

reVer

seminário

Contributos da arquitetura vernácula portuguesa para a sustentabilidade do ambiente construído

Editores:

Ricardo Mateus, Jorge Fernandes, Luís Bragança, Manuela Almeida, Sandra Silva, Paulo Mendonça, Helena Gervásio

Organização



Universidade do Minho 1974-2014



Centro de Território
Ambiente e Construção



Ficha Técnica

Seminário reVer

Contributos da arquitetura vernácula portuguesa para a sustentabilidade do ambiente construído

Livro de Atas do Seminário reVer. Porto, 28 de março de 2015

Editores: Ricardo Mateus, Jorge Fernandes, Luís Bragança, Manuela Almeida, Sandra Silva,
Paulo Mendonça, Helena Gervásio

Foto da capa: *Moinho em Lamas de Olo*, © Jorge Fernandes

© 2015 Os Autores e os Editores

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida, armazenada num sistema de recuperação, ou transmitida, de nenhuma forma ou por quaisquer meios, sem autorização prévia por escrito dos editores.

ISBN: 978-989-20-5615-9

Publicado pela Universidade do Minho.

Nota Legal:

Os editores e os autores não são responsáveis pelo uso que pode ser dado ao conteúdo deste livro.

Índice

Prefácio	7
Arquitetura Vernácula, Arquitetura Bioclimática e Eficiência Energética <i>J. Júlio Correia da Silva & Jorge Sirgado</i>	9
A Influência das Estratégias Vernáculas de Adaptação ao Clima no Comportamento Térmico dos Edifícios - Beira Alta e Alentejo <i>Jorge Fernandes, Carlos Pimenta, Ricardo Mateus, Luís Bragança e Sandra Silva</i>	19
Vantagens da Utilização de Materiais Naturais ou Pouco Transformados <i>Paulo Mendonça</i>	31
O Contributo dos Materiais Vernáculos para Sustentabilidade do Ambiente Construído <i>Jorge Fernandes, Ricardo Mateus, Luís Bragança e Carlos Pimenta</i>	43
Tradição em Continuidade: Multiplicidade e Ecoeficiência das Quintas da Terra Fria Transmontana <i>Joana Gonçalves, Ricardo Mateus e Teresa Ferreira</i>	53
Soluções Bioclimáticas da Arquitetura Vernacular na Região Transfronteiriça entre Bragança e Castela-Leão <i>Débora Macanjo Ferreira, Sílvia Fernandes, Eduarda Luso e Jorge Vaz</i>	63
Consolidação Sociocultural e Regeneração Ambiental, Urbana e Rural <i>Victor Mestre e Sofia Aleixo</i>	73
Arquiteturas de Adobe em Portugal. Intervenção e Rejeição <i>Maria Fernandes</i>	79
VerSus: Contributo do Património Vernáculo para a Arquitetura Sustentável <i>Mariana Correia, Gilberto D. Carlos, David Viana, Filipa Gomes, Jacob Merten e Sandra Rocha</i>	89
Seismic-V: Cultura Sismo-Resistente em Portugal <i>Mariana Correia, Gilberto D. Carlos, David Viana, Goreti Sousa, Filipa Gomes e Ana Lima</i>	99
“Arquitetura Vernacular do Nordeste: da sua Conservação à Dinamização de um Território” <i>Teresa Nóvoa e Nuno Martins</i>	109

Vantagens da utilização de materiais naturais ou pouco transformados

Paulo Mendonça, PhD

Escola de Arquitectura da Universidade do Minho

mendonca@arquitectura.uminho.pt

RESUMO

As maiores exigências regulamentares sobre eficiência energética e as crescentes preocupações ambientais têm levado, nas duas últimas décadas, a reequacionar as estratégias da construção de edifícios em Portugal, que antes se centravam essencialmente na otimização do custo económico em fase de obra para edifícios novos. Se o centro das preocupações durante este período esteve inicialmente mais centrado na redução dos custos energéticos da fase de utilização, que culminou em 2006 na implementação dum sistema de certificação energética dos edifícios (recentemente revisto), a crise económica a que se assiste na presente década tem levado a um redirecionamento das preocupações, nomeadamente as associadas com os impactos ambientais da fase de construção, com os cenários de final da vida útil dos edifícios, com o repovoamento do interior do território ou com a emigração que transporta consigo empresas e know-how. Desta forma, a opção de utilizar materiais e tecnologias locais, recorrendo a mão-de-obra intensiva mas pouco qualificada ou mesmo à auto-construção, tem ganho maior relevância e aceitação e é base de suporte a soluções que visam reocupar ou reinterpretar a arquitetura vernacular numa forma contemporânea. Tem levado também a olhar mais atentamente para o parque habitacional, excedentário mas com grandes necessidades de reabilitação. A utilização de pedra natural enquanto material estrutural nas paredes exteriores dos edifícios é uma solução tradicional de muitas regiões do Portugal, caracterizada por grande inércia térmica, proteção acústica e solidez, que aqui é analisada sob o ponto de vista ambiental, sendo apresentado um caso de estudo hipotético que demonstra algumas das vantagens da utilização de materiais naturais ou pouco transformados, por contraponto à construção convencional com materiais industrializados.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção é uma grande consumidora de matérias-primas e energia, às quais se associam as consequentes emissões poluentes, aliadas à extração e produção dos materiais de construção bem como ao uso e demolição do edifício. A poluição manifesta-se de várias formas, dentre as quais se destacam a atmosférica e a da água. Em ambos os casos, as consequências nefastas podem manifestar-se no meio ambiente natural, nos edifícios e nas pessoas que os habitam e usam.

A indústria da construção é a segunda maior consumidora de matérias-primas a nível mundial, após a indústria alimentar (Berge 2009). É, a título de exemplo, responsável pelo consumo de 25% da madeira e 40% dos agregados inertes extraídos mundialmente. Os edifícios são também responsáveis por 16% da água consumida (Dimson 1996).

