

# Regulação da qualidade do ar interior através da utilização de argamassas ecoeficientes

**Maria Idália Gomes, PhD**

[ISEL, IPL]

[idaliegomes@dec.isel.pt](mailto:idaliegomes@dec.isel.pt)

**Paulina Faria, PhD**

[FCT, UNL]

[paulina.faria@fct.unl.pt](mailto:paulina.faria@fct.unl.pt)

**João Gomes, PhD**

[ISEL, IPL]

[jgomes@deq.isel.ipl.pt](mailto:jgomes@deq.isel.ipl.pt)

## RESUMO

*Em meados do século XX identificou-se o Síndrome do Edifício Doente associado a uma série de queixas e desconforto ambiental sentido por parte dos ocupantes dos edifícios. Embora as técnicas construtivas nos edifícios tenham evoluído, melhorando o conforto genérico dos seus ocupantes, teve sentido contrário o nível de qualidade do ar interior devido às características da construção, materiais utilizados, tipo de ocupação e sistemas de aquecimento, arrefecimento utilizados, com redução da ventilação. A qualidade do ar interior tem sido referida como um dos principais riscos ambientais para a saúde pública. Está comprovado que, em muitas circunstâncias, o nível de poluição no interior dos edifícios pode atingir valores 2 a 5 vezes superiores ao do ar exterior.*

*Compreender a natureza dos poluentes do ar interior e desenvolver materiais com a capacidade de captar estes mesmos poluentes, reduzindo a sua concentração no ar, ao mesmo tempo que contribuem para regular as condições de temperatura e humidade relativa, é de extrema importância. Assim, com o objetivo de melhorar o desenvolvimento de estratégias na construção, reduzir a exposição humana a agentes poluentes agressivos com risco para a saúde e monitorizar a melhoria das condições interiores de conforto em Portugal, propõe-se com este artigo divulgar o início dos trabalhos do projeto INDEED sobre o efeito de argamassas de reboco interior ecoeficientes. Está comprovado que as argamassas com base em terra argilosa aplicadas em rebocos têm um efeito bastante mais ativo no equilíbrio termohigrométrico que outros revestimentos. No âmbito do projeto vão desenvolver-se argamassas com base também em terra argilosa cujo contributo para a captação de poluentes presentes no ar interior – nomeadamente partículas de aerossóis ( $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), monóxido de carbono (CO), ozono ( $O_3$ ) e compostos orgânicos voláteis (COVs), tais como formaldeído e os BTEX - seja superior ao de argamassas de reboco correntes utilizadas na construção.*

## INTRODUÇÃO

O uso atual dos recursos do planeta levou a um estado de desenvolvimento nas sociedades ocidentais contemporâneas que tende a ser insustentável. A degradação contínua que tem vindo a haver nas condições ambientais indicia que, se nada for feito, o Homem virá a enfrentar dificuldades em adaptar-se ao seu *habitat* global. A evidência de problemas ambientais causados pela atividade humana inclui o aumento da instabilidade climática, desequilíbrio de vários ecossistemas, extinção de espécies, esgotamento dos recursos minerais e redução da fertilidade do solo. Há relatórios regulares sobre a espessura da camada de gelo do Polo Norte que está continuamente a derreter. Peter Wadhams - um dos principais especialistas em gelo do mundo - prevê que, dentro de quatro anos, o gelo marinho do Ártico sofrerá um colapso completo durante os meses de verão. Ele considera que isso representa um "desastre global".

As pressões ambientais provavelmente irão intensificar-se nos próximos anos, já que os problemas de poluição e extinção de recursos são ainda mais agravados pelo crescimento da população (a ONU prevê que 85% da população mundial, até 2027, viverá em áreas urbana) e ainda pelo facto da grande maioria das atividades produtivas estarem cada vez mais concentradas em áreas urbanas.

Em 1994, o Conselho Internacional de Construção (CIB) definiu a construção sustentável como "Criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável com base na eficiência de recursos e princípios ecológicos" (Kibert, 2005). Em relação aos edifícios, a Agenda 21 para Construção Sustentável (UN, 1992) identificou que o maior desafio para o setor da construção é melhorar os parâmetros ambientais e repensar o processo de construção na perspetiva do desenvolvimento sustentável. A construção sustentável (ou ecoeficiente) é a resposta da indústria da construção à necessidade de alcançar a sustentabilidade global. É ainda esperado que os espaços construídos sejam o mais saudáveis e agradáveis quanto possível, contribuindo de forma positiva para a qualidade do ar interior.

