



4. HUMIDADE EM PAREDES DE EDIFÍCIOS: CAUSAS, MANIFESTAÇÕES E SOLUÇÕES DE REPARAÇÃO

4.1 INTRODUÇÃO

A acção da humidade nos edifícios tem sido reconhecida como um factor de extrema importância, susceptível de conduzir à ocorrência de anomalias.

Muitos dos problemas existentes nos edifícios devem-se à presença de humidade que provoca deterioração dos materiais de construção, comprometendo o seu desempenho nomeadamente no que se refere à durabilidade, estanquidade e à degradação do aspecto, e proporciona condições insalubres para quem neles habita.

O problema da humidade nos edifícios tem suscitado desde sempre grande interesse. Contudo, a explicação científica para as diversas formas de manifestação a que está associada tem sido, muitas vezes, difícil dada a complexidade de fenómenos a que está associada.

4.2 FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA HUMIDADE

O conhecimento das formas de manifestação das anomalias devidas à humidade é um dado essencial para a elaboração de um diagnóstico correcto, que permita identificar claramente quais as respectivas causas e propor soluções de reparação adequadas.

A humidade surgida nos edifícios pode ser originada por várias causas. A cada tipo de causas corresponderão, em geral, conjuntos de sintomas que poderão ser detectados quer por simples observação visual, quer através de ensaios “in situ”. No entanto, vários desses sintomas não são específicos de um dado tipo de anomalias, podendo ocorrer noutros.

As formas de manifestação da humidade são as seguintes:

- humidade de construção
- humidade do terreno
- humidade de precipitação
- humidade de condensação
- humidade devida a fenómenos de higroscopicidade
- humidade devida a causas fortuitas

Esta situação ideal de ocorrência isolada de cada um dos tipos de anomalias devidas à humidade, não corresponde à generalidade dos casos em que aquelas manifestações patológicas se verificam.



Com efeito, é frequente que dois ou mais tipos de fenómenos apareçam associados, quer por existirem condições propícias para tal, quer porque, em certos casos uns podem ser consequência dos outros.

Estas associações de tipos de anomalias podem complicar substancialmente o processo de diagnóstico numa situação real.

4.3 SOLUÇÕES DE REPARAÇÃO DE ANOMALIAS PROVOCADAS PELA HUMIDADE

São várias as soluções de reparação das anomalias provocadas pela humidade, dependendo a sua escolha das anomalias existentes, do tipo de construção em que ocorrem e dos objectivos que se pretendam atingir.

As intervenções de correcção de situações patológicas provocadas pela humidade podem ser tipificadas nos seguintes grupos:

- eliminação das anomalias
- substituição dos elementos e materiais afectados
- ocultação das anomalias
- protecção contra os agentes agressivos
- eliminação das causas das anomalias
- reforço das características funcionais

4.3.1 Eliminação das anomalias

A eliminação das anomalias é um tipo de intervenção que permite resolver os problemas temporariamente, não consistindo de forma alguma uma solução definitiva. Enquanto persistirem as causas, as anomalias continuarão a ocorrer.

Exemplo: remoção de eflorescências ou bolores

4.3.2 Substituição de elementos ou materiais afectados

Quando os elementos ou materiais afectados se apresentem num estado cuja reparação seja difícil ou inviável, a sua substituição constitui uma solução possível. A resolução dos problemas através deste tipo de intervenções só é definitiva quando, na substituição se eliminarem as causas das anomalias ou se criarem protecções contra a acção dos agentes agressivos.

Exemplo: substituição total ou parcial de elementos de madeira que se encontrem apodrecidos.



4.3.4 Ocultação das anomalias

A ocultação das anomalias é, em muitos casos, a forma mais económica de resolução definitiva dos problemas, ainda que as anomalias e as respectivas causas continuem a persistir.

Exemplo: construção de panos de parede que ocultem as paredes afectadas

4.3.5 Protecção contra os agentes agressivos

A protecção contra os agentes agressivos é um tipo de metodologia que, sem eliminar os agentes causadores das anomalias, procura impedir a sua actuação directa sobre os elementos construtivos.

Exemplo: impermeabilização dos paramentos exteriores de paredes enterradas sujeitas à acção da humidade do terreno.

4.3.6 Eliminação das causas das anomalias

A eliminação das causas das anomalias constitui um tipo de intervenção mais eficaz, apesar de nem sempre ser possível a sua implementação.

Exemplo: drenagem do terreno em situações de anomalias em paredes de pisos térreos e enterrados provocadas por humidade do terreno.

4.3.7 Reforço das características funcionais

O reforço das características funcionais dos elementos de construção visa corrigir situações de inadequação desses elementos face às respectivas exigências funcionais. Estas correcções podem eliminar, de forma directa ou indirecta, diversas anomalias imputáveis à humidade.

Exemplo: reforço do isolamento térmico das envolventes exteriores dos edifícios

4.4. HUMIDADE DE CONSTRUÇÃO

A maioria dos materiais empregues na construção necessita de água para a sua confecção, como por exemplo argamassas e betões, ou para a sua colocação, como é o caso dos tijolos na execução de alvenarias. As quantidades de água introduzidas, deste modo, num edifício são geralmente significativas e muitas vezes menosprezadas.

Alguns destes materiais evaporam rapidamente, mas uma quantidade substancial demora tempo a fazê-lo.

O processo de secagem dos materiais porosos, como por exemplo os tijolos ou o betão, ocorre em três fases distintas:

- evaporação da água superficial dos materiais – ocorre rapidamente;
- evaporação da água existente nos poros de maiores dimensões – processo mais demorado;



- libertação da água existente nos poros de menores dimensões – processo extremamente lento que pode ocorrer ao longo de vários anos.

A humidade de construção pode dar origem à ocorrência de anomalias generalizadas ou localizadas devidas, quer à evaporação da água existente, quer ao facto de os materiais terem um teor de água superior ao normal.

No primeiro caso a água ao evaporar-se pode provocar expansões ou destaques de alguns materiais, ou em virtude de fazer diminuir a temperatura superficial dos materiais, dar origem à ocorrência de condensações. No segundo caso podem ocorrer, quer manchas de humidade quer condensações

De uma forma geral as anomalias devidas a este tipo de humidade cessam ao fim de um período mais ou menos curto, que depende do tipo de utilização do edifício e da região climática onde se situa.

4.5 REPARAÇÃO DE ANOMALIAS PROVOCADAS POR HUMIDADE DE CONSTRUÇÃO

A humidade de construção é um fenómeno limitado no tempo. Em países de clima ameno, as anomalias devidas à humidade de construção não são muito frequentes se tiverem sido tomadas as precauções mínimas que é corrente serem observadas na construção de qualquer edificação.

Nos casos em que ocorrem anomalias deste tipo, as soluções a adoptar consistem na criação de condições ambientes que favoreçam a secagem das paredes.

A capacidade de evaporação da água em excesso existente nos materiais porosos é função essencialmente do estado higrométrico do ar em contacto com a superfície livre desses materiais. Quanto menor for a humidade relativa do ar maiores serão as trocas de vapor de água entre o material e o ar, as quais prosseguirão até se atingir as condições de equilíbrio.

Assim, as medidas a tomar para facilitar a evaporação da água em excesso dos materiais deve ter sempre o objectivo de garantir que a humidade relativa do ar em contacto com a parede seja o mais baixa possível. Isso poderá ser conseguido através das seguintes medidas:

- reforço da ventilação dos ambientes
- aumento da temperatura do ar
- diminuição da humidade relativa do ar

4.5.1 Reforço da ventilação dos ambientes

O reforço da ventilação dos ambientes, constitui, numa forma geral, o método mais eficaz e mais económico de secagem das paredes. A simples abertura de janelas, por forma a criar correntes de



ar, permite que ar relativamente seco esteja permanentemente em contacto com as paredes humedecidas, favorecendo-se deste modo o processo de secagem.

Este procedimento só é exequível em condições climáticas favoráveis, nomeadamente no que se refere à humidade relativa/temperatura do ar exterior.

4.5.2 Aumento da temperatura do ar

O aumento da temperatura do ar provoca a diminuição da respectiva humidade relativa. Este facto pode ser aproveitado para, em conjunto com o reforço da ventilação, melhorar as condições de secagem das paredes húmidas.

Para esse fim podem ser utilizados aquecedores destinados a aumentarem a temperatura dos locais. Esses aquecedores não devem ser de gás butano dado que a combustão do gás provoca a libertação de quantidades apreciáveis de vapor de água que não devem ser negligenciadas.

O aquecimento dos locais só deve ser efectuado em conjugação com uma ventilação eficiente.

4.5.3 Diminuição da humidade relativa do ar

A diminuição da humidade relativa do ar pode ser forçada através da utilização de desumidificadores que retiram a água do ar. A utilização destes equipamentos só tem sentido se se mantiverem todas as janelas fechadas, sendo a eficácia da secagem aumentada se forem aplicados em conjunto com aquecedores.