Quando as matérias-primas são pouco transformadas, apenas manuseadas ou transportadas a curtas

distâncias, como no caso das construções vernaculares, podemos dizer que o impacto em termos energéticos dos produtos resultantes é praticamente nulo, existindo apenas o gasto de matérias-primas. Pelo contrário, os materiais industrializados utilizados na construção convencional actual, exigem um consumo energético significativo para a sua extração, transformação e transporte, ou equipamentos mecânicos para a sua montagem em obra, trazendo assim custos ambientais elevados.

A energia incorporada (EE - Embodied Energy) dum determinado produto corresponde à energia utilizada para o seu fabrico, sendo um dos indicadores mais frequentemente utilizados para contabilização dos impactes ambientais dos materiais de construção. A EE pode-se subdividir em consumos directos e indirectos (Berge 2009). O consumo energético directo advém da extração das matérias-primas e do processo de produção. O consumo indirecto está ligado ao consumo energético dos equipamentos, climatização e iluminação na fábrica e ambiente de trabalho, sendo normalmente menos significativo que o directo. Importa ainda contabilizar a energia do transporte das matérias-primas e materiais semi-processados.

De acordo com o Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP), 30 a 40% das emissões de gases com efeito de estufa devem-se aos edifícios e à indústria da construção, incluindo a produção de materiais de construção, manutenção e demolição, e a fase de uso (UNEP 2007). O problema das emissões de gases com efeito de estufa tem estado na ordem do dia das preocupações ambientais nas últimas décadas e por isso tema de muitas cimeiras políticas e encontros científicos a nível mundial. As emissões de CO₂ associadas com a queima de combustíveis fósseis para produção de energia, tem aumentado exponencialmente desde a revolução industrial, mas mais acentuadamente a partir da segunda metade do século XX, como se pode ver na Figura 1.

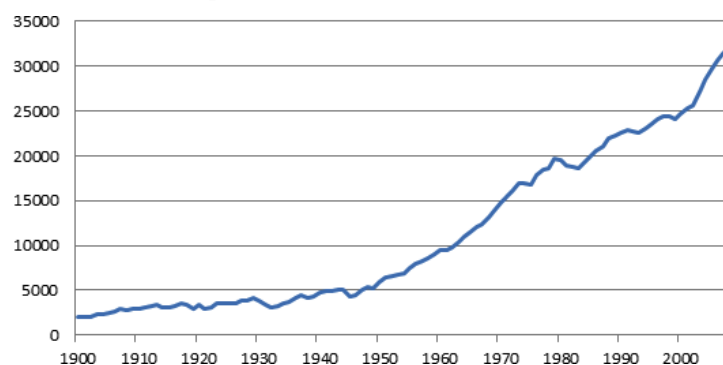


Figura 1 Emissões de CO₂ em Teragramas desde 1900 (Boden, Marland and Andres, 2010).

Desde os anos 70 do século XX que os valores médios mundiais de emissões percapita de CO₂ têm-se mantido sem variação, contudo os valores em termos absolutos têm aumentado, na proporção direta do crescimento demográfico. Tal fenómeno continua a verificar-se na última década, essencialmente devido ao crescimento demográfico verificado nas economias emergentes da Ásia, América do Sul e África, mas também ao incremento dos consumos energéticos percapita nestas mesmas áreas geográficas, como se pode verificar na Figura 2. Pelo contrário e como se pode ver na mesma figura, a maioria dos países desenvolvidos, através de legislação ambiental mais restritiva, incentivos à produção energética através de fontes renováveis, promoção das tecnologias passivas, bem como equipamentos mais eficientes, conseguiram reduzir as emissões percapita no período de 2005 a 2010. A Figura 3 apresenta a análise da ineficiência energética percapita associada com o consumo de energia das diferentes regiões e países a nível mundial, para o ano de 2010. A ineficiência apresentada foi obtida pela divisão entre as emissões percapita de CO₂ pelo consumo de energia primária em TEP percapita.

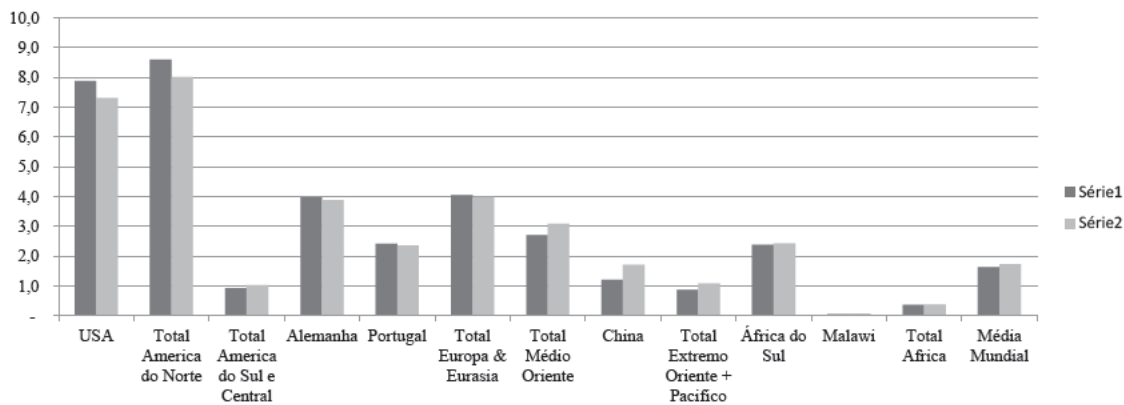


Figura 2 Emissões de CO₂ em 2005 e 2010, em toneladas percapita.