Devido a problemas generalizados de energia, ambientais, ecológicos e económicos, a construção com terra pode ser uma alternativa. A nível mundial as técnicas construtivas com terra estão a sofrer um revivalismo e Portugal não é exceção. Em muitas regiões do mundo, a construção com terra é utilizada em larga escala por dois grandes motivos: usa materiais locais, com baixa energia incorporada, e pode ser uma construção económica. O uso da terra como material de construção oferece ainda muitas vantagens em termos de sustentabilidade: é natural, provavelmente não tóxico, ecológico, reciclável e de baixo custo. É também não combustível e pode contribuir para aumentar o desempenho térmico e acústico. No entanto, nos países mais desfavorecidos, a construção com terra hoje em dia ainda está associada a uma construção pobre - utilizada quando não existe possibilidade de recorrer a outros materiais. Contudo, este paradigma deve ser alterado devido aos benefícios já descritos. As experiências de utilização em países mais desenvolvidos podem ser exemplos que contribuam para a mudança de mentalidade também a este nível.

O nível de poluição no interior dos edifícios é muitas vezes superior ao ar que se respira no exterior. É importante compreender a natureza dos poluentes do ar interior e desenvolver materiais com a capacidade de captar estes mesmos poluentes, reduzindo a sua concentração no ar, ao mesmo tempo que contribuem para regular as condições de temperatura e humidade relativa. Assim, propõe-se com este artigo divulgar o início dos trabalhos do projeto *INDEED* sobre o efeito de argamassas de reboco interior ecoeficientes. No âmbito do projeto vão desenvolver-se argamassas com base em terra argilosa analisando o contributo para a captação de poluentes presentes no ar interior da edificação.

## **SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA – QUALIDADE DO AR INTERIOR**

O papel desempenhado pelos edifícios deve ser destacado dado que contribuem para a degradação do meio ambiente e são responsáveis por 50% do consumo global de combustíveis fósseis e 50% das emissões de gases de efeito estufa (Smith, 2005). De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (SBCI, 2009), os edifícios a nível mundial são responsáveis por:

1. 25-40% do consumo de energia e 30-40% das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>);
2. relativamente aos recursos naturais, estes são responsáveis por:
  - materiais e minerais extraídos de depósitos - 30%;
  - água - 20%;
  - superfície - 10%.

Gustavsson & Joelsson (2010) mencionam o Terceiro Relatório de Avaliação sobre Mudanças Climáticas, e afirmam que na Europa o setor habitacional responde por uma grande parte do uso primário de energia, gerando emissões de CO<sub>2</sub> e um impacto ambiental negativo.

Para que um edifício seja sustentável, é importante avaliar quais os impactos ambientais ao longo do seu ciclo de vida. Os métodos de construção devem também ser otimizados nesta perspectiva, em particular em termos de aspetos operacionais, manutenção e fim de vida. Deve ser considerada uma série de prioridades durante as etapas preliminares do projeto, incluindo: menor consumo de materiais não renováveis; menor produção de resíduos e poluentes; uso de materiais ecoeficientes; proteção e preservação dos recursos hídricos; manutenção de um ambiente interior saudável e confortável; análise da eficiência das soluções adotadas; redução dos custos do ciclo de vida e práticas de utilização otimizadas e ainda a manutenção. A interação do edifício com a sua envolvente é também um fator muito importante, bem como os problemas de sustentabilidade acima mencionados.

O Ciclo de Vida de um edifício é um balanço de custos e recursos ecológicos, sociais, humanos e energéticos. O Ciclo de Vida do edifício inicia com a exploração de materiais para a sua execução, passa pela construção até à sua desconstrução e ainda a gestão de resíduos, além de abranger todas as fases operacionais, de utilização, manutenção e reabilitação. Em todas estas fases geram-se inúmeros impactos ambientais que devem ser avaliados para promover o desenvolvimento de novas soluções, que deverão ser implementadas na fase de projeto. A Análise do Ciclo de Vida (ACV) de um edifício e a Avaliação do Impacte Ambiental (AIA) estão inteiramente relacionadas, uma vez que a AIA é um inventário analítico dos fluxos (consumos e emissões) de energia e matéria (*inputs* e *outputs* de serviços e características de conforto) ao longo do Ciclo de Vida do edifício.