As reparações dos elementos afectados pelas manifestações de humidade de construção só devem ser efectuadas após se ter procedido à secagem completa das paredes.

A análise da secagem da parede deve ser feita numa zona interior da parede e não apenas à superfície, pois em muitas circunstâncias esta pode estar seca, enquanto que no seu interior os teores de água poderão ainda ser bastante elevados, dando origem a que a água em excesso migre do interior da parede para a respectiva superfície, restabelecendo as condições propícias à ocorrência das anomalias.

4.6 HUMIDADE DO TERRENO – HUMIDADE ASCENSIONAL

As paredes dos pisos térreos e caves das edificações podem, em certos casos, apresentar problemas específicos provocados pela água do solo.

A humidade ascensional, em paredes de edifícios, manifesta-se quando:

- as paredes estão em contacto com água ou com solo húmido;
- os materiais constituintes apresentam elevada capilaridade;

- não existe um corte hídrico, por inexistência ou deficiente posicionamento de barreiras estanques

A ascensão capilar, que pode ocorrer até alturas por vezes significativas, progride até a um nível em que se verifique o equilíbrio entre a evaporação e a capilaridade.

Sempre que se reduzem as condições de evaporação com a colocação de um material impermeável, como por exemplo azulejo, a altura da ascensão capilar aumenta até se atingir um novo equilíbrio a uma cota mais elevada.

A altura de progressão da humidade ascensional depende das condições climáticas das condições ambientais (temperatura e humidade relativa), da insolação (paredes orientadas a Norte são mais afectadas que as orientadas a Sul), da espessura da parede, da porosidade dos materiais (quanto menor o diâmetro dos poros maior a altura teórica que a água pode atingir), e da presença de sais.

Na prática, as humidades ascensionais atingem cota mais elevada no inverno, quando a humidade relativa do ar está mais próxima da saturação.

Por outro lado os sais existentes no terreno e nos próprios materiais de construção, após terem sido dissolvidos pela água são transportados através da parede para níveis superiores. Quando a água atinge a superfície das paredes e se evapora os sais cristalizam e ficam aí depositados. Este fenómeno provoca a sucessiva colmatação dos poros e, conseqüentemente, uma redução da permeabilidade ao vapor de água dos materiais, o que dá origem a que o nível atingido pela ascensão capilar possa aumentar

Os sais depositados nas superfícies propiciam a ocorrência de fenómenos de higroscopicidade, os quais perduram mesmo após terem sido resolvidos os problemas devidos à ascensão de água nas paredes.

Em certas circunstâncias, a deposição dos sais à superfície podem originar a formação de *eflorescências* ou, quando a cristalização ocorre sob os revestimentos da parede, *criptoflorescências* (fig. 1)

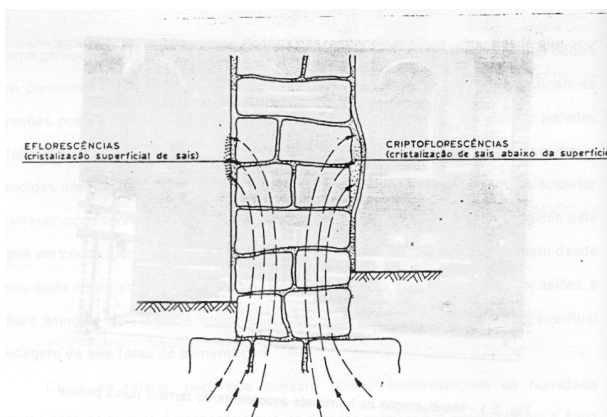


Figura 1 – Formação de eflorações e de criptoflorescências

Como se referiu, para que ocorram manifestações de humidade proveniente do terreno, é necessário que as paredes estejam em contacto com a água do solo, o que pode acontecer nas seguintes situações:

- fundações das paredes situadas abaixo do nível freático (fig. 2 a);
- fundações das paredes situadas acima do nível freático em zonas cujo terreno tenha elevada capilaridade, provocando a ascensão da água existente a uma cota inferior (fig. 2b);
- paredes implantadas em terrenos pouco permeáveis ou com pendentes viradas para as paredes, dando origem a que a águas das chuvas, ou provenientes de outras fontes, possam deslizar sobre o terreno e entrar em contacto com aqueles elementos (fig. 2c)

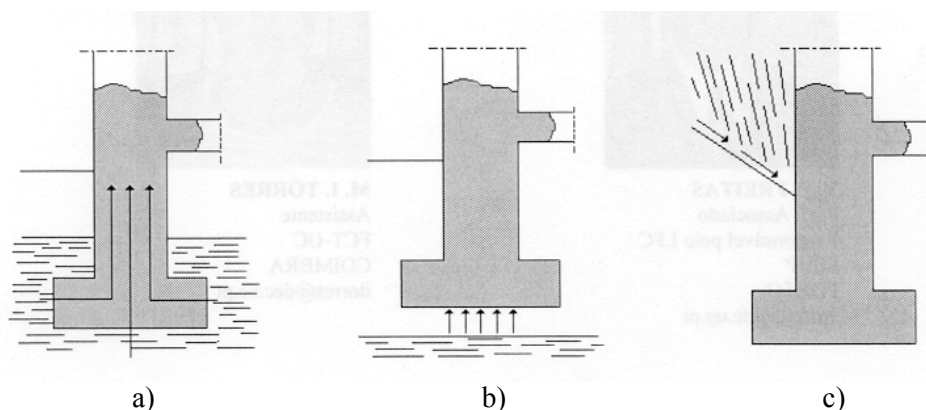


Figura 2 – Humidade ascensional

A alimentação de água pode ter, portanto, duas origens: as águas freáticas e/ou águas superficiais.

A cada um dos tipos de alimentação de água às paredes, correspondem diferentes anomalias e soluções de reparação específicas.

De uma maneira geral as anomalias devidas à presença de humidade do terreno caracterizam-se pelo aparecimento de manchas de humidade nas zonas das paredes junto ao solo, apresentando muitas vezes zonas erodidas na parte superior dessas manchas, acompanhadas em certos casos pela formação de eflorescências ou criptoflorescências e de manchas de bolor ou vegetação parasitária, especialmente em locais com pouca ventilação.

Nas situações em que a humidade é proveniente de águas freáticas os fenómenos apresentam-se sensivelmente inalterados ao longo do ano, verificando-se que a altura das manchas, correspondentes às zonas húmidas é aproximadamente constante em cada parede, sendo maior nas paredes interiores, comparativamente com as exteriores. As zonas erodidas das paredes, quando existam, apresentam pequenas amplitudes em altura.

Quando a humidade é proveniente de águas superficiais, os fenómenos apresentam variações durante o ano, sendo em geral mais gravosos no Inverno do que no Verão, e a altura das zonas



húmidas pode variar consideravelmente ao longo das paredes, em especial nas exteriores, sendo em geral menor nas paredes interiores, que nas exteriores. As zonas erodidas das paredes, apresentam uma grande amplitude em altura.

A secagem dos materiais depende da concentração de vapor na ambiência e na superfície dos materiais, podendo ser calculada pela expressão seguinte:

$$g = \beta (C_s' - C_a')$$

em que:

g – densidade de fluxo	[kg/(m ² .s)]
β - coeficiente de transferência superficial de humidade	[m/s]
C_s' - concentração de vapor de água à superfície	[kg/ m ³]
C_a' - concentração de vapor de água no ar	[kg/ m ³]

4.7 REPARAÇÃO DE ANOMALIAS PROVOCADAS PELA HUMIDADE DO TERRENO

De uma forma geral, as soluções correntes de reparação de anomalias provocadas pela humidade do terreno podem ser subdivididas em quatro grupos:

- soluções destinadas a impedir o acesso da água às paredes;
- soluções destinadas a impedir a ascensão da água nas paredes;
- soluções destinadas a retirar a água em excesso das paredes;
- soluções destinadas a ocultar as anomalias

A escolha da solução a adoptar em cada caso concreto deve ser apoiada por um diagnóstico exaustivo que permita determinar de forma inequívoca a proveniência da água existente no terreno – águas freáticas ou superficiais, na medida em que algumas das soluções de reparação são específicas apenas para um daqueles tipos de causas, sendo completamente ineficientes noutra.

4.7.1 SOLUÇÕES DESTINADAS A IMPEDIR O ACESSO DE ÁGUA ÀS PAREDES

- secagem da fonte de alimentação da água
- tratamento superficial do terreno
- rebaixamento do nível freático
- drenagem do terreno
- execução de valas periféricas



4.7.1.1 Secagem da fonte de alimentação da água

É um procedimento eficaz mas de aplicação restrita às situações em que seja possível identificar a fonte de alimentação da água e em que essa fonte não tenha um carácter generalizado.

Exemplos: reparação da rotura de colectores de águas ou de esgotos; escoamento das águas pluviais recolhidas pelas coberturas.