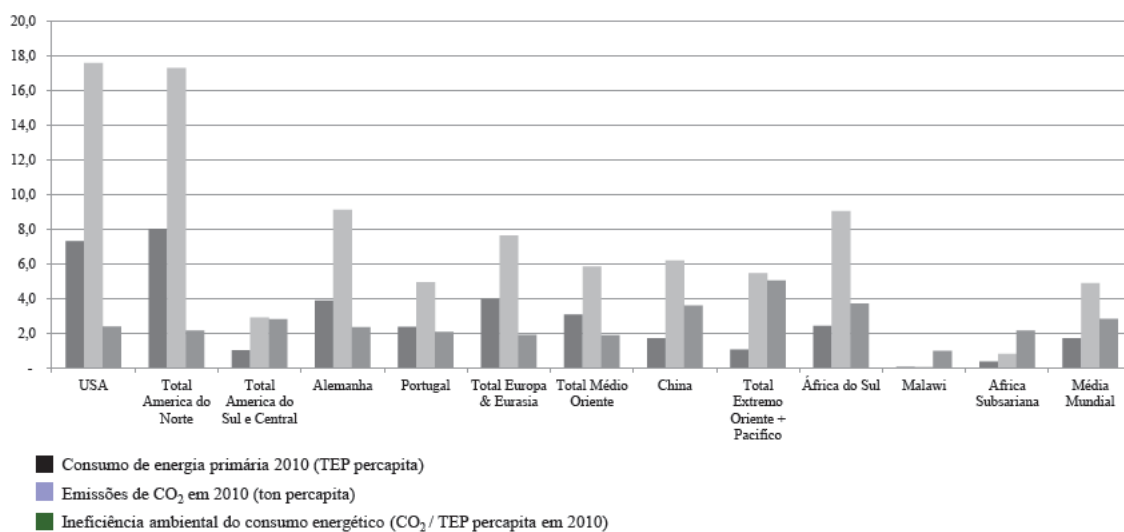


Figura 3 Ineficiência ambiental do consumo de energia em CO₂/TEP percapita em 2010.

Independentemente da polémica em torno da relação entre as emissões poluentes e as alterações climáticas, está comprovado que os fatores ambientais são responsáveis por 80 a 90% dos casos de cancro (Berge 2009). Hoje em dia, a indústria da construção nos países desenvolvidos e muito especialmente na Europa do Sul, tem de se preocupar com os elevados níveis de CO₂ produzidos; levando-a a escolher abordagens mais ecoeficientes. Paradoxalmente, são os países com uma maior capacidade económica, ou seja os países desenvolvidos, mas também, e sobretudo, os países em desenvolvimento, aqueles que apresentam maiores níveis de ineficiência ambiental associada ao consumo energético. Ironicamente, os países mais pobres, como se ilustra com o exemplo do Malawi na Figura 3, além de apresentarem reduzidos valores de emissões poluentes em termos absolutos e percapita, apresentam também maior eficiência ambiental percapita. Tal deve-se em grande parte a que a construção de edifícios nesses contextos é maioritariamente realizada com materiais naturais e tecnologias locais, predominando uma economia de subsistência ligada ao sector primário, bem como à restrição de mobilidade associada com o reduzido PIB percapita disponível e deficientes infra-estruturas de transporte. Face ao conhecimento e tecnologia disponível, não é justificável que no contexto dos países desenvolvidos se continue a apostar na demolição de edifícios existentes e construção de edifícios novos, ao invés de optar pela utilização de materiais naturais e pouco transformados, pela reutilização e renovação dos edifícios existentes e por uma arquitectura de referência vernacular devidamente contextualizada com as sensibilidades locais.

MATERIAIS, TRANSPORTE E ENERGIA

A relação entre habitação e os “recursos imediatamente disponíveis” só tem valor absoluto nos primeiros estádios da civilização humana. Aliás, mesmo nesses níveis, “há sempre muita margem para variações arquitetónicas, dando liberdade às convenções e ideias locais para encontrarem a sua expressão própria” (Keesing 1961). A relação entre a disponibilidade de materiais no local e as construções primitivas, apesar de, segundo este autor, deixar alguma margem de manobra, era marcadamente evidente até à revolução industrial. Por essa razão se pode afirmar que os materiais pesados utilizados na construção tinham correspondência direta com a disponibilidade dos mesmos no solo. Após a revolução industrial, introduziram-se materiais de construção industrializados ao mesmo tempo que se generalizaram os transportes de pessoas e mercadorias. Por esta razão, a ligação entre a disponibilidade de materiais no solo e a construção alterou-se, diluindo-se significativamente, como se ilustra na Figura 4. Os aspetos económicos são aqueles que, quase exclusivamente, passaram a condicionar os tipos de materiais utilizados e dessa forma também os sistemas construtivos. As indústrias tenderam a localizar-se próximo das matérias-primas, essencialmente por razões económicas. Mas o fato de centralizar a produção conduz a que as distâncias médias efetuadas, desde a extração das matérias-primas até à colocação dos materiais em obra, aumente. A construção industrializada, apesar de mais económica, revela-se mais poluente que a construção de mão-de-obra intensiva e com recurso a materiais locais.