No entanto, a fase operacional desempenha um papel significativo no ACV de um edifício no que se refere ao consumo de energia. A ACV para edifícios residenciais e de escritórios, no que se refere ao uso de energia primária, é cerca de 150-400 e 250-550 kWh/m<sup>2</sup>.ano respetivamente, dos quais 80-90% são respeitantes à fase operacional e os restantes 10-20% dizem respeito a outras fases do ciclo de vida (Ramesh et al. 2010). Vários estudos também mostraram que, no caso de edifícios construídos em regiões temperadas ou frias, a maior parte do uso de energia ocorre durante a fase operacional (Winther & Hestnes 1999; Scheuer et al. 2003; Gustavsson & Joelsson 2010).

Durante as últimas décadas estratégias ativas e passivas têm vindo a ser exploradas nos projetos de edifícios de baixo consumo energético (Chwieduk, 2003; Guy & Farmer, 2001). O termo "passivo" refere-se a uma abordagem mais cuidada na estratégia ao projeto, utilizando conceitos bioclimáticos, como a geometria e a orientação solar, que desempenham papéis importantes na captação, armazenamento e posterior distribuição de energia solar e eólica, em vez de se centrar na manutenção do edifício (Sadineni et al. 2011; Loonen et al. 2013). Projetar de forma bioclimática consiste na análise do edifício tendo em conta as especificidades do clima da zona de implantação, as características ambientais e ainda o uso de recursos naturais disponíveis localmente, de forma a atingir a máxima eficiência energética e o conforto ambiental interior.

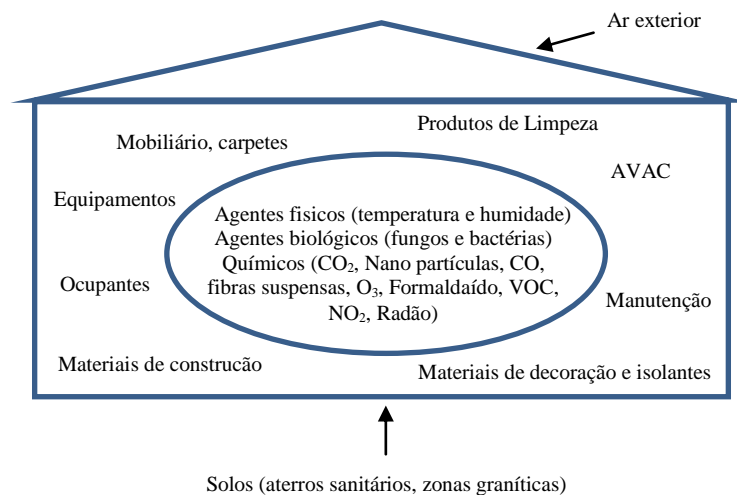
Atualmente, e com a mudança de mentalidades, existe a necessidade de desenvolver espaços tão saudáveis e agradáveis quanto possível. É também esperado que existam contribuições positivas para a qualidade do ar interior e para o conforto visual. Tendo em conta estas necessidades, uma parede de taipa foi construída em 1993 no hospital Feldkirch, na Áustria. A parede funciona como um regulador climático e, ao mesmo tempo, proporciona um contraste com a estética e a técnica construtiva do *hall* de entrada principal do hospital.

Como referido, um ambiente interior saudável é uma prioridade para a construção sustentável. A qualidade dos espaços no que se refere à qualidade do ar interior depende essencialmente de (EPA CPSC, 1995; Bonn, 2006):

1. emissão de poluentes no interior do edifício derivados de materiais de construção e mobiliário, carpetes, isolamentos danificados, processos de combustão, produtos químicos (utilizados na higiene e limpeza), sistemas de aquecimento e arrefecimento, humidificadores, bioefluentes, entre outros;

2. infiltração de poluentes atmosféricos externos, como radão, ozono, monóxido de carbono, pesticidas;
3. acumulação de poluentes no interior dos edifícios devido à falta ou a fraca ventilação.

Segundo a ADENE et al. (2009) os principais contribuintes para uma fraca qualidade do ar interior são os sistemas de climatização e ventilação (AVAC) e os ocupantes. A concentração de poluentes locais depende de fatores como (EPA CPSC, 1995; Bonn, 2006): a taxa de emissão; a renovação do fluxo de ar; características do ar/concentração de poluentes no ar exterior; sistemas de ventilação; características do compartimento - dimensões geométricas, tipos de revestimento e mobiliário, e ainda da ocupação (número e suas rotinas). Na Figura 1 estão representados os fatores que afetam a qualidade do ar interior nos edifícios.