4.7.1.2 Tratamento superficial do terreno

Por vezes os terrenos adjacentes às paredes afectadas apresentam um declive que permite que as águas pluviais sejam conduzidas para essas paredes. Nestes casos o tratamento adequado do terreno permite evitar este fenómeno.

Exemplos: correcção do declive do terreno; criação de valas drenantes em zonas adequadas; impermeabilização superficial do terreno como forma de evitar a infiltração das águas da chuva.

4.7.1.3 Rebaixamento do nível freático

As soluções de rebaixamento do nível freático consistem na execução de poços ou drenos verticais dispostos de tal forma que o novo nível freático do terreno se situe abaixo da cota mínima das zonas afectadas.

São soluções de execução difícil e dispendiosas.

O rebaixamento do nível freático em determinado tipo de terrenos pode conduzir à ocorrência de assentamentos diferenciais das edificações, que podem originar importantes anomalias estruturais.

4.7.1.4 Drenagem do terreno

A drenagem do terreno destina-se a recolher as águas superficiais, em terrenos pouco permeáveis e a conduzi-las a um sistema de esgotos apropriado. Pretende-se evitar que as águas superficiais existentes no terreno atinjam as paredes ou as suas fundações.

A drenagem pode ser efectuada horizontalmente, através de uma rede de tubagens porosas convenientemente espaçadas que recolhem as águas e as conduzem a um sistema de esgotos, ou na vertical através da execução de valas periféricas.

4.7.1.5 Execução de valas periféricas

A execução de valas periféricas no exterior das paredes afectadas é uma solução bastante eficaz para impedir o acesso à parede de águas superficiais.

É uma técnica que deve ser preferencialmente utilizada quando o acesso da água às paredes for lateral, isto é, quando a profundidade atingida pelas águas superficiais no terreno seja inferior à cota mínima da fundação das paredes.

Basicamente existem dois tipos distintos de valas periféricas, que podem ser executadas junto às paredes afectadas, situação mais corrente, ou afastadas alguns metros.

- **valas periféricas sem enchimento (Fig. 3 c)**

Estas valas são, em geral, executadas junto às paredes afectadas. No fundo das valas, deverão possuir uma caleira de drenagem de águas recolhidas e superiormente devem ser cobertas mas ventiladas. As zonas superiores das valas devem possuir grelhas de ventilação, com 1 metro de comprimento por cada 4 metros de vala.

A sua grande vantagem é possibilitarem a secagem da parede. Na concepção destes sistemas deve satisfazer-se os seguintes princípios:

- remoção de revestimento exterior da parede, para facilitar a evaporação;
- colocação de grelhas nas valas para que seja assegurada a ventilação, de preferência protegida da entrada de águas pluviais
- definição cuidadosa do percurso das valas por forma a conseguir a ventilação pelo efeito de chaminé ou pela acção do vento.

A profundidade deve ser compatibilizada com as exigências de estabilidade estrutural. No que se refere ao interior pode conceber-se um sistema de ventilação constituído por manilhas de betão associadas a um dispositivo de ventilação mecânica higro-regulável.

- **valas periféricas com enchimento**

Este tipo de valas são executadas, quer junto às paredes afectadas (Fig. 3a), quer afastadas delas (Fig. 3b). Diferem das valas anteriores pelo facto de possuírem materiais de enchimento permeáveis no seu interior. Isso permite que as águas infiltradas sejam conduzidas e recolhidas por uma tubagem que deve existir no fundo das valas.

Os materiais de enchimento a utilizar devem ser de tipo incoerente e constituir quatro camadas distintas com granulometrias crescentes da superfície até ao fundo, onde deve ser colocado um tubo drenante com pendente adequada.

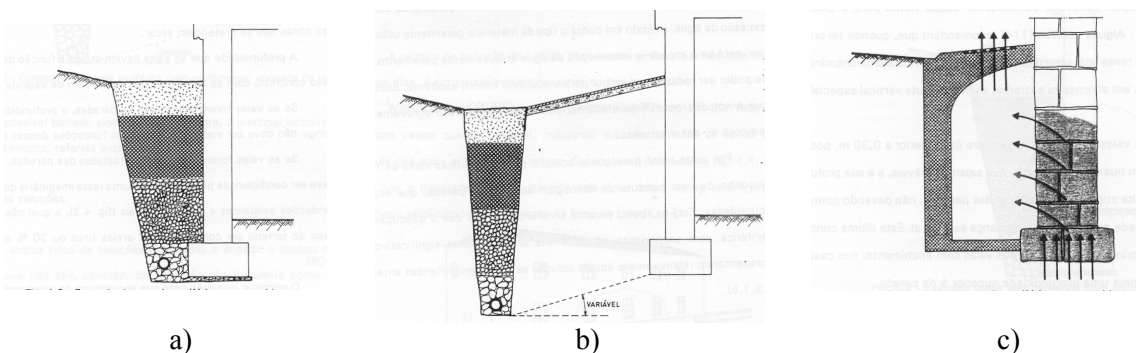


Figura 3 – Valas periféricas com e sem enchimento



Como se referiu as valas podem ser executadas junto às paredes ou afastadas delas. Se as valas forem adjacentes às paredes, a profundidade máxima que podem atingir não deve ser superior ao nível das fundações dessas paredes.

Se as valas forem executadas afastadas das paredes, a profundidade máxima deve ser condicionada pela pendente de uma recta imaginária que una o nível inferior das fundações existentes ao fundo da vala, a qual não deve exceder 15% no caso do terreno ser constituído por areias finas ou 30% se o terreno for argiloso.

O principal inconveniente que apresentam as valas periféricas com enchimento é o facto de não favorecerem a evaporação da água existente nas paredes contrariamente ao que se verifica nas que não têm enchimento.

Existem outras soluções destinadas a impedir o acesso de água às paredes, como por exemplo a impermeabilização das paredes enterradas.

Este procedimento, corrente e eficaz na construção de edificios novos, é inadequado nas situações de correcção de anomalias existentes.

Quando se impermeabiliza um paramento de uma parede com excesso de água, atendendo ao tipo de materiais empregues para esse fim, está-se a impedir a evaporação da água através desse paramento. Esse facto pode contribuir para o agravamento das anomalias.

Por outro lado, para que a solução possa ser eficaz é necessário que disponha de uma conduta de drenagem na base da parede, que esgote as águas acumuladas.

4.7.2. SOLUÇÕES DESTINADAS A IMPEDIR A ASCENSÃO DE ÁGUA NAS PAREDES

Recorre-se a este tipo de soluções, sobretudo, quando se está em presença de água cuja fonte de alimentação é o nível freático. Com estes métodos pretende-se estabelecer um corte hídrico na base das paredes, impedindo a ascensão da água.

Podem ser aplicadas três técnicas diferentes destinadas a impedir a ascensão de água proveniente do terreno nas paredes.

- redução da secção absorvente;
- introdução de barreiras estanques através do corte das paredes;
- introdução de produtos impermeabilizantes.



4.7.2.1 Redução da secção absorvente

A técnica da redução da secção absorvente, se bem que não seja corrente nos nossos dias, é muito interessante no seu fundamento.

Esta técnica consiste em reduzir a secção absorvente (fig. 4), substituindo parte do material por espaços vazios. A água absorvida poderá evaporar-se mais facilmente através das aberturas criadas. É uma técnica pouco usada por questões arquitectónicas e estruturais e apenas aplicável em certos edifícios.

Foi concebida no século XIX por Koch, para a resolução dos problemas de humidade ascendente na Igreja de S. Luís dos Franceses em Roma. Na base da parede afectada foi realizada uma série de arcos apoiados em colunas, nas quais os materiais de origem foram substituídos por pedra impermeável.

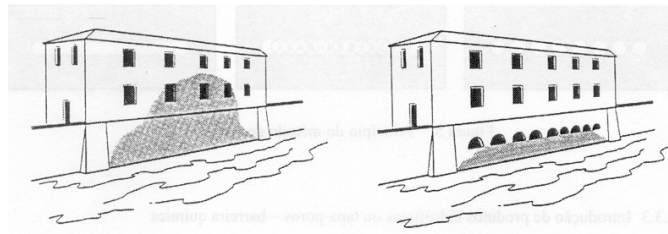


Figura 4 – Redução da secção absorvente

4.7.2.2 Introdução de barreiras estanques através do corte da parede

A ideia de interromper a migração da água através das alvenarias foi desde há longo tempo posta em prática através do corte e da inserção de materiais impermeáveis de diversos tipos.

Podem ser identificadas quatro técnicas distintas, cada uma permitindo a introdução de vários tipos de materiais impermeáveis sobre a forma de folhas ou placas:

- substituição dos elementos de alvenaria
- corte com serra manual ou mecânica
- corte por carotagens sucessivas (método de Massari)
- introdução forçada de materiais metálicos (processo de Shoner Turn)

O processo de **substituição de elementos de alvenaria** consiste na demolição de pequenos troços da parede, ao longo de uma faixa pré-definida (fig.5), nos quais são inseridos materiais impermeáveis.