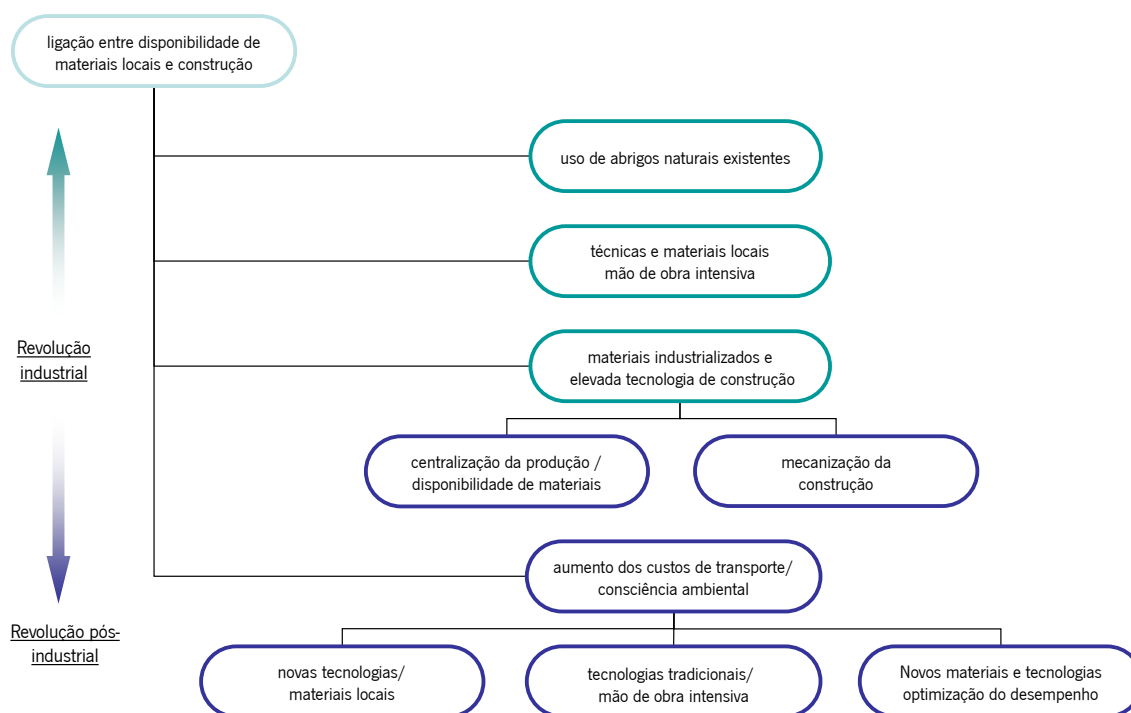


Figura 4 Ligação entre a disponibilidade de materiais locais e os sistemas de construção.

Em Portugal, no ano de 2010, o peso do consumo dos principais setores de atividade económica relativamente ao consumo final de energia foi de: 37,4% nos Transportes, 30,1% na Indústria, 17,0% no Doméstico, 11,7% nos Serviços e 3,8% nos outros setores (onde se inclui a Agricultura, Pescas, Construção e Obras Públicas). Verifica-se assim uma forte incidência do setor de Transportes no consumo de energia final. “O transporte de mercadorias por ferrovia totalizou em 2010, 10,1 milhões de toneladas, mais 12,8% do que o transportado em 2009. (...) Nesse mesmo ano foram transportados 217,9 milhões de toneladas de mercadorias por modo rodoviário, o que representa uma redução de 12,9% relativamente a 2009” (DGE 2011). O transporte de materiais minerais não metálicos das indústrias extrativas constitui atualmente uma das principais parcelas do transporte de mercadorias rodoviário e ferroviário. Atendendo aos impactos ambientais do transporte rodoviário, redução do rendimento

disponível e aumento do desemprego, torna-se assim cada vez mais pertinente a utilização de materiais locais nos sistemas construtivos utilizados, especialmente tendo em conta que para alguns materiais, nomeadamente aqueles mais pesados, o transporte é um dos principais responsáveis pelo valor da EE final, com a agravante de ser normalmente feito com recurso a combustíveis fósseis. A queima de combustíveis fósseis é a mais importante causa de impactos ambientais tanto na fase de utilização do produto final, neste caso do edifício, como nas fases intermédias de transformação e transporte.

Sempre que for necessária massa de armazenamento térmico e também para possibilitar o incremento do isolamento acústico com um baixo custo, é difícil e pouco viável optar por soluções leves, tais como a construção modular em madeira ou aço. Neste caso será de ponderar a opção por recursos naturais abundantes ou reutilizáveis, como a pedra, em substituição dos materiais pesados convencionais – aço e tijolo. Apesar de não renováveis, são recursos que apenas se transferem de lugar, com pouca transformação, durabilidade elevada e reutilizáveis num número significativo de ciclos. Ainda que se possa perder alguma qualidade no processo de reutilização da pedra, a reciclagem poderá sempre ser feita (downcycling), por exemplo passando de alvenaria a placas e posteriormente de placas a gravilha, inertes ou granulados de pedra.

Com o desenvolvimento do sistema construtivo baseado no betão armado e aço durante o século XX, a pedra deixou de ser um material estrutural relevante em construção civil. Ainda assim, a pedra extraída anualmente tem sido maioritariamente utilizada na indústria da construção (47% da produção total) (USGS 2014). Portugal está entre os dez maiores produtores de pedra natural do mundo, como pode ser visto na Tabela 1. Estes dez países representam no seu conjunto 92,6% da produção mundial de pedra (107Mt em 2009). Se considerarmos o valor de produção percapita, Portugal é destacadamente o maior produtor do mundo, com quase 30kg por habitante, o que demonstra a importância desta indústria no contexto nacional.

Tabela 1. Produção mundial de pedra (por ordem decrescente de produção global)

	Produção em 2009 (kt /ano)*	População total em 2009 (meio do ano) x1000**	Produção percapita em 2009 (kg /ano)*
1- China	2300,5	1.334.740	1,7
2- India	2107,9	1.174.000	1,8
3- Turkey	1155,6	70.538	16,4
4- Iran	1112,8	73.651	15,1
5- Italy	909,5	60.045	15,1
6- Brazil	749,0	191.481	3,9
7- Spain	716,9	45.828	15,6
8- Egypt	363,8	76.800	4,7
9- Portugal	310,3	10.627	29,2
10- U.S.A.	181,9	307.374	0,6

*http://www.hkexnews.hk/listedco/listconews/sehk/2011/0307/01380_1017369/E114.pdf

**<http://www.indexmundi.com/>

A Tabela 2 compara o volume de produção de pedra com os materiais convencionais pesados utilizados em paredes de fachada, em função da produção total e da produção percapita em Portugal. Na primeira coluna indica-se o ranking da produção total portuguesa para o ano indicado entre parêntesis, onde M corresponde ao lugar a nível mundial e E ao lugar a nível europeu.

Tabela 2. Produção global e percapita de alguns materiais de construção (por ordem decrescente de produção global)

	Produção (t)	População (meio do ano)	Produção percapita (kg/ano)
9 ^o M - Pedra (2009)	310.300	10.627.000	29,2
30 ^o M - Cimento (2010)	12.750.000	10.637.000	1.198,6
5 ^o E - Tijolo (2000)	4.735.000	10.012.197	473,0

CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE HABITACIONAL EM PORTUGAL

Em Portugal, o fabrico dos materiais para uma habitação unifamiliar de construção convencional em tijolo e pórticos de betão armado requer uma energia incorporada de aproximadamente 2100kWh por m² de área útil de pavimento, como se pode ver pela análise da Tabela 3 (Mendonça 2005). O tijolo é por si só, apenas considerando as paredes, responsável por quase 40% deste valor, o que permite afirmar que a substituição de tijolo por materiais com menor energia incorporada, desde que locais, será por si só uma alternativa favorável em termos ambientais.