*Figura 1 Representação dos fatores que afetam a qualidade do ar interior nos edifícios (adaptado de ADENE et al. 2009).*

Atualmente, cerca de 50% da população mundial vive nas cidades. As pessoas gastam cerca de 85-90% de suas vidas no interior de edifícios (considerando a casa, o trabalho e o lazer) e, portanto, são afetadas por esses ambientes (Comissão Europeia - Joint Research Center, 2003). É possível analisar que existe uma relação causa-efeito entre as condições de habitação e o estado de saúde dos habitantes e, portanto, a construção de edifícios sustentáveis deve ser promovida. Stieb et al. (2003) referem a importância em monitorar os níveis de concentração de poluentes em todos os microambientes.

O nível de poluição no interior dos edifícios é muitas vezes superior ao ar que se respira no exterior. O ar interior apresenta muitos poluentes ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ). Podem também existir partículas e micro-organismos em suspensão, bem como bactérias hospedadas em espumas ou transmitidas pela humidade presente na edificação. Os gases eliminados por compostos orgânicos voláteis (COV) também podem ser detetados. Os COVs são substâncias derivadas de produtos petrolíferos altamente voláteis (hidrocarbonetos aromáticos). Estes oxidam-se na presença de ar e reagem com o calor; podem ser encontrados em tintas, solventes, espumas em geral e produtos fenólicos. Em ambientes fechados, os produtos que contenham COVs podem demorar até um ano para ser completamente eliminados. A sua degradação é 100 vezes mais lenta no interior das construções. São exemplo as tintas sintéticas que incluem COVs na sua formulação, como as tintas à base de água (que apresentam 2% de COV). Os COVs comuns incluem formaldeído, xileno, benzeno, toluol. Como exemplo, o formaldeído é um composto tóxico encontrado em muitos ambientes modernos: em materiais como adesivos fenólicos utilizados para a produção de aglomerados de partículas de madeira e contraplacado em madeira (OSB - *Oriented Strand Board*, MDF - *Medium Density Fibreboard*); tintas e revestimentos para madeira;

carpetes feitas de fibras sintéticas. É ainda importante estar ciente do alto nível de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em ambientes altamente populosos, como salas de aulas em escolas, salas de espera em hospitais, pavilhões desportivos, entre outros. Os níveis típicos de CO<sub>2</sub> ao ar livre corresponde a cerca de 400 ppm, enquanto os níveis internos são de aproximadamente 600-800 ppm, unicamente devido à respiração humana. Reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em locais populosos é de extrema importância, uma vez que os níveis de CO<sub>2</sub> podem aumentar para 1000 ppm ou mais - levando a sintomas como dores de cabeça, sonolência e dificuldades de concentração.

Gomes et al. (2007) refere que o conhecimento real dos níveis de concentração de poluentes específicos, como os compostos orgânicos voláteis dentro dos edifícios, juntamente com o conhecimento sobre os efeitos desses compostos sobre a saúde humana, são essenciais para definir medidas de proteção específicas para os ocupantes do edifício. Devido ao exposto, é importante a realização de medições para a qualidade do ar ambiente e verificar a toxicidade liberada pelos revestimentos, a fim de obter uma melhor qualidade do ar.

Os efeitos de poluentes na saúde humana podem ser designados como (ADENE et al. 2009):

1. efeitos nuisivos: odores desagradáveis (após 5 a 60 minutos de exposição); reações de irritação ocular, nariz, garganta, boca;
2. efeitos agudos: imediato;
3. efeitos prolongados: reações alérgicas ou infecciosas, cancro de pulmão.

A Tabela 1 resume as principais fontes e os efeitos sobre a saúde relativamente aos poluentes mais importantes que afetam a qualidade do ar interior. De acordo com a *American Society Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)*, a qualidade do ar pode ser aceitável se:

1. no ar interior não existam concentrações nocivas de contaminantes;
2. se mais de 80% das pessoas expostas a uma certa qualidade do ar interior continuarem a sentir-se confortáveis.

Os materiais e tecnologias de construção utilizados na construção de edifícios são tipicamente selecionados de acordo com o projeto, a sua disponibilidade e técnicas no local de construção, devem satisfazer as necessidades de desenvolvimento da sociedade, bem como as necessidades do utilizador, mas cada vez mais minimizando o impacto ambiental. Para controlar os impactos ambientais adversos, há uma grande preocupação e ênfase na redução das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Os processos de fabricação de materiais de construção devem minimizar a liberação de gases como o CO<sub>2</sub> na atmosfera. Assim, é necessária investigação sobre os requisitos de energia para a produção e processamento de diferentes materiais de construção e emissões de CO<sub>2</sub> e as implicações para o meio ambiente.