Pressupõe a substituição de parte da alvenaria original, numa zona com cerca de 20 a 30 cm de altura, por material estanque, em toda a espessura da parede. Este método, embora eficaz quando correctamente utilizado, é de execução difícil e morosa.

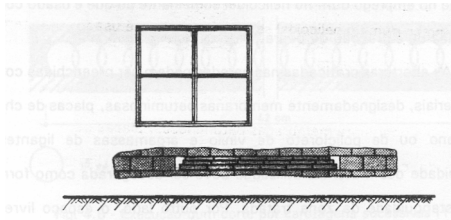


Figura 5 - Substituição de elementos da alvenaria

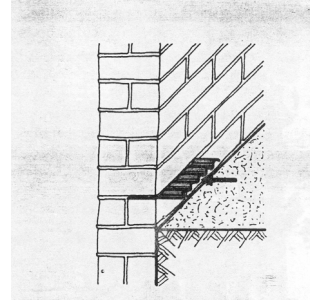


Figura 6 – Introdução de membranas

Utilizam-se membranas betuminosas ou placas de chumbo, como camadas impermeáveis (fig. 6). Um aspecto a ter em atenção é o preenchimento do espaço eventualmente livre após a aplicação do material impermeável de forma a garantir a não existência de assentamentos posteriores.

A partir do momento em que passaram a existir meios mecânicos adequados, **o corte das paredes com serras** e outros dispositivos veio simplificar os trabalhos de inserção de materiais estanques.

A abertura do roço em paredes com acesso pelas duas faces pode ser executada com um fio helicoidal, o que facilita o trabalho no caso de paredes de grande espessura (fig. 7). Este método tem como inconveniente as vibrações.



Figura 7 – Colocação de uma barreira estanque através de corte mecânico

O método de Schoner Turn consiste na **introdução de chapas de aço inoxidável onduladas**, nas paredes afectadas (fig. 9b). Esta introdução é executada com a ajuda de martelos pneumáticos. Como se pode imaginar, a aplicação desta tecnologia está restringida a alvenarias executadas com elementos regulares, com juntas contínuas e bem definidas. Tem como limitações as vibrações introduzidas pelo martelo, não sendo adequado para construções históricas.

Massari, em 1965, desenvolveu um método que consiste na execução de **carotagens sucessivas** em troços de aproximadamente 45 cm a 50 cm de comprimento. Estas furações com o diâmetro

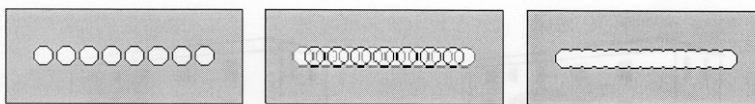


Figura 8 – Corte por carotagens sucessivas

nominal de 3,5 cm, são executadas alternadamente e em duas séries. Executa-se a primeira série de furos circulares tangentes uns aos outros (fig.8 e fig. 9 a). Seguidamente faz-se uma segunda série de furos com centro nos pontos de tangência dos anteriores. Após limpeza do espaço assim obtido, procede-se ao seu enchimento com argamassa de ligantes sintéticos, constituída por pó de mármore, areia fina e uma mistura de poliéster com carbonato de cálcio. Esta composição, desde que aplicada com temperaturas ambientes não inferiores a 20°C, assegura uma trabalhabilidade suficiente para o preenchimento de cortes até 1,60 m de profundidade, polimerização total ao fim de 3 a 4 horas, resistências mecânicas adequadas, ausência de retracção e estanquidade à água. Uma vez endurecida a argamassa avança-se para o troço seguinte.

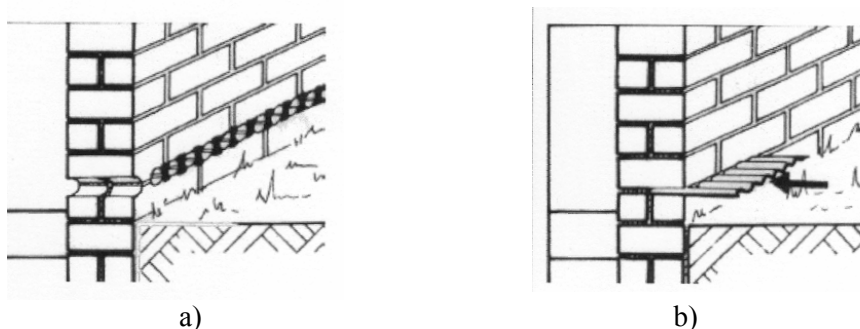


Figura 9 – a) Corte por carotagens sucessivas; b) Introdução de chapas onduladas

4.7.2.3 Introdução de produtos impermeabilizantes.

Qualquer das barreiras físicas apresentadas tem limitações de aplicação. Por outro lado, o aparecimento de novos materiais sintéticos conduziu à execução de barreiras químicas, conseguidas à custa da introdução de produtos que irão criar uma barreira estanque que impedirá a progressão da água.

Essas barreiras devem localizar-se o mais próximo possível do nível do terreno (cerca de 15 cm acima deste). Executam-se furos que deverão ter um afastamento de 10 cm a 20 cm e com uma profundidade total de 2/3 da espessura da parede. Se a parede for muito espessa e houver acesso a ambas as faces deve realizar-se dois furos, um em cada face, desencontrados, cada um deles com a profundidade de 1/3 da espessura da parede (fig. 10).

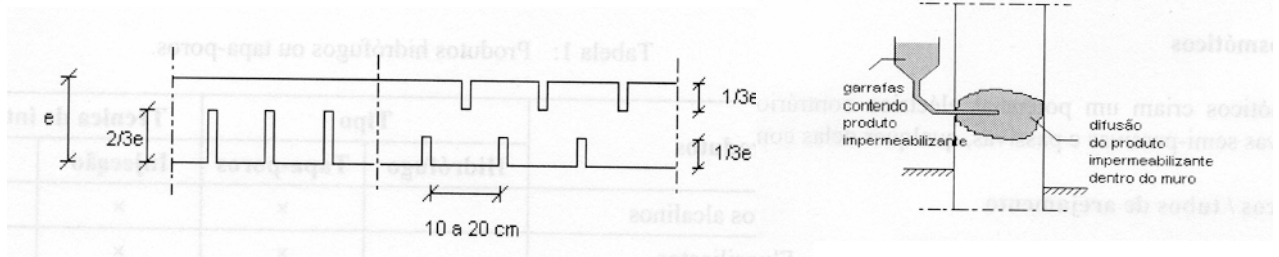


Figura 10 – Execução de furos para introdução de produtos impermeabilizantes

Seguindo estas regras, na maior parte das situações, obtém-se uma boa distribuição do produto de tratamento em toda a espessura da parede, o que é fundamental para o sucesso do tratamento.



a) Parede a tratar



b) Execução dos furos



c) Introdução dos reservatórios de produto



d) verificação dos níveis



e) Período de permanência no local para difusão do líquido



f) Parede após a aplicação do método

Figura 11 – Aplicação em obra de um método de injeção por gravidade/difusão

Após a execução dos furos procede-se à introdução dos produtos, por difusão ou por injeção:

- **Difusão** – os furos poderão ser horizontais ou inclinados no sentido da base da parede, nos quais são introduzidas garrafas contendo o produto.
- **Injeção** – o produto é introduzido na parede com um equipamento de pressão. A pressão utilizada é variável, em função da estrutura porosa dos materiais e não deve ultrapassar certos valores por forma a evitar a rotura dos materiais constituintes da parede. A injeção tem a vantagem de facilitar a expulsão da água contida nos poros e a penetração do produto.



Os produtos susceptíveis de serem utilizados nestes métodos são basicamente de dois tipos diferentes:

- produtos tapa-poros
- produtos hidrófugos

Produtos tapa-poros

Neste grupo incluem-se as resinas epoxídicas, os silicatos alcalinos e as acrilamidas.

- Resinas epoxídicas – a aplicação destes produtos é difícil especialmente em materiais de baixa porometria. O endurecimento destes produtos ocorre de forma rápida, o que pode originar entupimentos dos furos ou das tubagens.
- Silicatos alcalinos – constituem um grande conjunto de produtos que têm em comum a formação de um gel de sílica que funciona como obturador. De uma forma geral a capacidade de penetração destes produtos nas paredes é baixa.
- Acrilamidas – resultam da mistura de dois compostos orgânicos, com uma viscosidade semelhante à água, dando origem a um gel que colmata os poros dos materiais. Apesar de a formação do gel poder ser dificultada por alguns constituintes de certos tipos de alvenarias, são considerados os mais eficazes do grupo dos tapa-poros.

Produtos hidrófugos

O grupo dos produtos hidrófugo se constitui pelos siliconatos, silicones (siloxanos e resinas silicónicas) e os organo-metálicos.