Tabela 3. Peso e Energia incorporada por m² de área útil de pavimento num edifício convencional (adaptado de (Mendonça 2005))

Materiais	Peso (kg/m²)	EE (kWh/kg)	EE(kWh/m²)
Tijolo	651,9	1,3	821,4
Betão e argamassas de cimento	2160,8	0,3	713,1
Aço em varão	63,7	2,8	177,1
Alumínio	3,3	44,5	148,3
Isolamento térmico XPS	3,6	27,9	100,3
Aço inox	5,0	9,7	48,7
Vidro	8,5	5,1	43,3
Tela asfáltica	7,5	4,1	30,4
Argamassas de gesso	18,0	1,1	18,9
Madeira local	56,7	0,2	10,2
Pavimento flutuante	6,3	1,4	8,8
Pintura plástica	0,8	5,6	4,3
Aglomerado de madeira	2,7	1,1	2,9
Verniz sintético	0,1	21,6	2,4
Polietileno	0,1	24,2	2,2
Total	2989,0	150,6	2132,3

Pela inexistência de meios de transporte eficientes, os materiais utilizados nas paredes exteriores das habitações tradicionais, especialmente no caso das paredes pesadas, estavam intimamente associados à disponibilidade local de matérias-primas e mão-de-obra. Desta forma, os materiais utilizados correspondiam diretamente às características litológicas do solo, pelo que a sua distribuição pelo território nacional era quase literalmente a duma carta litológica (Figura 5), sendo que as poucas exceções correspondiam às áreas onde os solos, por serem arenosos, não permitiam extrair pedra ou solo com qualidade para a construção. Nestes locais adotavam-se soluções inteiramente em madeira, com técnicas associadas à construção naval e à atividade piscatória, como o caso do Palheiro de Esmoriz representado no canto superior esquerdo da Figura 5.

As paredes simples pesadas de pedra ou terra, normalmente desempenhando um papel estrutural, são características de quase todas as construções de edifícios até meados do século XX. Apesar de actualmente já não se construir com paredes estruturais, considera-se que há espaço para repensar estas soluções, não só pela necessidade de reabilitação de edifícios existentes, mas também porque se deverá avaliar a sua pertinência na contemporaneidade mesmo para a construção de edifícios novos.

A utilização de pedra em paredes de edifícios antigos apresenta-se geralmente com grandes espessuras (nalguns casos superiores a 40cm), ligadas não apenas ao facto de serem soluções estruturais, mas também à necessidade de fornecerem uma suficiente capacidade de isolamento térmico e acústico, bem como incremento da massa térmica. Denotando algumas preocupações de estanquidade, nas paredes de alvenaria de pedra com junta seca de construção tradicional portuguesa, principalmente no norte do País, era utilizada palha para vedar as juntas, impedindo a passagem de ar frio ou água através destas.

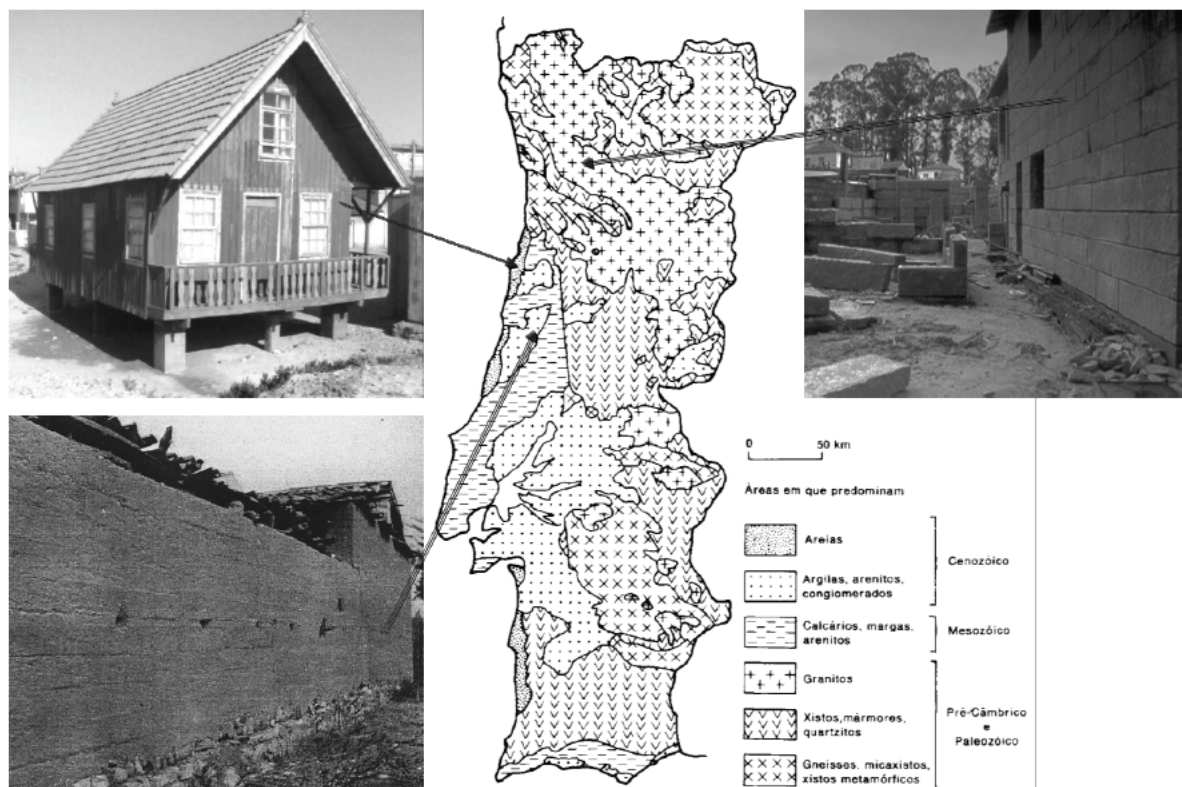


Figura 5 Carta litológica de Portugal (Brito 1994) com indicação da localização de três habitações com sistemas construtivos relacionados com o tipo de solo local (imagem no canto inferior esquerdo adaptada de (AAP 1988))

A necessidade de introdução de isolamento nas construções existentes levou a que a reabilitação de habitações com paredes simples em pedra fosse maioritariamente feita com introdução de isolamento pelo interior. Tal solução aumenta a resistência térmica da parede, mas limita drasticamente a sua massa superficial útil, pelo que constitui uma solução muito desfavorável do ponto de vista do desempenho térmico passivo. A colocação de isolamento pelo exterior, ainda que resultando numa solução mais favorável sob o ponto de vista da inércia térmica, é uma solução difícil ou mesmo impossível de implementar em algumas das construções antigas, já que vai aumentar o seu perímetro exterior, sobrepondo-se por exemplo aos edifícios contíguos, quando estes são alinhados, ou às cantarias que orlam em muitos casos as fenestranças.

