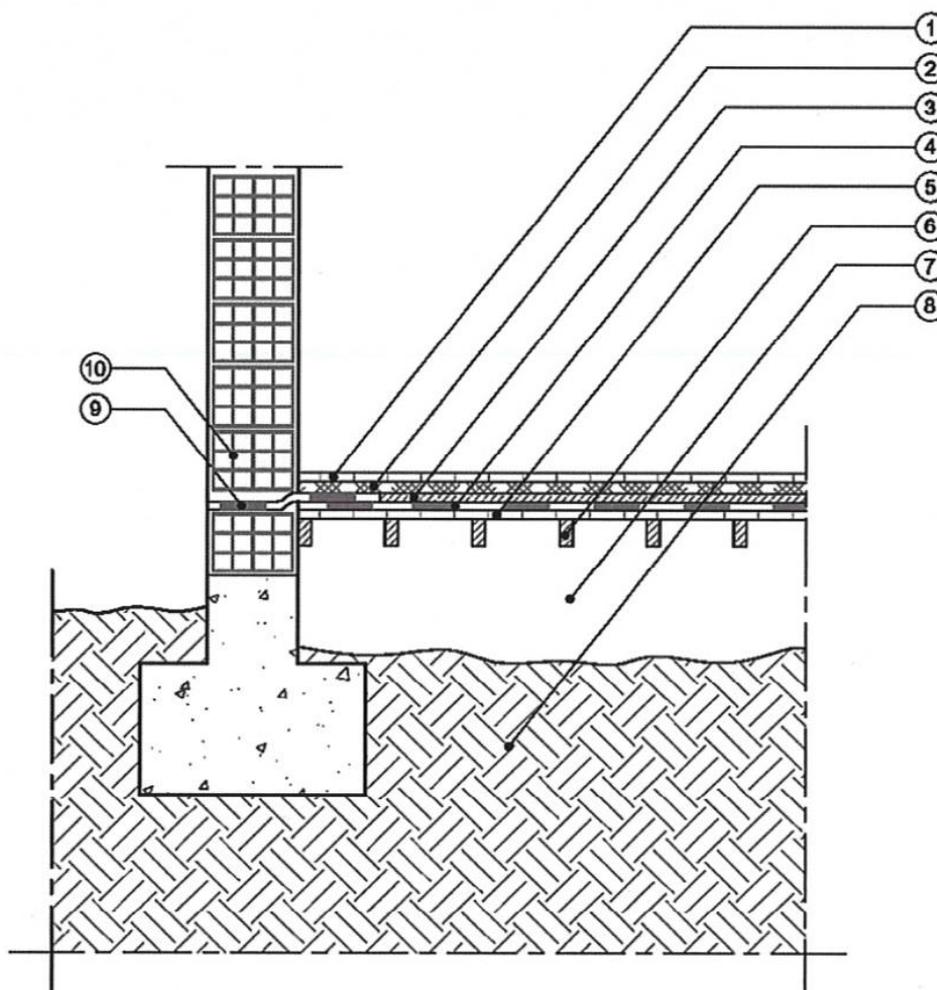
Figura AV.2 – Membrana contra o radão diretamente aplicada sobre o revestimento de piso existente (pavimento com caixa de ar)

4.4 – Pavimento de madeira com caixa de ar subjacente

Não se prevê que possam existir pavimentos com base em madeira (soalho de madeira com pranchas ou réguas de madeira) diretamente assentes no terreno ou em camadas de base sobre os quais os elementos de madeira sejam aplicados; as soluções em que essas camadas de base existam, geralmente constituídas por betão ou betonilha, são enquadradas no caso 4.2, onde o revestimento de piso aí contemplado é então formado pelos elementos de madeira referidos, ou ainda por tacos ou parquet de madeira.

Assim, no caso de pavimento com base em madeira sobre caixa de ar, a estrutura resistente de suporte destes pavimentos é também formada em geral com elementos de madeira.

Supondo igualmente que se possa manter o pavimento existente, o tipo de solução será idêntica às anteriores, ou seja, a membrana será também colocada diretamente sobre toda a zona corrente do pavimento (Figura AV.3). Como em geral a capacidade resistente dos pavimentos de madeira é limitada (comparativamente com a das lajes de betão), a camada de proteção da membrana não deve introduzir cargas adicionais significativas sobre o pavimento.



- 1 – Novo revestimento de piso
- 2 – Estrado de madeira (eventual)
- 3 – Camada resiliente
- 4 – Membrana contra o radão
- 5 – Revestimento de piso existente
- 6 – Estrutura de suporte do pavimento
- 7 – Caixa de ar
- 8 – Terreno
- 9 – Banda barreira contra o radão (caso seja possível)
- 10 – Alvearia de tijolo (ou de pedra aparelhada)

Figura AV.3 – Membrana contra o radão aplicada sobre o revestimento de piso de madeira existente

Assim, dependendo do novo tipo de revestimento de piso a aplicar, sugere-se que sobre a membrana ou filme seja colocada uma das seguintes proteções, ou camada de suporte, desse novo revestimento de piso: material resiliente de espessura suficiente para compensar os ligeiros desníveis criados especialmente com as juntas de sobreposição das membranas, ou estrado de madeira ou seus derivados (preferivelmente também aplicado sobre o mesmo material resiliente referido).

As soluções e as técnicas de inserção de bandas nas paredes, quando possível, são as mesmas que as referidas em 4.2.b).

5 – CARACTERÍSTICAS DAS MEMBRANAS E FILMES

5.1 – Tipos de membranas e filmes

Conforme se referiu, a generalidade das membranas que podem ser usadas com as funções de restringir a passagem do radão para o interior do edifício é também utilizada para outros fins (vd. 1).