Além de minimizar a energia incorporada – o somatório de toda a energia necessária para construir um edifício, energia utilizada durante a extração da matéria-prima, manufatura, transporte de materiais, processo de construtivo, uso e operação, demolição e reciclagem no final da vida útil (Sartori & Hestnes, 2007) - é igualmente importante construir edifícios com alto potencial de reciclagem, a fim de reduzir o uso de energia e os recursos durante um longo período de tempo. Thormark (2006) refere que uma quantidade considerável de energia pode ser economizada através da reutilização e valorização de materiais de construção. Acrescenta ainda que não basta concluir que um material é reutilizável; os próprios processos de valorização também devem ser considerados e quantificados, bem como como o planeamento e a desconstrução. Em conclusão, para reduzir o uso total de energia dos edifícios, deve ser dada grande atenção à escolha dos materiais de construção, bem como aspetos do seu final de vida.

**Table 1. Principais fontes e efeitos sobre a saúde dos poluentes que afetam a qualidade do ar interior (APA, 2009; DGEG, APA, & ADENE, 2009)**

Poluente: CO (Monóxido de carbono)	
Principais origens	Efeitos na saúde
Processos de combustão (aquecimento, fogões, lareiras, braseiras), escape de veículos Fumo de tabaco	Carboxihemoglobinemia (impede a captação de oxigênio) Dores de cabeça, náuseas, cansaço Efeitos no sistema nervoso central e sistema cardiovascular
Poluente: CO <sub>2</sub> (Dióxido de carbono)	
Ocupantes (suor / transpiração, respiração, estômago e canal intestinal) Fumo do tabaco	Efeitos no sistema nervoso central e sistema cardiovascular Dores de cabeça, irritação ocular e garganta Fadiga, falta de ar
Poluente: HCHO (Formaldeído)	
Desinfetantes, pesticidas Produtos derivados da madeira, conservantes de madeira Materiais de construção, espuma de isolamento Mobiliário, têxteis, adesivos, colas e tintas Fumo do tabaco Solventes de lacas e resinas	Irritação dos olhos, nariz, garganta e pele Problemas respiratórios Fadiga Sensação de mau estar/doença Dores de cabeça
Poluente: COVs (Compostos orgânicos voláteis)	
Pinturas, solventes, adesivos, resinas e vernizes Materiais de construção, cortiça aglomerada, mobiliário Produtos de limpeza, desinfetantes, desodorantes, fragrâncias Inseticidas, pesticidas e fungicidas Fumo de tabaco Zona das estações de gasolina e atividades similares	Odores Sintomas de alergia Dores de cabeça, náusea, fadiga, tonturas Leucemia Cancro de pele e pulmão Secura nasal e de garganta, irritação ocular
Poluente: O <sub>3</sub> (Ozono)	
Fotocopiadoras Impressoras a laser Material de limpeza Reações fotoquímicas Desinfetante de água	Problemas respiratórios, reações alérgicas e asma Irritação ocular, dores de cabeça Mudanças de vigilância e nas ações Edema pulmonar se a exposição for prolongada ou repetida Pressão seca da boca e da garganta Sensação de aperto tórax e tosse
Poluente: PM <sub>10</sub> (Partículas de aerossóis)	
Processos de combustão, fumo de tabaco Ocupantes Sistema AVAC Papel	Problemas respiratórios, tosse e espirros Irritação ocular (olhos secos), asma e alergias Pele e mucosa (secura de nasal) Doenças profissionais (metais)
Poluente: Bactérias, fungos e <i>legionella</i>	
Sistema AVAC Materiais de construção, decoração, têxteis (carpetes) Pólen, ar ingerido Áreas de construção húmidas Ocupantes (bactérias), cabelos, penas e excrementos de insetos Água estagnada ( <i>Legionella</i> e fungos)	Alergias - rinite, sinusite, asma Infeções - tuberculose, pneumonia, criptococose Irritação - olhos, nariz, garganta e pele (fungos) Dores de cabeça, febre Fadiga e dores musculares Doença dos legionários e febre pontiac - <i>Legionella</i>
Poluente: Radão	
Materiais de construção, solo de zonas graníticas Rochas graníticas sob o edifício (a libertação do radão é condicionada pela permeabilidade e porosidade do solo e das rochas e também pela pressão atmosférica, temperatura e humidade)	Aumenta o risco de cancro de pulmão (o perigo é aumentado pelo facto deste gás ser indetetável pelos sentidos do corpo humano)
Poluente: C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (Benzeno)	
Produtos derivados da madeira Fumo de tabaco	Cancro
Poluente: NO <sub>2</sub> (Dióxido de azoto)	
Processos de combustão	Problemas respiratórios, bronquite crônica Irritação de olhos e garganta, tosse e cansaço
Poluente: Naftaleno	
Fumo de tabaco Naftaleno	Irritação ocular Irritação do sistema respiratório