A partir de meados do século XX, com a generalização das estruturas porticadas de betão armado e do tijolo furado industrializado, este último passou a ter o papel preponderante na construção das paredes exteriores e mesmo interiores, substituindo os materiais tradicionais locais – como a pedra, o adobe ou a taipa. A introdução das lajes aligeiradas com abobadilhas de tijolo veio também substituir a madeira nas lajes de piso e coberturas, vindo trazer uma alteração radical dos sistemas construtivos das habitações, deixando de ser de peso misto (pedra ou outro material pesado nos elementos estruturais verticais e madeira nos restantes elementos), para se tornarem inteiramente pesados. O sistema construtivo mais comum atualmente utilizado em Portugal é o de pórticos de betão armado, lajes aligeiradas com abobadilhas de tijolo (com aproximadamente 300Kg/m^2 para um pavimento) e paredes em tijolo (com um peso próprio semelhante ao das lajes nas paredes exteriores). Pode-se concluir que o peso global dos edifícios hoje em dia é semelhante aos valores de há 100 anos atrás, contudo, apesar de algum incremento no desempenho estrutural e funcional, assistimos a uma regressão nas questões ambientais durante a fase de obra, pela diminuição ou mesmo impossibilidade de reutilização e reciclagem, já que os componentes são cada vez mais aderidos e não apenas justapostos, como nas construções vernaculares, ou fixos mecanicamente, como na generalidade das construções leves (Mendonça, 2005).

Ainda que os tijolos vazados e o betão armado sejam materiais de disponibilidade local no território português, a sua produção está muito centralizada. No caso do ferro e do cimento para o betão armado, o consumo energético associado à produção é bastante significativo na energia incorporada final, enquanto no caso do tijolo, a grande quantidade de material implica um grande consumo energético com o transporte.

Numa síntese da evolução das paredes exteriores em Portugal realizada por Hipólito Sousa (Sousa, 1996), a partir dos anos 50 pode ver-se a existência do tijolo furado em todas as soluções características das respetivas épocas. Nos anos 50 introduziram-se as paredes duplas de tijolo furado no pano interior e pedra ou tijolo maciço no pano exterior, mas sem isolamento na caixa-de-ar, conforme se representa na Figura 6(a). Nos anos 60 as paredes duplas passaram a ser totalmente de tijolo, com o tijolo de maior espessura no pano exterior. Nos anos 70 a qualidade regrediu e os panos passaram a ser ambos de reduzida ou média espessura (Figura 6(b)), ou mesmo panos simples, especialmente no Sul do país. Apenas nos anos 80 se volta a utilizar paredes duplas com alguma qualidade, nomeadamente com panos de maior espessura no exterior e materiais isolantes térmicos na caixa-de-ar (Figura 6(c)) que só passaram a ser regra com a entrada em vigor do primeiro Regulamento de Comportamento Térmico de Edifícios em 1990 (RCCTE 1990). As novas exigências regulamentares, associadas às revisões do RCCTE em 2006 (RCCTE 2006) e 2014 (REH 2014), com a implementação dum sistema de certificação energética, obrigaram à introdução de novas soluções, nomeadamente pela necessidade de melhor correção de pontes térmicas, sendo a solução ETIC (External Thermal Insulating System) com pano de tijolo simples a mais representativa (Figura 6(d)).

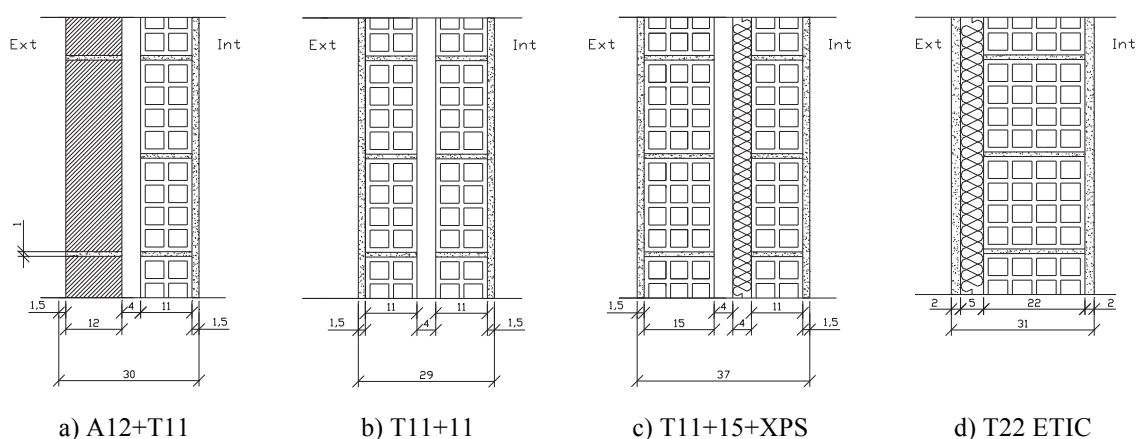


Figura 6 Secção tipo de paredes exteriores de alvenaria em tijolo: (a) dupla com alvenaria de pedra exterior; (b) dupla, sem isolamento térmico; (c) dupla, com isolamento térmico; (d) simples com isolamento exterior (sistema ETIC).