Os principais tipos e membranas existentes no mercado que podem desempenhar a função pretendida, são os seguintes: membranas betuminosas e membranas sintéticas. Nas primeiras podem incluir-se as membranas tradicionais de betume oxidado e as membranas de betume-polímero de polipropileno atático (APP) ou de estireno-butadieno-estireno (SBS). Nas segundas incluem-se as membranas de PVC plastificado e as com base em borracha, como as de EPDM. Existem outros tipos de membranas, mas estas serão as mais utilizadas em Portugal.

Assim, dependendo do novo tipo de revestimento de piso a aplicar, propõe-se que sobre a membrana ou filme seja colocada uma das seguintes proteções, ou camada de suporte desse novo revestimento de piso: material resiliente de espessura suficiente para compensar os ligeiros desníveis criados especialmente com as juntas de sobreposição das membranas, ou estrado de madeira ou seus derivados (preferivelmente também aplicado sobre o mesmo material resiliente referido).

As soluções e as técnicas de inserção de bandas nas paredes, quando possível, são as mesmas que as referidas em 4.2.b).

Na falta de especificações técnicas europeias que lhes sejam diretamente aplicáveis, recomenda-se que sejam seguidas as normas europeias (ou correspondente norma portuguesa) relativas a cada um daqueles tipos de membranas: para as betuminosas, a norma NP EN 13707, e para as membranas de PVC ou de EPDM, a norma EN 13956 (em ambos os casos aplicáveis a revestimentos de coberturas). Aliás, as normas de ensaio que se encontram referidas nas fichas técnicas de membranas de tipos distintos das referidas são as que são mencionadas naquelas duas normas europeias harmonizadas.

Como barreira contra o radão pode ainda utilizar-se uma solução, em princípio mais económica, com base em folhas de plástico de polietileno ou de polipropileno.

Uma das características mais importantes para garantir o objetivo pretendido é o coeficiente de difusão ao radão (geralmente expresso em $a \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$); utilizam-se também outros parâmetros, como a transmitância ao radão (correntemente expressa em $b \times 10^{-9} \text{ m/s}$) ou a resistência ao radão (expressa

em $c \times 10^7 \text{ s/m}^{20}$. Para além destas características, as membranas e os filmes devem ter as propriedades apropriadas para serem aplicadas em condições satisfatórias com as técnicas conhecidas e terem uma durabilidade ajustada ao tempo de vida do edifício. Entre essas propriedades salienta-se a sua resistência mecânica, como a resistência à tração, ao punçoamento e ao rasgamento, e as propriedades físicas, como a sua resistência a altas e baixas temperaturas e a estabilidade dimensional ao calor. As resistências mecânicas e a estabilidade dimensional são fortemente influenciadas pelo tipo de armadura incorporada na membrana, e para as principais propriedades físicas contribuem fundamentalmente a família química do material que as constituem.

5.2 – Membranas betuminosas

Conforme mencionado em 5.1, existem basicamente dois tipos de membranas betuminosas, aquelas, cuja mistura é formada por betume oxidado e as que nas misturas betuminosas são incorporadas, em quantidades significativas, de APP ou de SBS. Em qualquer delas a largura costuma ser de 1,0 m, a espessura pode variar entre cerca de 2 mm a 5 mm e a massa superficial entre cerca de 2 kg/m² e 5 kg/m²; os comprimentos variam com a espessura ou a massa, desde 8 m até 12 ou 15 m. Se as membranas forem aplicadas em sistemas de camada única, recomenda-se que a sua espessura ou massa não sejam inferiores a 4 mm ou a 4 kg/m², respetivamente.

Em geral, estas membranas são armadas, sendo as principais armaduras os feltros ou telas de fibras de vidro e os feltros de poliéster. Menos frequentes são as armaduras de plástico e de alumínio ou cobre. Para evitar roturas das membranas durante o manuseamento, recomenda-se que sejam utilizadas armaduras que conduzam a uma resistência ao rasgamento das respetivas membranas de pelo menos 50 N ou 150 N (de acordo com a técnica de ensaio prevista na NP EN 12310-1), consoante os sistemas sejam constituídos por duas membranas coladas entre si, ou por uma só membrana.

O acabamento deste tipo de membranas pode ser apenas uma muito ligeira película de plástico (para evitar a aderência entre as faces da membrana durante o seu enrolamento na fábrica), granulado mineral diverso ou folhas de alumínio ou cobre (as designadas membranas auto protegidas). Do ponto de vista da permeabilidade ao radão, as membranas mais eficientes são naturalmente aquelas que dispõem de armaduras metálicas (alumínio ou cobre), ou com acabamento dos mesmos materiais.

5.3 – Membranas de PVC

As membranas de PVC plastificado são constituídas pela resina de poli(cloreto) de vinilo, plastificantes, estabilizantes e cargas, podendo ser armadas ou não. A sua espessura nas soluções usuais pode variar entre 1,0 mm e 2,0 mm, sendo a mais corrente a de 1,2 mm. A largura do rolo é em geral superior

²⁰ O método de ensaio utilizado é designado por SP Method nº 3873. Deve ainda ter-se em conta a norma internacional ISO/TS 11665-13:2017.

a 1,0 m, podendo fabricar-se com larguras significativas para cobrir a maior área possível do pavimento, ou parede a revestir.

Quando armadas, as armaduras mais utilizadas são as redes de fibra de vidro ou os feltros de poliéster, não se conhecendo membranas armadas com folhas metálicas (de alumínio ou cobre) nem acabadas com este mesmo tipo de material. Tal como para as membranas betuminosas, e pelas mesmas razões apresentadas, recomenda-se que a resistência ao rasgamento seja superior a 150 N (de acordo com o preconizado na norma NP EN 12310-1).

As membranas de PVC são sempre aplicadas em sistemas de camada única.

5.4 – Membranas com base em borracha

As membranas deste tipo mais utilizadas em Portugal são as de monómeros de etileno-propileno-dieno (EPDM), tendo no passado sido corrente usarem-se as de borracha butílica. Em geral, estas membranas não são armadas e a sua espessura pode também variar entre 1,0 e 2,0 mm. Tal como nas membranas de PVC, a largura dos rolos poderá também ser francamente superior a 1,0 m.