- Siliconatos – são compostos solúveis em água que, por reacção com o dióxido de carbono, dão origem à formação de produtos hidrófugos. Esta reacção é difícil de ocorrer em paredes espessas, dada a ausência de dióxido de carbono, situação que pode ser ultrapassada introduzindo previamente compostos que possam libertar dióxido de carbono.
- Silicones – constituem um grande conjunto de produtos, dos quais os mais comuns são constituídos por compostos macromoleculares que se apresentam dissolvidos em solventes hidrófobos. Estes dois factos conduzem a dificuldades de aplicação, que tendem a ser superadas através do acréscimo de furos.
- Organo-metálicos – são produtos relativamente recentes, constituídos em geral por compostos orgânicos de titânio e de estearatos de alumínio, que têm a particularidade de polimerizarem em presença da água, após evaporação dos solventes.

Os produtos correntemente utilizados encontram-se listados na Tabela 1.



Existe um vasto conjunto de produtos aplicáveis. No entanto para que uma barreira química cumpra integralmente os objectivos para que foi concebida, deve ter-se em atenção o seguinte:

- a eficácia de qualquer produto depende de uma boa penetração do mesmo e da continuidade da barreira;

o tipo de parede condiciona o produto a aplicar e o modo de aplicação, pelo que devem ser realizados ensaios de forma a validar os resultados.

Tabela 1 – Principais produtos utilizados e respectivos métodos de aplicação

Produtos	Tipo de actuação		Técnica de introdução	
	Hidrófugo	Tapa-poros	Injecção	Difusão
Silicatos alcalinos	-	×	×	×
Fluosilicatos	-	×	×	×
Siliconatos	×	-	×	×
Siloxanos	×	-	×	-
Silicones polímeros	×	-	×	-
Acrilamidas	-	×	×	-
Organo-metálicos	×	-	×	-
Epóxidas e/ou poliuretanos	-	×	×	-
Emulsão betuminosa	-	×	×	-

4.7.3 SOLUÇÕES DESTINADAS A RETIRAR A ÁGUA EM EXCESSO DAS PAREDES

Nas soluções destinadas a retirar a água em excesso existente nas paredes, incluem-se tradicionalmente dois grupos distintos de procedimentos, apesar de qualquer um dos métodos ser considerado, em geral, pouco eficaz:

- electro-osmose
- drenos atmosféricos

4.7.3.1 Sistemas electro-osmóticos

A ascensão de água nas paredes dá origem a uma diferença de potencial eléctrico entre o terreno e essas paredes.

Os sistemas electro-osmóticos criam um potencial eléctrico contrário ao potencial capilar, pelo que a ascensão de água deve parar ou ser invertida.

O processo consiste, em termos gerais, na introdução na parede de uma série de sondas condutoras ligadas entre si, que funcionam como ânodo, e em conexão com uma tomada de terra, que actua como cátodo (fig. 12).

Utilizam-se quatro técnicas de electro-osmose distintas:

- electro-osmose passiva – o objectivo é apenas o de anular a diferença de potencial existente, razão pela qual se procede à ligação entre sondas da mesma natureza colocadas na parede e no terreno.
- electro-osmose semi-passivas - o processo é idêntico ao anterior, apenas se introduz uma tensão motivada pelo facto de os eléctrodos serem constituídos por materiais diferentes (cobre para o ânodo e magnésio para o cátodo), criando assim uma espécie de pilha eléctrica.
- Electro-osmose activa – este processo varia em relação aos anteriores em virtude de se interpor entre os eléctrodos da parede e do terreno uma fonte de corrente contínua da baixa tensão.
- electro-osmose forese – a fim de minimizar um dos inconvenientes da electro-osmose, que é o reaparecimento da humidade no caso de interrupção do funcionamento do sistema, associaram-se-lhe os efeitos do fenómeno da electro-forese. A electro-forese consiste na deposição nos poros dos materiais de partículas transportadas pela água provenientes de produtos injectados nas paredes, procurando dessa forma colmatar esses poros.

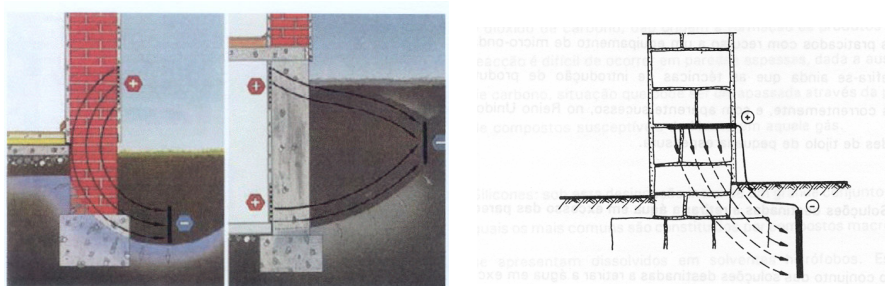


Figura 12 – Esquema geral do funcionamento do processo electro-osmótico

4.7.3.2 Drenos atmosféricos /tubos de arejamento

Knappen propõe a introdução de tubos com o objectivo de ventilar e cortar o potencial capilar.

Inicialmente os tubos utilizados, conhecidos sob a designação de drenos Knappen (fig. 13), eram de material cerâmico, tendo surgido no mercado outros de plástico, cuja ausência de porosidade era compensada pela existência de várias fundações. Por ser muito económico, este sistema foi muito utilizado, mas com pouco sucesso. Apesar disso é muito frequente encontrarem-se drenos Knappen instalados em muitos edifícios de algumas cidades europeias.

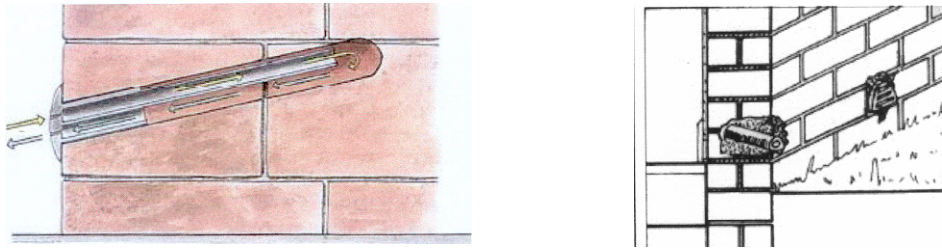


Figura 13 – Princípio de funcionamento e colocação dos drenos atmosféricos (ou de Knapen)

4.7.4 OCULTAÇÃO DAS ANOMALIAS

O seguinte conjunto de soluções engloba técnicas que, apesar de não terem interferência directa nas anomalias nem nas respectivas causas, permitem que essas anomalias deixem de ser visíveis:

- execução de uma nova parede pelo interior
- aplicação de revestimentos de parede especiais

Quando não há condições objectivas de eliminar as causas que estão na origem da humidade ascensional, pode optar-se pela ocultação das anomalias **executando uma parede no interior.**

A nova forra deve estar afastada de 5 cm a 10 cm da parede inicial, sem qualquer ponto de contacto (fig. 14). O contraventamento da parede deve ser executado de forma a que não permita a passagem de água da parede afectada para a nova. A sua base deve ser impermeabilizada com argamassas com polímeros.

O espaço de ar deve ser preferencialmente ventilado para o exterior. Essa ventilação deve ser conseguida através da localização de um conjunto de orifícios a um nível inferior e superior, permitindo a circulação do ar.

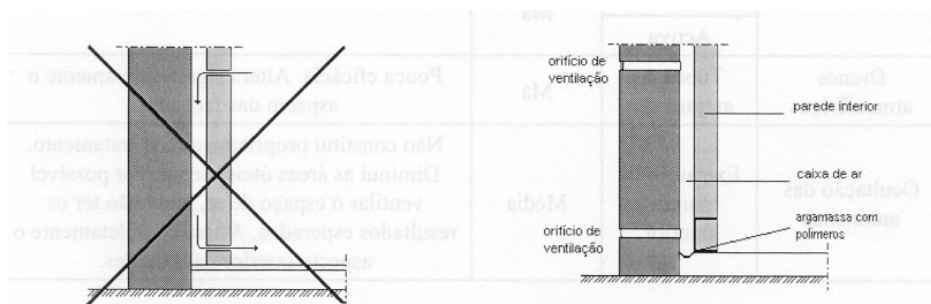


Figura 14 – Ocultação de anomalias com execução de nova parede pelo interior

Os inconvenientes desta técnica, além da redução do espaço útil, são a alteração do aspecto e a necessidade de recolocação das instalações técnicas e a dificuldade de remate em zonas de portas e janelas.



Para ocultação das anomalias podem também ser aplicados revestimentos de parede que sejam eles próprios impermeáveis ou estejam associados a outros materiais que garantam a estanquidade. Há vários materiais com estas características: argamassas de reboco aditivadas, materiais sintéticos especiais e pinturas estanques, e soluções de revestimentos descontínuos de diversos tipos.