A construção com terra pode ser uma resposta eficaz a alguns problemas a nível de sustentabilidade na construção e qualidade do ar interior. Como referido, o uso da terra como material de construção oferece muitas vantagens uma vez que é:

1. um material ecoeficiente e natural;

2. provavelmente não tóxico - aumentando a qualidade do ar, mantendo-o saudável e confortável;
3. ecológico - menor produção de resíduos uma vez que é reutilizável;
4. não poluente - baixos níveis de CO<sub>2</sub> no processo de fabrico;
5. baixo custo - quer a nível de extração (muitas vezes a terra é obtida como um desperdício em locais de construção, reduzindo custos e energia para transporte) e processamento da matéria-prima, quer pela utilização na fase de operação do edifício, dado que existem vantagens técnicas, tal como o contributo para o conforto.

Em Portugal, o património de construção com terra é bastante rico. As principais técnicas utilizadas em Portugal são a taipa (terra compactada entre taipais/cofragens) e o adobe (blocos de terra secos ao sol) (Gomes et al. 2014). A utilização destas técnicas foi decaindo após os anos 50 e 60, altura em que se implantaram por todo o país técnicas construtivas mais modernas e novos materiais de construção - como o cimento. A técnica dos blocos de terra comprimida surge nos anos 50 em Portugal, sendo esta técnica menos difundida, uma vez que foi nesse período que, no país, a construção com terra entrou em declínio. No entanto, nas últimas décadas a construção com terra começou, de novo, a emergir em construções novas e reabilitações, devido às vantagens ambientais, contributo para a qualidade do ar, para as características térmicas e acústicas. Ventakarama-Reddy & Kumar (2010) também quantificaram outras vantagens na técnica construtiva da taipa: baixa intensidade de energia utilizada e baixas emissões de carbono; os materiais utilizados são recicláveis e a maior parte está disponível localmente, ou seja, a uma curta distância do local de construção; flexibilidade na geometria dos edifícios; ampla variedade de acabamentos e texturas; e a espessura da parede podem ser facilmente ajustada no caso de utilizar taipa estabilizada.

### **Argamassas de Reboco com Terra**

Mélia et al. (2014) avaliou muito positivamente a energia incorporada de rebocos de terra comparativamente a soluções alternativas.

Alguns autores (Lamble et al. 2011; Darling et al. 2012) referem que as argamassas com base em terra argilosa aplicadas em rebocos podem contribuir para a qualidade do ar interior, uma vez que a argila pode atuar como um material de remoção passiva, diminuindo as concentrações internas de ozono. E, portanto, reduzindo a probabilidade da ocorrência de reação de ozono com outros materiais de construção no interior das construções (Lima & Faria, 2016). No entanto, aspetos relacionados com a suscetibilidade para o desenvolvimento biológico também devem ser tidos em conta (Santos et al. 2017).

A terra como material de construção atua como uma proteção contra grandes variações de humidade, contribuindo para equilibrar a humidade relativa dos ambientes interiores nos edifícios (Minke, 2006; Kirsima & Maddison, 2009; Liuzzi et al., 2013; Bui et al., 2014; Lima et al., 2016). Esta capacidade num reboco de argamassa com terra advém da troca do vapor de água com o ar, libertando a humidade quando o ar se encontra mais seco e absorvendo-o quando o ar se encontra mais húmido. É importante referir que esta capacidade para o reequilíbrio higratérmico depende de fatores como o tipo de argila presente no reboco, a sua espessura (Fionn et al. 2017) ou eventual estabilização ou acabamento existente, que vão influenciar a velocidade de adsorção e a capacidade para a libertação do vapor de água.

Será ainda importante referir que as argamassas de reboco com terra, quando não apresentam adjuvantes orgânicos, não libertam para o ambiente interior compostos tóxicos, uma vez que estas argamassas apenas apresentam na sua composição a argila que funciona como ligante e areia que funciona como esqueleto da argamassa. É relevante para o estudo do projeto *INDEED* analisar se as argamassas de reboco com terra, em contacto com substâncias nocivas e na presença de elevadas quantidades de dióxido de carbono podem ou não contribuir para a redução de odores e de determinados

poluentes, como por exemplo as partículas de aerossóis (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>), monóxido de carbono, ozono e compostos orgânicos voláteis, tais como formaldeído tais como formaldeído e os BTEX.