Os sistemas formados por estas membranas são também sempre de camada única, ou seja, são sempre formados por uma única membrana.

5.5 – Filmes de plástico

Conforme se referiu, os filmes de plástico mais usuais são os de polietileno ou de polipropileno. As suas espessuras e massa superficial não devem ser inferiores a 300 μm e a 270 g/m^2 , respetivamente (VISQUEEN, 2018). Devido à sua reduzida resistência mecânica, sugere-se que sejam sempre utilizados dois filmes sobrepostos, em vez de apenas um. Existem ainda filmes compósitos de plástico (de PE ou PP) formados por várias camadas destes materiais intercalando películas de alumínio (NECOFLEX, 2014). A largura de qualquer destes filmes é geralmente superior a 1 m, sendo o comprimento geralmente superior a 20 m.

6 – TÉCNICAS DE APLICAÇÃO

6.1 – Generalidades

Qualquer que seja o tipo de membrana, a sua aplicação em pavimentos pode ser feita em sistemas utilizando fundamentalmente uma das seguintes três técnicas: sistemas aderentes, sistemas independentes (ou soltos) e sistemas fixados mecanicamente. A técnica mais apropriada, e também a mais económica, é a primeira, sendo também esta a que deve ser usada quando se apliquem filmes de plástico.

Qualquer que seja a técnica utilizada, o suporte sobre o qual é aplicada a membrana ou o filme deve estar seco, isento de poeiras e suficientemente regular, especialmente sem saliências significativas que possam perfurar a membrana ou o filme após a sua colocação.

6.2 – Membranas betuminosas

6.2.1 - Colocação dos rolos

Os rolos devem ser desenrolados sem ficarem sujeitos a tensões e alinhados diretamente sobre o suporte (podendo este ser diretamente o revestimento do pavimento existente) de modo a sobreporem-se longitudinal e transversalmente, ao longo dos bordos respetivos, numa faixa correspondente à largura da junta de sobreposição. Essa largura não deve ser inferior a 0,10 m, correspondendo este valor à faixa efetivamente colada entre as duas membranas.

6.2.2 - Ligação das membranas entre si e ao suporte

A ligação entre membranas faz-se ao longo das juntas de sobreposição referidas em 6.2.1, em toda a sua largura, e preferivelmente por soldadura por meio de chama; podem ainda utilizar-se colas betuminosas apropriadas para tal.

A soldadura deve ser feita de forma que reflua pelo bordo das juntas de sobreposição longitudinais ou transversais uma pequena quantidade de betume fundido resultante do seu aquecimento.

Quando o sistema é formado por duas membranas, as juntas da camada superior do sistema devem ficar desencontradas em relação às juntas da camada inferior, ou então as duas camadas devem ser aplicadas de forma cruzada. Neste tipo de sistema, geralmente menos utilizado, a ligação entre as duas membranas é também realizada preferencialmente por soldadura por meio de chama, ou ainda utilizando colas betuminosas apropriadas.

O bordo da membrana colocada pelo lado superior das juntas deve ser biselado com a ponta duma colher de pedreiro ou uma espátula metálica aquecida.

A ligação das membranas ao suporte, no caso dos sistemas aderentes, é também feita preferencialmente por soldadura por meio de chama, embora se possam igualmente utilizar colas betuminosas apropriadas. Embora se possam aplicar sobre os pavimentos sistemas fixados mecanicamente, não se justifica economicamente esta solução.

6.3 – Membranas de PVC

6.3.1 - Colocação dos rolos

Com este tipo de membrana a solução recomendada consiste no uso de um sistema independente do suporte, formado apenas por uma membrana. A membrana deve ser aplicada sobre suportes secos, limpos e isentos de asperezas e ressaltos.

Os rolos devem ser desenrolados sem ficarem sujeitos a tensões e alinhados sobre o suporte de modo a sobrepor-se longitudinal e transversalmente, ao longo dos bordos respetivos, numa extensão correspondente à largura da junta de sobreposição. Esta largura não deve ser inferior a 100 mm e 50 mm, respetivamente nos casos das juntas de sobreposição longitudinais e transversais.

6.3.2 - Ligação das membranas entre si e ao suporte

A ligação entre membranas faz-se ao longo das juntas de sobreposição referidas em 6.3.1. Essa ligação é realizada preferivelmente por soldadura por ação de ar quente, utilizando equipamento manual ou automático. Em qualquer dos casos, a ligação é garantida pela pressão adequada exercida sobre a faixa da junta de sobreposição soldada. A qualidade da soldadura pode ser controlada através da pressão exercida, ao longo do bordo da junta, por uma ponteira metálica de ponta romba, ou pela aresta de uma colheira de pedreiro.

A largura mínima de soldadura das juntas de sobreposição é de 20 mm ou de 30 mm, contados a partir do bordo da membrana superior, respetivamente nos casos da respetiva ligação ser efetuada com equipamento automático apropriado ou manualmente.

Na execução dessa ligação, especialmente quando a mesma é feita manualmente, recomenda-se que o bordo aparente da junta de sobreposição seja biselado, de modo a proteger o bordo da armadura através do material resultante do refluimento do PVC fundido por ação do ar quente. Este procedimento minimiza a eventual possibilidade de infiltração de água por capilaridade através das juntas de sobreposição.

As soldaduras devem ser interrompidas quando a temperatura do ar é inferior a 0 °C.

A ligação das juntas de sobreposição pode ainda ser feita com colas de contacto específicas para tal. Recomenda-se, no entanto, a utilização da primeira técnica, especialmente quando a temperatura ambiente é baixa ou a qualidade da preparação das superfícies das juntas a ligar não seja feita com os devidos cuidados.