4.8 ANÁLISE COMPARATIVA DOS DIVERSOS MÉTODOS DE TRATAMENTO DAS HUMIDADES ASCENSIONAIS

Na Tabela 2, mostra-se uma análise comparativa das diversas tecnologias de tratamento das humidades ascensionais em paredes.

Tabela 2 – Análise comparativa de diversas técnicas de tratamento de humidades ascensionais

Método		Eficácia	Limitações
• Ventilação da base das paredes	Canal exterior		Objecto de investigação
	Tubagem ventilada interior		
• Corte hídrico	Redução da secção absorvente	Média Má	Pouco usada por questões estruturais e arquitectónicas. Altera profundamente o aspecto das fachadas
	Barreiras estanques	Boa	Produz vibrações. Em certas alvenarias podem gerar-se problemas de estabilidade. Só aplicável em alvenarias resistentes com juntas regulares. Altera significativamente o aspecto das fachadas.
	Produtos hidrófugos ou Tapa poros	Muito boa	Os de maior eficácia são os hidrófugos injectáveis, desde que a barreira seja contínua em toda a espessura da parede. Altera ligeiramente o aspecto das fachadas.
• Electo-osmose	Passiva	Média Má	Eficácia muito reduzida
	Semi-passiva		
	Activa		
• Drenos atmosféricos	Tubos de arejamento	Má	Pouca eficácia. Altera significativamente o aspecto das fachadas.
• Ocultação das anomalias	Execução de parede interior	Média	Não constitui propriamente um tratamento. Diminui as áreas úteis. Se não for possível ventilar o espaço de ar, pode não ter os resultados esperados. Altera completamente o aspecto interior das paredes.



4.9. HUMIDADE DE PRECIPITAÇÃO

A chuva, por si só, não constitui uma acção especialmente gravosa para as paredes dos edifícios, desde que a componente vento não lhe esteja associada.

Mas na maior parte das situações a precipitação é acompanhada por uma dada intensidade do vento, o que origina que a trajectória da chuva passe a ter uma componente horizontal, tanto maior quanto maior a intensidade do vento. Neste caso, as paredes dos edifícios ficam sujeitas à acção de molhagem, o que pode constituir um importante factor de risco de humedecimento dos seus paramentos interiores.

A acção da chuva sobre uma parede pode assumir diversas componentes. A energia cinética das gotas de água pode provocar a penetração directa, sempre que haja incidência dessas gotas em fissuras ou juntas mal vedadas. A acção continuada da chuva sobre a parede dá origem à formação de uma cortina de água que, ao escorrer pela superfície, pode penetrar nela por gravidade.

As situações de ocorrência de anomalias devidas a este tipo de fenómenos são frequentes, em consequência de vários factores, nomeadamente deficiências de concepção, existência de fissuração, etc.

O humedecimento das paredes por acção da chuva pode também originar anomalias não directamente imputáveis àquelas acções. O aumento do teor de água dos materiais implica um aumento da respectiva condutibilidade térmica, podendo propiciar a ocorrência de condensações. Os fenómenos de secagem dos materiais húmidos provocam diminuição da temperatura superficial, o que poderá contribuir para um abaixamento da temperatura exterior das paredes e aumentar o risco de ocorrência de condensações.

As anomalias devidas à acção da chuva manifestam-se através do aparecimento de manchas de humidade de dimensões variáveis nos paramentos interiores das paredes exteriores, em correspondência com ocorrências de precipitação.

Quando se verifica este tipo de anomalia, o teor de água das paredes é, a um dado nível, crescente ao longo da espessura da parede, do interior para o exterior, sendo aproximadamente constante nos paramentos exteriores.

As paredes duplas com caixa de ar constituem uma solução eficaz para evitar a manifestação de anomalias devidas à penetração da água da chuva. No entanto verifica-se frequentemente a ocorrência deste tipo de problemas nestas paredes.

Esta situação deve-se, na maior parte dos casos, às seguintes situações anómalas:



4.10 REPARAÇÃO DE ANOMALIAS PROVOCADAS POR HUMIDADE DE CONSTRUÇÃO

As anomalias provocadas pela acção da água da chuva sobre as paredes, podem ser genericamente divididas em dois grupos, a que correspondem causas distintas:

- anomalias provocadas por deficiências de estanquidade das paredes
- anomalias devidas a infiltrações de água através de fissurações

4.10.1 SOLUÇÕES DESTINADAS A ELIMINAR AS DEFICIÊNCIAS DE ESTANQUIDADE DAS PAREDES

As deficiências de estanquidade das paredes são devidas, em geral, a problemas construtivos, motivados por erros de projecto ou de execução, ou à inadequação entre a sua constituição e o grau de exposição à chuva incidente.

A correcção deste tipo de anomalias passa por:

- aplicação de revestimentos de parede novos, após remoção dos existentes
- aplicação de um hidrófugo de superfície nos paramentos exteriores
- aplicação de um revestimento exterior curativo com base em ligantes sintéticos
- aplicação de um revestimento exterior de elementos descontínuos

4.10.1.1 Aplicação de revestimentos de paredes novos, após remoção dos existentes

Quando os revestimentos de paredes se encontrarem muito deteriorados, uma das hipóteses de reparação possíveis consiste na remoção dos revestimentos existentes e na aplicação de outros, do mesmo tipo ou de tipo diferente.

O revestimento a aplicar depende do tipo de alvenaria mas deverá ser impermeável à água da chuva e permeável ao vapor de água.

4.10.1.2 Aplicação dum hidrófugo de superfície nos paramentos exteriores

Os hidrófugos de superfície são produtos incolores, impermeáveis à água mas permeáveis ao vapor de água. Quando aplicados, revestem os poros dos materiais sem os colmatar nem formar uma película contínua à superfície, exercendo a sua acção através das propriedades de hidro-repelência que possuem.

A aplicação destes produtos é feita com pulverizador ou com rolo, sobre superfícies limpas e secas, nas quais não existam fissuras de espessura superior a 0,3 mm.

A durabilidade dos hidrófugos é reduzida pelo que se deve proceder a nova aplicação após o termo da sua vida útil.



A utilização de hidrófugos em paredes onde ocorram eflorescências deve ser ponderada, pois como estes produtos são permeáveis ao vapor de água, diminuem a capacidade de secagem das paredes, fazendo aumentar o risco de formação de critpoflorescências.

4.10.1.3 Aplicação de um revestimento curativo com base em ligantes sintéticos

A utilização destes produtos prevê para além de uma limpeza adequada dos suportes, a aplicação de um primário, de uma camada de base e de outra de acabamento. Estas aplicações são, em geral, efectuadas com rolo, escova ou trincha.

No caso de alvenarias apresentarem fissuras não estabilizadas, é usual armar estes revestimentos com uma rede de fibra de vidro, que é aplicada entre a primeira e a segunda demãos da camada de base.

4.10.1.4 Aplicação de um revestimento exterior de elementos descontínuos

A aplicação deste tipo de revestimentos, que altera radicalmente o aspecto das paredes sobre as quais é aplicada é, em geral, efectuada através do seguinte conjunto de operações:

- fixação à parede de uma estrutura de madeira ou metálica para suporte do revestimento;
- fixação à estrutura dos elementos descontínuos, por forma a que as juntas horizontais sejam de sobreposição e as verticais sejam desencontradas;
- ligações do sistema com peitoris, enquadramento de vãos e outros elementos salientes da construção, nas quais se deve proceder à execução de juntas estanques;
- protecção e recobrimento dos topos superiores, inferiores e laterais do sistema

4.10.2 SOLUÇÕES DESTINADAS A ELIMINAR AS INFILTRAÇÕES DE ÁGUA ATRAVÉS DE FISSURAÇÕES

As soluções a adoptar na reparação das infiltrações de água através de fissurações dependem da importância e do grau de estabilização das fissuras existentes nos paramentos, sendo correntemente distinguidas duas situações diferentes:

- paramentos com fissuras de pequena largura e que possam considerar-se estabilizadas;
- paramentos com fissuras de largura significativa ou que não se encontrem estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvida sobre o seu grau de estabilização.

Em qualquer dos casos a solução mais adequada consistirá na aplicação de um revestimento curativo com base em ligantes sintéticos, diferindo apenas no tratamento a dar às fissuras e no modo de aplicação do produto.



4.10.2.1 Reparação de paramentos com fissuras de pequena largura ($\leq 0,2$ mm) e estabilizadas

A reparação neste caso consistirá na aplicação de um revestimento curativo com base em ligantes sintéticos – produto com base em dispersões aquosas de resinas acrílicas, alto teor em ligantes e com elevada elasticidade.

A execução de um revestimento deste tipo compreende as seguintes operações:

- extracção por meios mecânicos da tinta eventualmente existente;
- escovagem geral do paramento para eliminar poeiras e material friável;
- aplicação do primário de ligantes sintéticos associado ao revestimento curativo;
- aplicação do revestimento curativo, com escova e em demãos cruzadas, até ser atingida uma espessura entre 0,5 mm e 0,7 mm.