Como referido será importante analisar como se comportam as argamassas de reboco de terra em presença das partículas de aerossóis, sendo estas definidas como matéria sólida ou líquida em suspensão no ar, com um diâmetro aerodinâmico entre 0,005 e 100 µm (PM<sub>x</sub>). Estas partículas podem estar presentes em fase líquida na forma de vapor e no estado sólido na forma de poeira, fumo e organismos como vírus, grãos de pólen, bactérias e esporos de fungos. Os esporos na atmosfera podem ser encontrados no ambiente interior dos edifícios e são responsáveis pelo aparecimento de fungos mesmo onde não existem problemas de humidade. Porém, para que os fungos possam continuar a desenvolver-se, é necessário que existam condições de humidade próxima da condensação nos materiais ou nas superfícies destes (Lima, 2013). Portanto, a quantidade de água disponível no ar interior das edificações e a condensação superficial dos materiais de revestimento são fatores fundamentais para desencadear o crescimento de colónias de diversos microrganismos (ácaros, fungos ou bactérias). A capacidade das argamassas de reboco com terra, em contribuir para a regulação e equilíbrio da humidade do ar interior, influencia assim, de modo significativo e positivo a salubridade do ar do ambiente interior. Compreender a natureza dos poluentes do ar interior e desenvolver materiais com a capacidade de captar estes mesmos poluentes, reduzindo a sua concentração no ar, ao mesmo tempo que contribuem para regular as condições de temperatura e humidade relativa, é de extrema importância.

Face ao exposto é primordial a análise do comportamento das argamassas de reboco de terra quando expostas aos diferentes poluentes presentes no ar interior. É muito importante reduzir a exposição humana a agentes poluentes agressivos com risco para a saúde e ainda monitorizar a melhoria das condições interiores de conforto em Portugal.

Por conseguinte, será interessante neste projeto responder às várias questões que se impõem. É vantajoso aplicar: argamassa com terra em vez de argamassas de cimento; acabamentos com terra em vez do uso da tinta ou aglomerado e contraplacado em madeira? Essas alterações beneficiarão a qualidade do ar interior? É vantajoso usar a Terra como material de construção? As respostas podem ser um passo para alcançar melhorias no ambiente construído e na qualidade do ar interior.

## CONCLUSÃO

Existem atualmente evidências científicas suficientes que relacionam queixas e desconforto ambiental sentido por parte dos ocupantes dos edifícios com os materiais de construção utilizados no interior dos edifícios. Os aspetos higiénicos e humanotoxicológicos começam atualmente a ser estudados nos ambientes construídos, por forma a garantir a existência de ambientes agradáveis e confortáveis, mas principalmente saudáveis. Estando comprovado que as argamassas com base em terra argilosa aplicadas em rebocos têm um efeito bastante mais ativo no equilíbrio termohigrométrico que outros revestimentos, é importante analisar o comportamento destas quando em contacto com substâncias nocivas e qual a contribuição que podem ter para a redução de odores e de alguns poluentes. O projeto *INDEED* pretende ajudar a responder estas questões de forma a alcançar melhorias na qualidade do ar interior.

## REFERÊNCIAS

- ADENE, DGEG, & APA 2009. Intervenção do PQ ao nível dos edifícios abrangidos pelo RCESE - Vertente Qualidade do ar Interior.
- APA. 2009. Qualidade do Ar em Espaços Interiores: Um Guia Técnico. Amadora.
- Bonn, G. 2006. Development of WHO Guidelines for Indoor Air Quality. Report on a Working Group Meeting. Germany.
- Bui, T., Bui, Q., Limam, A., & Maximilien, S. 2014. Failure of rammed earth walls: From observations to quantifications. *Construction and Building Materials*, 51: 295-302.
- Chwieduk, D. 2003. Towards sustainable-energy buildings. *Applied Energy*, 76 (1-3): 211-217.
- DGEG, APA, & ADENE. 2009. Nota técnica NT-SCE-02. Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE.
- EPA CPSC. 1995. The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality. United States of America.