Embora se possam também utilizar sobre os pavimentos sistemas fixados mecanicamente, a respetiva solução não se justifica economicamente.

6.4 – Membranas de EPDM

6.4.1 - Colocação dos rolos

Com este tipo de membrana a solução recomendada consiste também no uso de um sistema independente do suporte formado apenas por uma membrana.

A membrana deve ser aplicada sobre suportes secos, limpos e isentos de asperezas e ressaltos.

Os rolos devem ser desenrolados sem ficarem sujeitos a tensões e alinhados sobre o suporte de modo a sobrepor-se longitudinal e transversalmente, ao longo dos bordos respetivos, numa extensão correspondente à largura da junta de sobreposição. Esta largura não deve ser inferior a 100 mm.

6.4.2 - Ligação das membranas entre si e ao suporte

A ligação entre membranas faz-se ao longo das juntas de sobreposição referidas em 6.4.1. Essa ligação pode ser realizada utilizando bandas vulcanizadas autoadesivas em ambas as faces, que são colocadas sobre o bordo da membrana inferior, sendo em seguida aderido sobre a superfície superior dessa banda o bordo da membrana superior. A ligação é garantida pela pressão adequada exercida sobre a faixa da junta de sobreposição.

A ligação das membranas entre si deve ser interrompida quando a temperatura do ar for inferior a 0 °C.

A ligação das juntas de sobreposição pode ainda ser feita com colas de contacto específicas para tal. Recomenda-se, no entanto, a utilização da primeira técnica, especialmente quando a temperatura ambiente é baixa ou a qualidade da preparação das superfícies das juntas a ligar não seja feita com os devidos cuidados.

Embora se possam também utilizar sobre os pavimentos sistemas fixados mecanicamente, a respetiva solução não se justifica economicamente.

6.5 – Filmes de plástico

6.5.1 - Colocação dos rolos

Com este tipo de filmes a solução recomendada consiste também no uso de um sistema independente do suporte formado por dois filmes colocados um sobre o outro.

Os filmes devem ser aplicados sobre suportes secos, limpos e isentos de asperezas e ressaltos.

Os rolos devem ser desenrolados sem ficarem sujeitos a tensões e alinhados sobre o suporte de modo a sobreporem-se longitudinal e transversalmente, ao longo dos bordos respetivos, numa extensão correspondente à largura da junta de sobreposição. Esta largura não deve ser inferior 100 mm.

6.5.2 - Ligação dos filmes entre si

A ligação entre os filmes faz-se ao longo das juntas de sobreposição referidas em 6.5.1. Essa ligação pode ser realizada utilizando produtos vedantes específicos, sendo a ligação garantida pela pressão adequada exercida na junta sobre esses produtos.

Em alternativa os filmes podem ser simplesmente sobrepostos nas juntas de sobreposição sem qualquer ligação entre si. Neste caso recomenda-se aumentar a largura da junta para 150 mm.

7 – TRABALHOS DE REPARAÇÃO

Como se compreende, os trabalhos de reparação a efetuar sobre o sistema formado por membranas ou filmes constituindo barreiras contra o radão, após ter sido aplicada a solução integral do pavimento, envolvem a remoção das camadas que sobre ele tenham sido aplicadas (pelo menos uma camada de

proteção e o novo revestimento de piso). Por este facto, deve evitar-se o mais possível que tais trabalhos sejam necessários durante o tempo de vida útil do edifício, pelos custos que tal envolveria.

As reparações a efetuar ocorrem geralmente logo após a aplicação das membranas ou dos filmes, em geral pela ação perfurante de elementos pontiagudos, ou por deficiência na ligação das membranas ou filmes entre si. Nestes casos, deve ser aplicada uma banda sobre a zona afetada, utilizando o mesmo material da solução original e as mesmas técnicas de aplicação mencionadas na secção 6 deste anexo.

8 – CONTROLO DE QUALIDADE

As membranas ou filmes a utilizar com as funções em questão devem seguir as especificações, europeias ou internacionais, relativamente ao seu campo de aplicação. Será sempre preferível adotar soluções cujo campo de aplicação tenha sido devidamente comprovado por organismos creíveis (BBA, 2017). As características desses produtos podem ser comprovadas em obra através de ensaios de receção, devidamente previstos na fase de projeto.

Embora as condições de aplicação em obra sejam descritas nos referidos documentos que comprovam a adequação ao uso das respetivas soluções, durante a execução devem ter-se cuidados acrescidos especialmente quando as membranas ou filmes tenham menores resistências mecânicas, nomeadamente ao rasgamento e ao punçoamento. Naquelas condições de aplicação em obra estão também previstas as que dizem respeito à ligação das membranas entre si nas juntas de sobreposição, um dos pontos críticos do seu desempenho da membrana à passagem do radão.

Nalgumas soluções é mais fácil encontrar técnicas devidamente comprovadas que permitem verificar a qualidade dessas juntas: é o caso das juntas entre membranas de PVC plastificado. Essa técnica consiste na criação de um canal entre dois alinhamentos de soldaduras executadas nas juntas de sobreposição (em vez de apenas um, como é corrente), no qual é introduzido ar sobre pressão, cujos valores vão sendo controlados ao longo do tempo; considera-se que a junta é estanque se não houver perda de pressão acima de determinados valores no final do tempo de ensaio.

Este procedimento pode de resto ser utilizado para outros tipos de membranas ou filmes, desde que se possam realizar esses dois alinhamentos de soldadura nas juntas de sobreposição.

Note-se, no entanto, que deve ser sempre ponderada a realização destes tipos de ensaios, face à qualidade da mão de obra escolhida para aplicação das membranas. Ou seja, se nas dezenas ou centenas de metros lineares de juntas de sobreposição realizadas, em uma ou outra não tenham sido aderidas as duas membranas justapostas, em toda a largura da junta (os tais 20 mm a 150 mm, consoante o tipo de membrana), pode questionar-se sobre a influência que tal terá na passagem de radão, face a outras descontinuidades particulares menos controláveis de cada obra. Se forem adotados os procedimentos atrás referidos sobre a execução destas juntas, minimiza-se ou mesmo elimina-se esta possibilidade de anomalia.