Se o revestimento existente se apresentar desligado do suporte, o que ocorre frequentemente em revestimentos tradicionais antigos de ligantes hidráulicos, deve proceder-se previamente à sua remoção e substituição por outro do mesmo tipo nas zonas afectadas antes da aplicação do revestimento curativo e do respectivo primário.

4.10.2.2 Reparação de paramentos com fissuras de largura significativa ($> 0,2$ mm) ou não estabilizadas

Para reparar este tipo de fissuração, convirá aplicar em todo o paramento das paredes afectadas um revestimento curativo de ligantes sintéticos, armado com rede de fibra de vidro, após tratamento das fissuras existentes.

As operações a realizar neste caso serão:

- extracção por meios mecânicos da tinta eventualmente existente;
- escovagem geral do paramento para eliminar poeiras e material friável;
- alegramento das fissuras que apresentem largura significativa e seu posterior preenchimento com mastique compatível com o revestimento curativo; a aplicação do mastique deve ser precedida pelo tratamento dos bordos das fissuras alegradas com um primário adequado.
- aplicação do primário de ligantes sintéticos associado ao revestimento curativo;
- aplicação de uma primeira demão do revestimento;
- colocação da rede de fibra de vidro sobre a demão anterior, estando esta ainda fresca; a rede deve ter malha quadrada de abertura entre 4 e 5 mm e ser resistente aos álcalis;
- aplicação de novas demãos do revestimento até que a rede fique recoberta e o revestimento apresente uma espessura de pelo menos 0,7 mm



4.11 HUMIDADE DE CONDENSAÇÃO

O ar é constituído por uma mistura de gases e por vapores de água. A quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter, designada por limite de saturação, é variável em função da temperatura.

A relação entre a quantidade de vapor de água que o ar contém (humidade absoluta) e o limite de saturação correspondente à temperatura a que se encontra, é designada por humidade relativa, sendo expressa em percentagem.

O diagrama psicrométrico relaciona a temperatura do ar com as respectivas humidades relativa e absoluta. Da sua análise conclui-se que uma dada massa de ar poderá conter tanto mais vapor de água quanto maior for a temperatura e, inversamente, que a diminuição de temperatura implica um acréscimo de humidade relativa até à saturação, a partir da qual o vapor de água condensa.

No caso concreto do interior dos edifícios, esse arrefecimento pode ocorrer de uma forma localizada, junto aos paramentos das paredes exteriores.

No inverno, as faces interiores das paredes exteriores encontram-se, em geral, a uma temperatura inferior à do ar ambiente. Essa temperatura superficial θ_i pode ser calculada através da expressão:

$$\theta_i = t_i - 1/h_i \cdot K \cdot (t_i - t_e)$$

em que K é o coeficiente de transmissão térmica da parede (em $W/m^2 \cdot ^\circ C$) e t_i e t_e são as temperaturas do ar, respectivamente interior e exterior (em $^\circ C$) e $1/h_i$ é a resistência térmica superficial interior para a qual se utiliza em geral um valor tabelado de $0,12 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$.

A diminuição da temperatura superficial das paredes dá origem ao aumento de humidade relativa da camada de ar que contacta com elas podendo provocar condensações..

A análise da expressão permite compreender que, para uma dada gama de temperaturas do ar exterior e interior, quanto maior for o isolamento térmico da parede, mais elevada será a sua temperatura superficial interior e, conseqüentemente, menor será o risco de ocorrência de condensações.

Outros factores que podem minorar este risco são:

- o acréscimo da temperatura do ar interior;
- a melhoria da ventilação dos espaços

As condensações superficiais verificar-se-ão inicialmente em zonas em que o isolamento térmico for menor, correspondentes, no caso de paredes heterogéneas a elementos estruturais, parapeitos, etc. Numa fase posterior poder-se-ão estender a zonas de superfície corrente, se o isolamento destas não for suficiente ou se a ventilação dos locais for fraca.



De um modo geral, a ocorrência de condensações superficiais em paredes depende dos seguintes factores:

- condições de ocupação, das quais depende a produção de vapor nas edificações;
- temperatura ambiente interior;
- ventilação dos locais;
- isolamento térmico das paredes

Condensações internas

As condensações no interior das paredes ocorrem sempre que, num dado ponto, a pressão parcial do vapor de água que atravessa a parede por difusão iguala a pressão de saturação correspondente à temperatura nesse ponto.

Considerando constantes as condições termo-higrométricas dos ambientes exterior e interior, os factores que influenciam a ocorrência destas condensações são de dois tipos:

- as características de isolamento térmico dos vários materiais que constituem as paredes que, por condicionarem as respectivas temperaturas no interior, vão determinar os valores da pressão de saturação em cada ponto;
- as características de permeabilidade ao vapor de água daqueles materiais, que vão determinar as variações de pressão parcial ao longo da parede.

A localização das diferentes camadas numa parede heterogénea influencia decisivamente o risco de ocorrência de condensações internas.

4.12 REPARAÇÃO DE ANOMALIAS PROVOCADAS POR HUMIDADE DE CONDENSAÇÃO

4.12.1 SOLUÇÕES DESTINADAS A EVITAR A OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

Em termos gerais existem três tipos de soluções destinadas a evitar a ocorrência de condensações superficiais em paredes:

- reforço do isolamento térmico das paredes;
- reforço da ventilação dos espaços;
- reforço da temperatura ambiente



4.12.1.1 Reforço do isolamento térmico das paredes

O reforço do isolamento térmico das paredes tem como objectivo principal, aumentar a temperatura superficial interior das paredes, fazendo diminuir desta forma o risco de ocorrência de condensações superficiais.

As soluções de reforço de isolamento térmico das paredes são basicamente de três tipos:

- reforço do isolamento térmico aplicado pelo exterior;
- reforço do isolamento térmico aplicado pelo interior;
- reforço do isolamento térmico na caixa de ar (em paredes duplas)

4.12.1.2 Reforço do isolamento térmico aplicado pelo exterior

Este processo, que consiste na aplicação exterior dos materiais de isolamento térmico, inclui diversos tipos de soluções.

- Revestimentos de elementos descontínuos com isolante na caixa de ar
- Revestimento delgado exterior sobre isolante

4.12.1.3 Reforço do isolamento térmico aplicado pelo interior

Neste processo os materiais de isolamento são aplicados pelo lado interior das paredes, apresentando como principal vantagem o facto de permitir simultaneamente melhorar o isolamento térmico e refazer o paramento interior das zonas afectadas.

No entanto apresenta os seguintes inconvenientes:

- redução da área habitável dos locais;
- dificuldade de realização das ligações com janelas e portas, dado que a espessura da parede aumenta;
- manutenção de algumas pontes térmicas;
- dificuldade de execução das obras de reparação, uma vez que estas ocorrem no interior das edificações.

Duas soluções, de utilização corrente são as seguintes:

Contra-fachada de placas de gesso cartonado com isolante na caixa de ar:

- colagem de placas de poliestireno contra o paramento interior da parede;
- fixação à parede de uma estrutura de madeira, constituída por régua vertical convenientemente espaçadas entre si e por duas travessas – uma inferior e outra superior – para suporte das placas de paramento



- fixação, por aparafusamento à estrutura de madeira de placas de paramento de gesso cartonado com 12,5 mm de espessura mínima e altura de pé-direito, posicionadas de modo a que as respectivas juntas verticais coincidam com peças da estrutura. Entre estas placas e o isolamento pode ser definida uma caixa de ar com 20 mm de espessura.
- refechamento da juntas entre placas, segundo a técnica apropriada a este tipo de material (colagem de bandas cobre-juntas e aplicação subsequente duma massa especial de gesso) e, eventualmente pintura do revestimento do paramento interior.

Contra-fachada de alvenaria com isolante na caixa de ar:

- colagem contra o paramento interior da parede;
- execução de um pano de alvenaria de tijolo furado de formato $30 \times 20 \times 7$ cm, separado das placas de isolamento previamente colocado por uma caixa de ar de 0,03 m. A base dessa caixa de ar deve ser tratada de modo a definir uma caleira para recolhas de eventuais águas de infiltração e condensação, com uma pendente mínima de 2% e provida de um sistema de drenagem para o exterior.
- aplicação nos paramentos interiores de um revestimento tradicional de ligantes hidráulicos e de uma pintura (tinta de água) ou em alternativa, aplicação de um revestimento não tradicional compatível com a natureza do suporte e adequado às condições de uso previstas.

4.12.1.4 Reforço do isolamento térmico na caixa de ar (em paredes duplas)

Este processo consiste na injeção de produtos a granel ou de espumas isolantes expandidas “in situ” na caixa de ar das paredes.