Antes dos anos 50 a solução mais comum de parede em Portugal era a de alvenaria maciça de granito (Figura 7(a)). A reabilitação deste tipo de solução conduz à introdução de isolamento pelo interior (geralmente combinada com solução de gesso laminado e estrutura de perfis de aço galvanizado formados a frio) (Figura 7(b)); ou à introdução de isolamento pelo exterior, normalmente através da solução de ETIC (Figura 7(c)) – esta última será preferível sob o ponto de vista funcional sempre que tal seja possível, uma vez que se preserva dessa forma a massa térmica. Uma solução comum no Norte de Portugal é a de parede dupla com pano em alvenaria de granito pelo exterior e pano de alvenaria de tijolo furado pelo interior com isolamento na caixa-de-ar (Figura 7(d)).

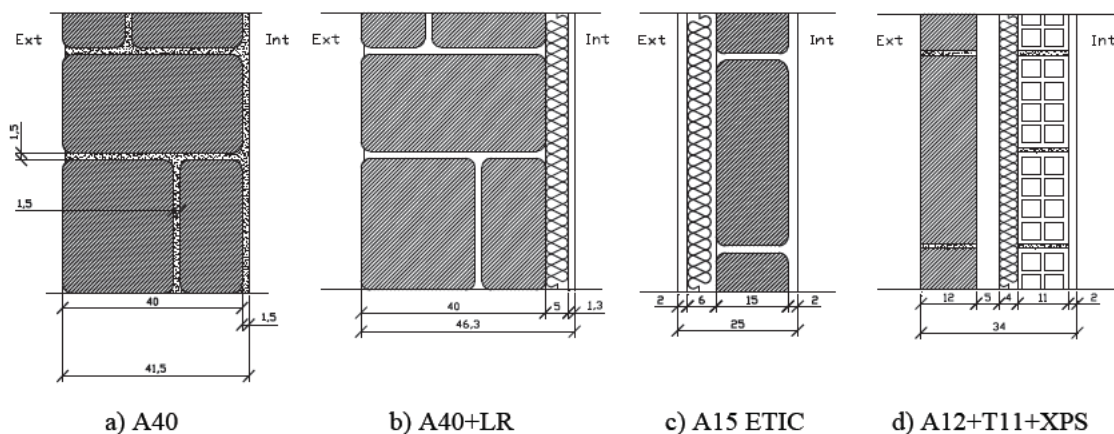


Figura 7 Secção tipo de paredes de alvenaria em pedra: (a) simples estrutural tradicional; (b) simples com isolamento interior; (c) simples com isolamento exterior (sistema ETIC); (d) dupla com pano interior em tijolo furado.

Na Tabela 4 apresenta-se uma síntese das propriedades com influência nos aspetos de conforto e impacto ambiental de alguns tipos de paredes exteriores em pedra e tijolo furado. O custo económico das soluções de pedra natural revela-se bastante superior ao das soluções de tijolo, no entanto o desempenho funcional das soluções de pedra com isolamento é equivalente ao das soluções de tijolo com isolamento. É importante referir que as soluções de pedra apresentadas podem ser utilizadas como soluções estruturais, permitindo dessa forma economizar nos elementos estruturais em betão armado, amortizando dessa forma a diferença de custo. Permitem também explorar acabamentos face-à-vista, o que pode constituir uma mais-valia e reduzir custos de manutenção.

Tabela 4. Síntese de propriedades das paredes analisadas (adaptado de (Mendonça 2005))

Designação	Composição	Isolamento Sonoro $D_{n,w}$ [dB(A)]	Coefficiente U [W/m ² . C]	Energia Incorporada EE [kWh/m ²]	Peso próprio [kg/m ²]	Massa superficial útil M_{si} [kg/m ²]	Custo económico [€/m ²]
A40	R1.5+A40	62	3,05	182	1118	150	111
A40+LR	G1.3+L5+A40	66	0,69	169	1053	11	122
A15 ETIC	R2 +A15+E6+R1	55	0,46	270	469	150	123
A12+T11	R2+T11+X5+J4+A12	52	0,57	498	451	150	118
T11+15+XPS	R2+T11+X4+J4+T15+R2	51	0,45	910	313	150	63
T22 ETIC	R2+T22+X5+R1	53	0,44	812	277	150	57

Nota: Na constituição de cada parede os números correspondem à espessura em cm e as letras ao material, indicado do interior para o exterior. Os materiais são os referidos na legenda seguinte:

A - Alvenaria de Granito	E - Poliestireno Expandido	G - Gesso Cartonado
J - Lâmina de ar	L - Lã de Rocha	R - Reboco
T - Tijolo Furado	X - Poliestireno Extrudido	

CASO DE ESTUDO

Em Portugal, a área total de fogos habitacionais licenciados tem vindo a diminuir nos últimos dez anos. Em 2012 foi de 2.788.317m², correspondendo a uma área média por fogo de 107m². As moradias correspondem a 90% dos fogos de habitação licenciados nesse ano. A área média de compartimentos habitáveis foi de 21,1m² em 2012 e, tal como em anos anteriores, a maioria das licenças de construção foram para construção nova, que representou 63,8% dos edifícios. Em 2011, a construção nova foi responsável por 64,2% e, em 2010, por 69,4%, o que mostra a tendência de queda da construção nova e a crescente importância da reabilitação (INE 2013).

Na Tabela 5 apresentam-se os indicadores ambientais considerados estimados por m² de área de pavimento útil de um edifício, utilizando diferentes tipos de parede. Este compartimento, com 20m² (correspondendo aproximadamente à área média de um compartimento habitável em Portugal, como

referido anteriormente) tem a intenção de representar uma moradia convencional localizada no litoral norte de Portugal, a área geográfica nacional com maior número de moradias novas construídas no ano de 2012 (aproximadamente 40% do total) (INE 2013). A metodologia considerada para este estudo encontra-se descrita em detalhe num estudo anterior do autor (Mendonça 2005).

No sentido de demonstrar as vantagens ambientais da utilização de materiais naturais ou pouco transformados (semelhantes a uma construção vernacular reabilitada para responder às exigências regulamentares contemporâneas) por contraponto à construção convencional com materiais industrializados, propôs-se um cenário hipotético, a substituição do tijolo em paredes exteriores em todas as construções de habitação nova em Portugal durante um ano (neste caso 2012) avaliando a possível economia em função de alguns indicadores de impacto ambiental (EE - energia incorporada, GWP - potencial de aquecimento global, AP - potencial de acidificação e COD - depleção química de oxigénio). Como se demonstra na Tabela 4, a solução proposta em alvenaria de pedra apresenta níveis de desempenho funcional equivalentes à solução de tijolo furado, ambas com isolamento exterior em EPS (sistema ETIC).