ANEXO VI

Membranas e filmes contra o radão em paredes

1 – OBJETIVOS E CAMPO DE APLICAÇÃO

Este Anexo oferece orientações aos projetistas, construtores e proprietários de edifícios para a aplicação de soluções com base em membranas e filmes prefabricados que funcionem como barreiras ao radão em paredes. Também são dadas orientações sobre eventuais trabalhos de reparação que haja necessidade de realizar.

Tais membranas ou filmes têm geralmente outro tipo de aplicação, nomeadamente de impermeabilização de coberturas em terraço, de paredes enterradas e de pavimentos térreos, funcionando neste último caso como barreira contra a ascensão capilar de água do terreno.

2 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

As membranas prefabricadas ou os filmes, com base na sua resistência à difusão do gás radão permitem reduzir significativamente o fluxo deste gás do terreno para o interior do edifício.

3 – EFICÁCIA

A eficácia desta solução está fundamentalmente associada à possibilidade de execução adequada dos remates das membranas e dos filmes aplicados na zona corrente das paredes com os pontos singulares do edifício.

A solução é eficaz para qualquer nível de radão, sendo, no entanto, recomendável complementá-la com outras soluções, sempre que possível. A sua eficácia depende designadamente da incorporação de uma folha metálica (em geral de alumínio) ou de plástico na sua constituição.

3 – LOCALIZAÇÃO DAS MEMBRANAS E DOS FILMES

As membranas ou filmes são especialmente vocacionadas para serem aplicados em grandes superfícies, ou seja, em paredes em contacto com o terreno (paredes enterradas). Podem, no entanto, utilizar-se bandas destas membranas para aplicação na espessura da parede, em toda a sua extensão, através de cortes horizontais apropriados realizados na parede.

As paredes em contacto com o terreno podem ser paredes de caves ou paredes delimitando espaços de ar sob os pavimentos, em geral assentes sob fundações contínuas. A situação mais desfavorável sob o ponto de vista da admissão do radão para o interior do edifício corresponderá em geral ao primeiro caso.

Assim, no primeiro caso a colocação das membranas e dos filmes é geralmente feita pelo interior da cave, dada a dificuldade, ou mesmo a impossibilidade, de remover o terreno adjacente a essa parede, devido à sua extensão (altura) ou à existência de edifícios adjacentes. Para o caso de paredes

delimitando espaços de ar sob pavimentos, a sua altura é em geral menor, podendo ser removido o terreno adjacente ao edifício, caso não confinem com ele outros edifícios.

Em qualquer dos casos, existem vários tipos de paredes, sendo as mais correntes e antigas as de alvenaria de pedra ou de tijolo, e, as mais recentes, as de betão.

4 – DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES

4.1 – Constrangimentos existentes

Face ao referido em 3., os principais constrangimentos estão relacionados com a impossibilidade ou a grande dificuldade de aplicar as membranas pelo lado exterior, ou com os condicionalismos da sua aplicação pelo interior, como a redução da área útil do pavimento ou a necessidade de ter de limitar o uso dos respetivos espaços durante o decorrer das obras.

Para se impedir, ou pelo menos limitar, a passagem do radão pelas paredes (proveniente das respetivas fundações), tornar-se-ia necessário colocar barreiras formadas por bandas de membranas introduzidas na secção transversal da parede. Este é também um constrangimento importante a ter em conta, pois nem sempre esta intervenção poderá ser possível de realizar.

4.2 – Colocação das membranas contra o radão pelo lado exterior das paredes

Neste caso, os trabalhos a realizar consistirão basicamente no seguinte (Figura AVI.1):

- Remoção do terreno adjacente à parede enterrada;
- Limpeza do paramento exterior da parede;
- Aplicação de uma banda da membrana na espessura da parede;
- Eventual regularização desse paramento;
- Aplicação da membrana contra o radão no paramento exterior da parede;
- Colocação de uma camada de proteção da membrana;
- Reposição do terreno com uma camada drenante vertical e na base da parede.

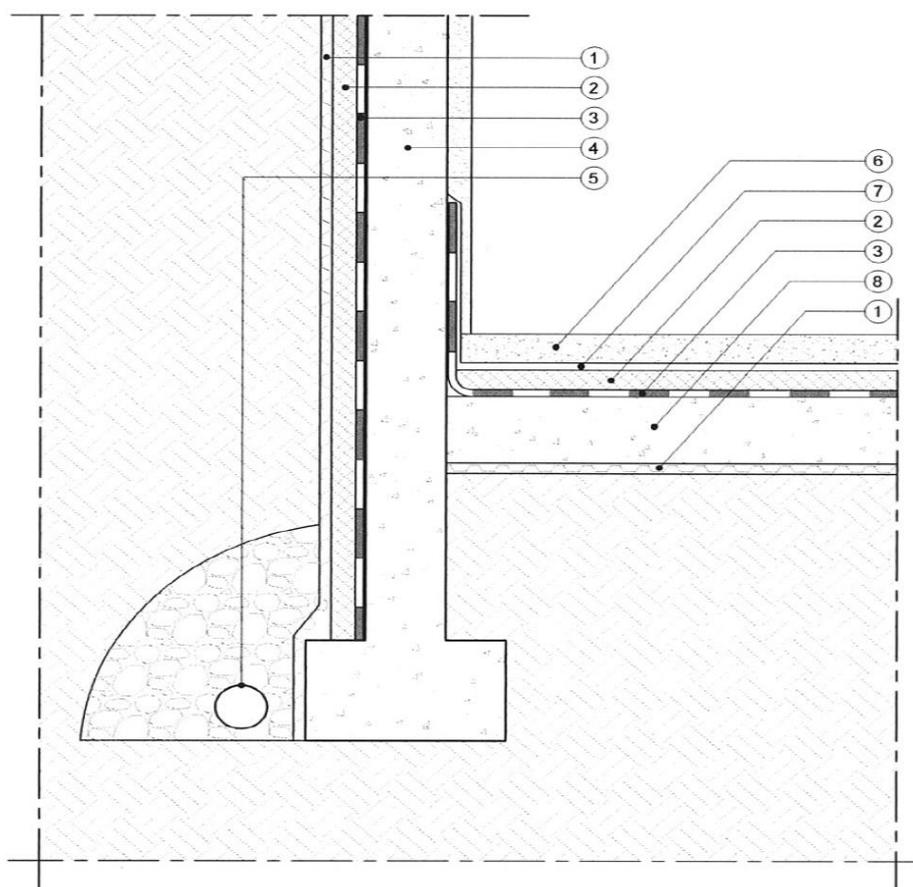
É claro que neste caso se admite poder remover o terreno adjacente à parede de modo a não colocar em perigo construções próximas.