Como isolantes a granel podem ser empregues, entre outros, fibras de lã mineral e os granulados de poliestireno expandido e de argila ou perlite expandidas. As espumas podem ser de poliuretano e de ureia-formaldeído.

4.12.1.5 Reforço da ventilação dos espaços

O reforço da ventilação dos espaços tem como objectivo essencial, diminuir a humidade relativa do ar, minorando dessa forma o risco de ocorrência de condensações superficiais.

Apesar de se reconhecer que os utentes podem ter um papel importante na ventilação dos espaços, esta deverá ser assegurada sem a intervenção dos factor humano.

Há várias medidas que podem melhorar a ventilação das edificações, como por exemplo as seguintes:

- correcção de eventuais deficiências existentes no sistema de extracção de ar das edificações;



- instalação de dispositivos mecânicos de extracção de ar, com funcionamento automático;
- instalação de grelhas de ventilação especiais na zona superior das paredes exteriores de cada compartimento.

4.12.1.5 Reforço da temperatura ambiente

Através do reforço da temperatura ambiente procura-se em geral, diminuir a humidade relativa do ar ambiente e, simultaneamente, aumentar a temperatura superficial das paredes.

4.12.2 SOLUÇÕES DESTINADAS A EVITAR A OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES INTERNAS

Podem distinguir-se duas situações diversas de ocorrência de condensações internas, consoante o isolamento térmico das paredes seja ou não suficiente para evitar eventuais manifestações de condensações superficiais.

Quando o isolamento térmico é insuficiente, a solução de reforço desse isolamento deve, simultaneamente ser concebida por forma a diminuir o risco de ocorrência de das condensações internas.

No caso de o isolamento térmico ser suficiente para evitar condensações superficiais, a solução de reparação poderá passar pela colocação de barreiras pára-vapor ou de outros materiais impermeáveis ao vapor de água pelo lado interior das paredes ou, quando tal seja possível, pela alteração da composição da parede.

As soluções a adoptar deverão ser baseadas numa análise quantitativa das características das paredes em causa, por critérios apropriados, por exemplo os que se baseiam na normalização francesa.

Considerando que as paredes são constituída pelos três tipos de elementos seguintes:

- pano exterior, P_e
- isolamento térmico, incluindo eventuais espaços de ar, I
- pano interior, incluindo eventual barreira pára-vapor, P_i

as regras referidas, expressas em função da resistência térmica R_T ou de resistência à difusão do vapor R_D dos diversos elementos, consideram três situações distintas de condensações internas:

- condensações na face interior do isolamento térmico;
- condensações no interior do isolamento térmico;
- condensações no pano exterior



4.12.2.1 Regra para evitar as condensações na face interior do isolamento térmico

$$R_{TI} > 3 R_{TPi}$$

4.12.2.2 Regra para evitar as condensações no interior do isolamento térmico em locais de forte higrometria

Consideram-se locais de forte higrometria aqueles em que a relação entre a produção horária de vapor de água por unidade de volume no interior do local (W) e o número horário de renovações do ar (n) está compreendida entre 5g/m^3 e $7,5\text{g/m}^3$.

Não há formulação para os locais de fraca e média higrometria. Os locais de forte higrometria devem ser estudados caso a caso.

$$1/R_{DPi} < 1,25 \times 10^{-10} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$$

4.12.2.3 Regra para evitar as condensações no pano exterior se $R_{TI} + R_{TPi} > 3 R_{TPe}$

- limitar o fluxo de vapor, se $R_{TPe} < 0,086 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$

$$1/R_{Dpi} + R_{DI} < 1,25 \times 10^{-10} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$$

- em zonas muito frias

$$1/R_{Dpi} + R_{DI} > 3,10 \times 10^{-11} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$$

Prever disposições construtivas que permitam a evacuação da água condensada.

No que se refere a paredes com isolamento térmico aplicado pelo exterior, existem também algumas regras de origem francesa para os seguintes casos:

- sistemas de isolamento térmico por aplicação de revestimentos delgados sobre isolante: a relação entre a permeância do revestimento delgado e a permeabilidade do isolamento térmico deve ser inferior a 50 m^{-1} .
- sistemas de isolamento térmico por aplicação de revestimentos por elementos descontínuos sobre isolante: deve ser prevista a execução de uma caixa de ar ventilada entre o revestimento e o isolante.

Por vezes não é possível efectuar os cálculos referidos, por se desconhecer quer a composição das paredes, quer a quantificação das características relevantes dos materiais que as constituem..



De um modo geral considera-se que o risco de ocorrência de condensações internas em paredes heterogêneas sofrerá um forte decréscimo se elas fores constituídas por materiais pouco isolantes e pouco permeáveis ao vapor na sua zona interior e por materiais bons isolantes e muito pouco permeáveis ao vapor no lado exterior.

O reforço da ventilação dos locais contribui para a diminuição do risco de ocorrência de condensações internas, uma vez que dará origem a um decréscimo da humidade absoluta com consequente diminuição da pressão parcial do vapor de água existente no ar.

4.13 HUMIDADE DEVIDA A FENÓMENOS DE HIGROSCOPICIDADE

Muitos dos materiais de construção correntes apresentam na sua constituição sais solúveis em água, o mesmo acontecendo nos solos, sobretudo em locais ricos de matérias orgânicas.

A existência destes sais no interior das paredes não é gravosa, desde que não se verifiquem condições de humedificação dessas paredes.

Sob a acção da água, os sais dissolvidos percorrem as paredes até à superfície onde podem cristalizar sob a forma de eflorescências ou de criptoflorescências.

Alguns desses sais são higroscópicos, isto é têm a propriedade de absorverem a humidade do ar, dissolvendo-se quando essa humidade está acima dos 65-75%. Quando a humidade baixa daqueles valores, voltam a cristalizar com um considerável aumento de volume.

Assim, os sais solúveis provocam não só o humedecimento das paredes, como também dão origem a fenómenos de degradação em função do aumento de volume resultante da sua cristalização.

Os sais solúveis que frequentemente estão associados a manifestações patológicas são:

- nitratos – sais de origem orgânica e por isso mais frequentes em zonas rurais. O mais corrente é o nitrato de cálcio, que cristaliza a 25°C e a uma humidade relativa de 50 %.
- sulfatos – sais bastante higroscópicos e solúveis. Cristalizam com grande aumento de volume – o sulfato de cálcio aumenta em 40% o seu volume.
- cloretos – provenientes essencialmente dos materiais de construção, da água e de ambientes marinhos. Absorvem grandes quantidades de água quando combinados com outros sais, particularmente com os sulfatos.
- carbonatos – estão também presentes nos materiais de construção, transformando-se em bicarbonatos sob a acção da água e do dióxido de carbono.

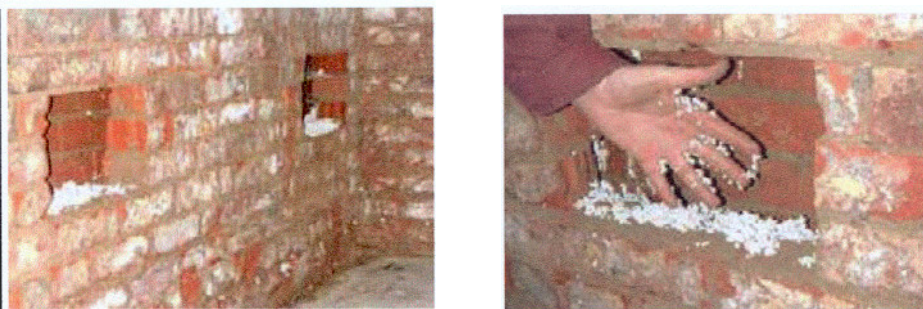


Figura 15 – Manifestação de sais numa parede de alvenaria

Na Tabela 3, enumeram-se os sais mais frequentemente encontrados nos diversos materiais de construção.

Tabela 3 – Sais correntemente encontrados nos materiais de construção

Sal Eflorescente	F. Química	Possível Fonte
Sulfato de Sódio	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	Reacção reboco - tijolo
Sulfato de Potássio	K_2SO_4	Tijolo
Sulfato de Cálcio	$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	Tijolo
Carbonato de Cálcio	CaCO_3	Argamassa ou betão
Carbonato de Sódio	Na_2CO_3	Argamassa
Carbonato de Potássio	K_2CO_3	Argamassa
Cloreto de Potássio	KCl	Ácidos de limpeza
Cloreto de Sódio	NaCl	Água do mar
Óxido de Magnésio	Mn_3O_4	Tijolo



BIBLIOGRAFIA

- [1] Henriques, Fernando, "*Humidade em paredes*". Lisboa, LNEC, 1994.
- [2] FREITAS, Vasco P, et al – “ Humidade ascensional em construções históricas”. Porto, FEUP, 2002
- [3] FREITAS, Vasco P, et al –“Patologias associadas a condensações”. Patorreb, Porto, FEUP, 2003
- [4] Schmitt, Heinrich, *Tratado de Construcción*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2002