Tabela 5. Peso e Energia incorporada por m² de área útil de pavimento numa moradia convencional em Portugal (adaptado de (Mendonça 2005))

Materiais	B22	A20
	Tijolo furado	Granito
Peso (kg/m ² a.p.u.*)	3034	3332,1
EE (kWh/m ² a.p.u.*)	2187,6	1474,1 (-33%)
GWP** (g/m ² a.p.u.*)	392408,4	278947,4 (-29%)
AP*** (g/m ² a.p.u.*)	4603,0	3299,2 (-28%)
COD**** (g/m ² a.p.u.*)	13364,0	2281,7 (-83%)

* a.p.u.: área de pavimento útil; ** GWP – Potencial de aquecimento global em gramas de CO₂ equivalente; *** AP – Potencial de acidificação em gramas de SO₂; **** COD – Carência química de oxigénio em gramas de NO_x; (EE, GWP, AP e COD reference values adapted from (Berge 2009))

Pela análise da Tabela 5 pode-se concluir que a simples substituição de tijolo furado convencional por pedra natural nas paredes exteriores dos edifícios de habitação, à semelhança dum edifício vernacular reabilitado funcionalmente, permitiria uma redução de 33% na energia incorporada, 29% no potencial de aquecimento global, 28% no potencial de acidificação e 83% em depleção química de oxigénio.

CONCLUSÕES

A solução de alvenaria de granito com sistema ETIC revela-se perfeitamente adequada à regulamentação portuguesa, tanto em termos de desempenho energético como em termos de isolamento acústico. Tendo em conta os parâmetros ambientais considerados no caso de estudo apresentado, o sistema de parede exterior simples ETIC em alvenaria de pedra revela-se ambientalmente mais favorável do que a solução convencional de parede simples ETIC em tijolo furado. Considerando a área total de construção de habitação no norte de Portugal em 2012, a simples substituição do tijolo furado por pedra natural local nas paredes exteriores, mesmo mantendo inalterados todos os restantes materiais e sistemas construtivos, permitiria uma poupança anual de cerca de 2 TWh em energia incorporada, 315 mil toneladas de CO₂ equivalente em potencial de aquecimento global, 9,2 mil toneladas de SO₂ em potencial de acidificação e 3,6 mil toneladas de NO_x em depleção de oxigénio. A utilização de materiais com disponibilidade local em soluções construtivas pesadas e de mão-de-obra intensiva, permite economizar também em custo energético e ambiental associado com o transporte, continuando no entanto a beneficiar a economia local, não apenas através das indústrias locais de extração e produção de materiais, mas também nas atividades de construção propriamente ditas.

REFERENCIAS

- AAP. 1988 *Arquitetura Popular em Portugal*. Associação dos Arquitectos Portugueses. Lisboa.
- Berge, B. 2009. *The ecology of building materials*. Second edition. Architectural press, translated by Chris butters and Filip Henley. Oxford.
- Boden, T.; Marland, G. e Andres, R. 2010. *Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
- DGE 2011. *Estatísticas dos transportes 2010*. Consultado em 10/03/2013: http://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=127612804&att_display=n&att_download=y
- Dimson, B. 1996. *Principles and Challenges of Sustainable Design and Construction, Industry and Environment*. 19(2).
- INE. 2013. *Estatísticas da Construção e Habitação 2012*. Instituto Nacional de Estatística. Lisboa. Consultado em 14/01/2014: http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCQQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ine.pt%2Fngt_server%2Fattachfileu.jsp%3Flook_parentBoui%3D163128700%26att_display%3Dn%26att_download%3Dy&ei=nSkGVeeoB4KsUayQhJAE&usg=AFQjCNGYVbBacVLY2uxvPtQvhpRQOsUp3g&bvm=bv.88198703,d.d24
- Keesing, F. 1961. *Antropologia Cultural I*. Ed Fundo de Cultura. Rio de Janeiro.
- Mendonça, P. 2005. *Habitar sob uma segunda pele: Estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*. Tese de doutoramento em Engenharia Civil. Universidade do Minho. Guimarães.
- RCCTE. 1990. *Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios*; Decreto-Lei n.º 40/1990 de 6 de Fevereiro.
- RCCTE. 2006. *Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios*. Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril.
- REH. 2013. *Regulamento de desempenho Energético dos edifícios de Habitação*. Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto.
- Sousa, H. 1996. *Melhoria do Comportamento Térmico e Mecânico das Alvenarias por Actuação na Geometria dos Elementos - Aplicação a Blocos de Betão de Argila Expandida*. Tese de Doutoramento. FEUP. Porto.
- UNEP. 2007. *Buildings and Climate Change: Status, Challenges, and Opportunities*. United Nations Environmental Programme. Consultado em: <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DITix0916xPA-BuildingsClimate.pdf>
- USGS, 2014. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. Consultado em 14/01/2014: http://www.usgs.gov/energy_minerals

Organização



Universidade do Minho 1974-2014



Centro de Territórios
Ambiente e Construção

Apoio Institucional



Universidade do Minho
Escola de Engenharia



Universidade do Minho
Escola de Arquitectura



FUNDAÇÃO MANUEL
ANTÓNIO DA MOTA



OA SRN



iiSBE
PORTUGAL



CMM
CENTRO DE ESTUDOS E
DESENVOLVIMENTO DE
MATERIAIS E ESTRUTURAS



Projecto financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia com a referência EXPL/ECM-COM/1801/2013.



Fundação para a Ciência e a Tecnologia.
Ministério da Educação e Ciência



COMPETE
PROGRAMA OPERACIONAL FACTORES DE COMPETITIVIDADE



QREN
QUADRO DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007-2013



União Europeia

Fundo Europeu de
Desenvolvimento Regional

Patrocinadores

Diamante



Platina



Pure Inspiration.

Ouro



Parceiros de divulgação