A limpeza do paramento da parede servirá para remover partículas do terreno que tenham ficado aderentes a essa superfície; para tal podem utilizar-se diversas técnicas, como a escovagem ou a projeção de jato de água em pressão.

Antes da realização dos trabalhos seguintes, convinha verificar a viabilidade de introduzir na espessura da parede uma barreira formada por uma banda de membrana contra o radão. A técnica para a sua realização está descrita em 4.2 b) do Anexo V. Essa banda conviria também ficar ligada à que se tenha colocado sobre o pavimento, criando-se assim uma barreira contínua, tal como referido no Anexo V; tal

solução é apenas economicamente viável em casos particulares, tais como em certos tipos de paredes de alvenaria de pedra aparelhada ou de tijolo.

Se após a limpeza e a eventual colocação da banda atrás referidas, a superfície do paramento exterior da parede não se apresentar suficientemente regular para poder ser aplicada a membrana contra o radão, deve proceder-se à respetiva regularização. Tratando-se de uma parede de alvenaria de tijolo, de pedra ou de betão (as soluções mais usuais), a regularização poderá ser efetuada com um reboco tradicional de areia e cimento e cal.



- 1 – Camada drenante e de proteção
- 2 – Isolante térmico em XPS (eventual)
- 3 – Membrana contra o radão
- 4 – Parede regularizada
- 5 – Conduta drenante (eventual)
- 6 – Betonilha de assentamento do revestimento de piso
- 7 – Camada de dessolidarização
- 8 – Laje ou massame de betão

Figura AVI.1 – Membrana contra o radão colocada do lado exterior de paredes enterradas

A membrana poderá ser aplicada aderente à parede ou a ela fixa mecanicamente. No primeiro caso devem ter-se mais cuidados na preparação da superfície da parede, tendo em conta a respetiva técnica

de aderência consoante o tipo de membrana utilizada. As características das membranas e a respetiva técnica de aplicação estão indicadas a seguir, nos capítulos 5 e 6.

Após a colocação da membrana, deve-se protegê-la com uma camada adequada, como por exemplo painéis pitonados de plástico, chapas planas, onduladas ou nervuradas de fibrocimento, de plástico ou metálicas, ou solução equivalente. O objetivo essencial desta camada é evitar que a membrana venha a ser perfurada quando for repostado o terreno.

Se após a remoção do terreno se verificar não existir uma camada drenante junto à parede, pode aproveitar-se o trabalho realizado para agora a colocar, de forma a melhorar as condições de drenagem do terreno adjacente à parede. Sugere-se assim que essa drenagem seja realizada por um dreno vertical ao longo da altura da parede, e por um dreno horizontal na sua base, junto à fundação. Os painéis pitonados de plástico ou as chapas onduladas, ou nervuradas atrás referidas, podem constituir desde logo soluções de drenagem vertical; para tal devem dispor, ou ser aplicado em obra, um geotêxtil que funcione como camada filtrante, de modo a evitar a passagem dos finos do terreno para os vazios dessas camadas drenantes. A drenagem horizontal na base da parede pode ser constituída por uma tubagem de plástico perfurada ou de betão filtrante (em ambos os casos envolvidas também por um geotêxtil).

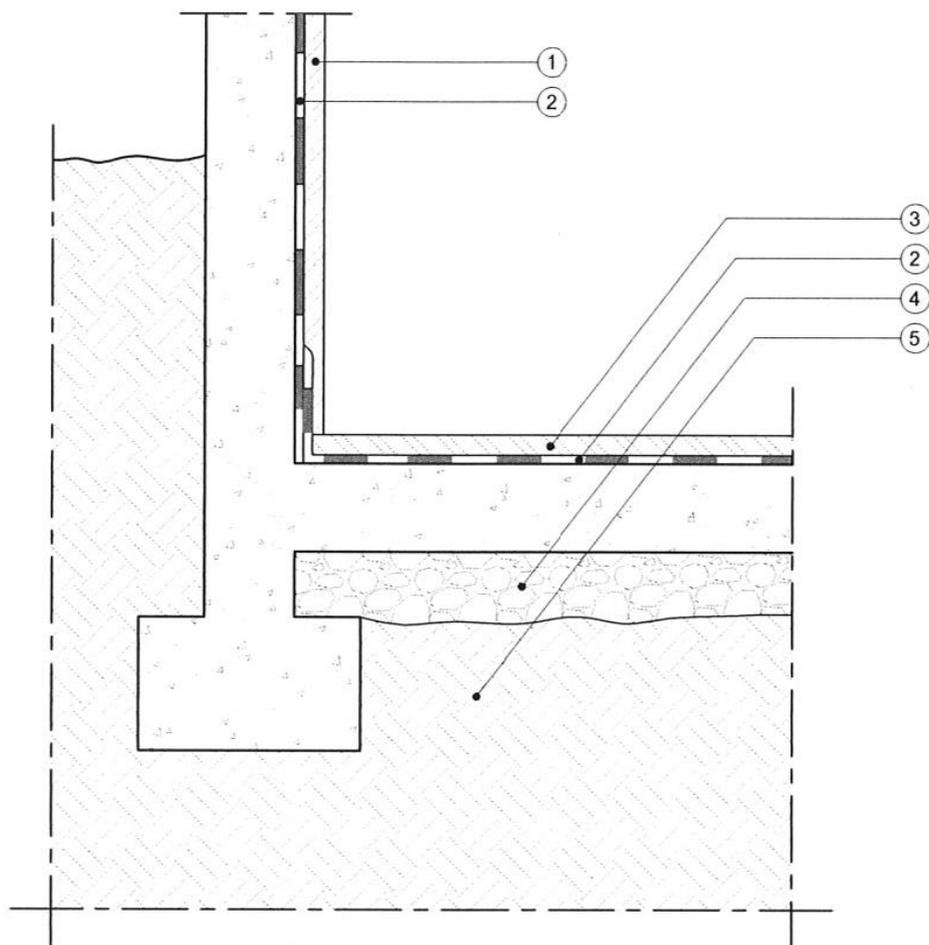
4.3 – Colocação das membranas contra o radão pelo lado interior das paredes