- Fionn, M., Fabri, A., Ferreira, J., Simões, T., Faria, P., & Morel, J.-C. 2017. Procedure to determine the impact of the surface film resistance on the hygric properties of composite clay/fibre plasters. *Materials and Structures*, 50 (4): 193-206.
- Gomes, J., Bordado, J., Sarmiento, G., & Dias, J. 2007. Measurements of Indoor Air Pollutant Levels in a University Office Building. *Journal of Green Building*, 2 (4): 123-129.
- Gomes, M. I., Gonçalves, T. D., & Faria, P. 2014. Unstabilised rammed earth: characterization of the material collected from old constructions in south Portugal and comparison to normative requirements. *International Journal of Architectural Heritage*, Taylor & Francis, 8 (2): 185-212.
- Gustavsson, L., & Joelsson, A. 2010. Life cycle primary energy analysis of residential buildings. *Energy and Buildings*, 42: 210-220.
- Guy, S., & Farmer, G. 2001. Reinterpreting Sustainable Architecture: The Place of Technology. *Journal of Architectural Education*, 54 (3): 140-148.
- Kibert, C. J. 2005. *Sustainable construction: green building design and delivery*. New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Kirsima, K., & Maddison, M. 2009. The humidity buffer capacity of clay – sand plaster filled with phytomass from treatment wetlands, 44: 1864-1868.
- Lima, J. 2013. O contributo das argamassas de barro para a qualidade do ambiente interior dos edifícios: o caso das argilas do sotavento Algarvio. 2º Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono, Lisboa, LNEC (CD).
- Lima, J., & Faria, P. 2016. Eco-efficient earthen plasters. The influence of the addition of natural fibers. In R. Figueiro (Ed.), 2<sup>nd</sup> International Conference on Natural Fibres (Vol. 12, pp. 315-327). Azores, Portugal, 27-29 April: *Advances in Science and Technology Towards Industrial Applications*, Springer, RILEM Book Series.
- Lima, J., Faria, P., & Silva, A. S. 2016. Earthen plasters based on illitic soils from barrocal region of Algarve: contributions for building performance and sustainability. *Key Engineering Materials*, 678: 64-77.
- Liuzzi, S., Hall, M. R., Stefanizzi, P., & Casey, S. P. 2013. Hygrothermal behaviour and relative humidity buffering of unfired and hydrated lime-stabilised clay composites in a Mediterranean climate. *Building and Environment*, 61: 82-92.
- Loonen, R. M., Trcka, M., Cóstola, D., & Hensen, J. M. 2013. Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25: 483-493.
- Melià, P., Ruggieri, G., Sabbadini, S., & Dotelli, G. 2014. Environmental impacts of natural and conventional building materials: A case study on earth plasters. *Journal of Cleaner Production*, 80, 179–186.
- Minke, G. 2006. *Building with earth - Design and technology of a sustainable architecture*. Birkhäuser - Publishers for Architecture.
- Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. 2010. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, 42: 1592-1600.
- Reddy Venkatarama, B., & Kumar Prasanna, P. 2010. Embodied energy in cement stabilised rammed earth walls. *Energy and Buildings*, 42 (3): 380-385.
- Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F. 2011. Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (8): 3617-3631.
- Santos, T., Nunes, L., & Faria, P. 2017. Production of eco-efficient earth-based plasters: influence of composition on physical performance and bio-susceptibility. *J. Cleaner Production*, 167: 55-67.
- Sartori, I., & Hestnes, A. G. 2007. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, 39: 249-257.
- SBCI, U. 2009. *Buildings and climate change: Summary for decision makers*.
- Scheuer, C., Keoleian, G., & Reppe, P. 2003. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. *Energy and Buildings*, 35 (10): 1049-1064.
- Smith, P. F. 2005. *Architecture in a climate of change: a guide to sustainable design* (2<sup>nd</sup> Ed.). Architectural Press an imprint of Elsevier.
- Stieb, D. M., Judek, S., & Burnett, R. T. 2003. Meta-Analysis of Time-Series Studies of Air Pollution and Mortality: Update in Relation to the Use of Generalized Additive Models Meta-Analysis of Time-Series Studies of Air Pollution and Mortality : Update in Relation to the Use of Generalized Additive. *Air & Waste Management Association*, 53(September), 258-261.
- Thormark, C. 2006. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. *Building and Environment*, 41: 1019-1026.
- UN. 1992. Agenda 21 - Rio Declaration. United Nations conference on environment & development. Rio de Janeiro, Brazil.

Winther, B., & Hestnes, A. 1999. Solar Versus Green: The Analysis of a Norwegian Row House. *Solar Energy*, 66 (6): 387-393.