Embora se recomende também o uso de membranas, pode neste caso recorrer-se também ao uso de filmes de plástico.

A colocação da membrana pelo lado interior das paredes, embora com as implicações de redução da área útil dos espaços interiores e das limitações à sua utilização durante os trabalhos, permitirá estabelecer com facilidade a sua ligação à membrana colocada sobre o pavimento, sem necessidade, portanto, de introduzir uma banda na secção transversal da parede. Cria-se assim um encamisamento interior contínuo.

Pelo lado interior, poderá também ser aplicada a membrana de forma aderente à parede ou a ela fixa mecanicamente (vd. 6). No primeiro caso, deve igualmente ter-se mais cuidados na preparação da superfície da parede, tendo em conta a respetiva técnica de aderência consoante o tipo de membrana utilizada.

Em qualquer das situações a membrana ou os filmes devem ser protegidos do lado interior com um pano de parede. Esses panos podem ser de alvenaria de tijolo ou de pedra ou com placas de gesso cartonado, ou de madeira ou seus derivados (Figura AVI.2). De modo a reduzir o mínimo possível a área útil do pavimento adjacente, estes panos interiores devem ficar justapostos à membrana ou aos filmes de plástico. Os materiais e as respetivas técnicas de aplicação são as correntes para soluções deste tipo em edifícios.



- 1 – Proteção da membrana ou filme (alvenaria de tijolo, placas de gesso cartonado ou de madeira)
- 2 – Membrana contra o radão
- 3 – Proteção da membrana barreira contra o radão
- 4 – Enrocamento
- 5 – Terreno

Figura AVI.2 – Membrana contra o radão colocada do lado interior de paredes enterradas

5 – CARACTERÍSTICAS DAS MEMBRANAS

5.1 – Tipos de membranas

Aplicam-se integralmente as considerações feitas em 5.1 do Anexo V.

5.2 – Membranas betuminosas

Aplicam-se integralmente as considerações feitas em 5.2 do Anexo V.

5.3 – Membranas de PVC

Aplicam-se integralmente as considerações feitas em 5.3 do Anexo V.

5.4 – Membranas com base em borracha

Aplicam-se integralmente as considerações feitas em 5.4 do Anexo V.

5.5 – Filmes de plástico

Aplicam-se integralmente as considerações feitas em 5.5 do Anexo V.

6 – TÉCNICAS DE APLICAÇÃO

6.1 – Generalidades

Qualquer que seja o tipo de membrana, a sua aplicação em paredes pode ser feita em sistemas utilizando fundamentalmente uma das seguintes duas técnicas: sistemas aderentes e sistemas fixados mecanicamente. Caso a regularidade do paramento exterior ou interior da parede não seja o mais adequado para aderir a membrana, recomenda-se a utilização de sistema fixo mecanicamente (a menos que se regularize esse paramento).

Qualquer que seja a técnica utilizada, o suporte sobre o qual é aplicada a membrana deve estar seco, isento de poeiras e suficientemente regular, especialmente sem saliências significativas que possam perfurar a membrana, após a sua colocação.

6.2 – Membranas betuminosas

6.2.1 - Colocação dos rolos

As membranas devem ser aplicadas sobre suportes secos, limpos e isentos de asperezas e ressaltos.

Os rolos das membranas devem ser previamente desenrolados na horizontal sem ficarem sujeitos a tensões. Posteriormente as membranas são colocadas na parede, sobrepondo-se longitudinal e transversalmente, ao longo dos bordos respetivos, numa faixa correspondente à largura da junta de sobreposição. Essa largura não deve ser inferior a 0,10, m correspondendo este valor à faixa efetivamente colada entre as duas membranas. Adicionalmente, as peças dos rolos colocados na vertical devem ter comprimentos não superiores a 3 m e ter o seu maior desenvolvimento orientado nessa direção.

Em qualquer dos casos, as membranas devem ser colocadas de forma que fiquem desencontradas as juntas de sobreposição transversais.

6.2.2 - Ligação das membranas entre si e ao suporte

A ligação entre membranas faz-se ao longo das juntas de sobreposição referidas em 6.2.1, em toda a sua largura, e preferivelmente por soldadura por meio de chama, não sendo permitida a utilização de betumes, colas ou outros adesivos; podem ainda utilizar-se colas betuminosas apropriadas para tal.

A soldadura deve ser feita de forma que reflua pelo bordo das juntas de sobreposição longitudinais ou transversais uma pequena quantidade de betume fundido resultante do seu aquecimento.

Quando o sistema é formado por duas membranas, as juntas da camada superior do sistema devem ficar desencontradas em relação às juntas da camada inferior, ou então as duas camadas devem ser aplicadas de forma cruzada. Neste tipo de sistema, geralmente menos utilizado, a ligação entre as duas membranas é também realizada preferencialmente por soldadura por meio de chama, ou ainda utilizando colas betuminosas apropriadas.

O bordo da membrana colocada pelo lado superior das juntas deve ser biselado com a ponta de uma colher de pedreiro ou uma espátula metálica aquecida.

A ligação das membranas ao suporte, no caso dos sistemas aderentes, é também feita preferencialmente por soldadura por meio de chama, embora se possam igualmente utilizar colas betuminosas apropriadas.

Os sistemas fixados mecanicamente que se preconizam com as funções em questão, são geralmente distintos dos que normalmente são usados em coberturas em terraço; nestes as fixações costumam ser realizadas ao longo das juntas de sobreposição das membranas enquanto nos preconizados como barreiras ao radão se sugerem apenas fixações com parafusos adequados no topo da membrana, para a posicionar junto ao paramento da parede, a meia altura, e na base. Os parafusos de fixação devem apertar uma barra rígida metálica, que por sua vez comprima a membrana contra a parede. O espaçamento destes parafusos entre si deve ser da ordem dos 0,25 m, devendo ainda estar afastados de 50 mm do bordo da membrana. Essas peças (os parafusos e a barra metálica rígida) são posteriormente recobertas pela banda de membrana colocada superiormente, definindo uma junta de sobreposição transversal de pelo menos 0,15 m de largura.

6.3 – Membranas PVC

6.3.1 - Colocação dos rolos

Com este tipo de membrana a solução recomendada consiste no uso de um sistema, formado apenas por uma membrana, fixado mecanicamente ao suporte.

A membrana deve ser aplicada sobre suportes secos, limpos e isentos de asperezas e ressaltos.

Os rolos das membranas devem ser previamente desenrolados na horizontal sem ficarem sujeitos a tensões. Posteriormente, as membranas são colocadas na parede, sobrepondo-se longitudinal e transversalmente, ao longo dos bordos respetivos, numa faixa correspondente à largura da junta de sobreposição. Esta largura não deve ser inferior 50 mm e 100 mm, respetivamente nos casos das juntas de sobreposição longitudinais e transversais.

Adicionalmente, as peças dos rolos colocados na vertical devem ter comprimentos não superiores a 3 m e ter o seu maior desenvolvimento orientado nessa direção.

Em qualquer dos casos, as membranas devem ser colocadas de forma que as juntas de sobreposição transversais fiquem desencontradas.

6.3.2 - Ligação das membranas entre si e ao suporte

Em relação à ligação das membranas entre si, aplicam-se integralmente as disposições indicadas em 6.3.2 do Anexo V.

Relativamente à fixação mecânica da membrana ao suporte, aplicam-se também integralmente as disposições anteriores referidas em 6.3.1 a propósito das membranas betuminosas de camada única.

6.4 – Filmes de plástico

6.4.1 - Colocação dos rolos

Com este tipo de filmes a solução recomendada consiste no uso de um sistema independente do suporte formado, preferivelmente, por dois filmes aplicados um contra o outro, caso não se trate de soluções compósitas utilizando filmes de plástico.

Os filmes devem ser aplicados sobre suportes secos, limpos e isentos de asperezas e ressaltos.

Os rolos devem ser desenrolados, preferivelmente de cima para baixo, sem ficarem sujeitos a tensões e alinhados sobre a parede de modo a sobreporem-se longitudinalmente, ao longo dos bordos respetivos, numa extensão correspondente à largura da junta de sobreposição. Esta largura não deve ser inferior 100 mm.

6.4.2 - Ligação dos filmes entre si e ao suporte

A ligação entre os filmes faz-se ao longo das juntas de sobreposição referidas em 6.4.1. Essa ligação pode ser realizada utilizando produtos vedantes específicos, sendo a ligação garantida pela pressão adequada exercida na junta sobre esses produtos. Os dois filmes podem ainda ser solidarizados um ao outro através da colagem na zona da junta de uma banda autoadesiva, que permita também a vedação dessa junta.

A ligação dos filmes à parede pode ser realizada utilizando o mesmo tipo de produto das juntas de sobreposição, desde que seja também compatível com o material da parede. Para minimizar a possibilidade de destacamento dos filmes de plástico da parede, recomenda-se ainda que esses filmes envolvam um perfil de secção quadrada ou retangular, arredondado nas arestas, e que o conjunto seja posteriormente fixo mecanicamente à parede.

7 – TRABALHOS DE REPARAÇÃO

Como se compreende, os trabalhos de reparação a efetuar sobre o sistema formado por membranas ou filmes contra o radão, após terem sido aplicadas todas as camadas referidas na parede, envolvem a remoção das camadas que contra ela tenham sido aplicadas (o terreno e outras camadas, se a

membrana foi aplicada pelo exterior, e o pano interior da parede, se a barreira ao radão foi aplicada pelo interior). Por este facto, deve evitar-se o mais possível que tais trabalhos sejam necessários durante o tempo de vida útil do edifício, pelos custos que tal envolveria.

Quando se verifica a necessidade de haver reparações, geralmente as anomalias respetivas ocorrem durante a fase de construção, logo após a aplicação das membranas ou dos filmes, em geral resultantes da ação perfurante de elementos pontiagudos, ou por deficiência da ligação das membranas ou filmes entre si. Nestes casos deve ser aplicada uma banda sobre a zona afetada, utilizando o mesmo material da solução original e as mesmas técnicas de aplicação mencionadas em 6.4.2.

8 – CONTROLO DE QUALIDADE

Aplicam-se as mesmas considerações feitas em 8 do Anexo V.