

Proceedings CLME2014 / IVCEM

7º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia / IV Congresso de Engenharia de Moçambique

Inhambane/Moçambique, 14-18 Abril 2014

Artigo Nº A073681

## O POTENCIAL DAS ESTRATÉGIAS DA ARQUITECTURA VERNÁCULA PORTUGUESA PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Jorge Fernandes<sup>1(\*)</sup>, Ricardo Mateus<sup>1</sup>, Luís Bragança<sup>1</sup>, José Júlio Correia da Silva<sup>2</sup>, Fernando Mota<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Minho, C-TAC, Guimarães, Portugal

<sup>2</sup>Universidade de Évora, Departamento de Engenharia Rural, Évora, Portugal

<sup>3</sup>Universidade do Minho, Departamento de Arquitectura, Guimarães, Portugal

(\*)Email: [jepfernandes@icloud.com](mailto:jepfernandes@icloud.com)

### RESUMO

*A arquitetura vernácula caracteriza-se por apresentar uma estreita relação com as condições dos locais onde se encontra inserida — clima, materiais, economia, cultura, entre outros. O contexto português é profuso nas manifestações arquitetónicas vernáculas e no leque de estratégias passivas usadas nas diferentes regiões para favorecer os efeitos benéficos do clima e para mitigar os efeitos nefastos do mesmo. As estratégias de adaptação ao meio envolvente presentes nestas construções, caracterizadas pela simplicidade, funcionamento passivo e reduzido impacto ambiental, são particularmente relevantes para os desafios que a construção contemporânea enfrenta, permitindo a redução da dependência em energia de fontes não-renováveis. Neste artigo é apresentado um conjunto de estratégias solares passivas usadas em edifícios vernáculos de duas zonas climáticas distintas - o Alto Alentejo e o Minho - e é avaliado o desempenho térmico dos mesmos durante as estações do ano às quais as estratégias pretendem responder. Do estudo é possível afirmar que as estratégias de arrefecimento passivo são eficazes para garantir as condições de conforto durante o verão sem o auxílio de sistemas mecânicos de climatização; e que a inércia térmica forte dos casos de estudo permite que as temperaturas interiores sejam mais estáveis que as exteriores.*

**Palavras-chave:** Arquitetura Vernácula, Construção Sustentável, Eficiência Energética, Climatização Passiva.

### 1. INTRODUÇÃO

A sociedade atual encontra-se num momento de mudança de paradigma, que alguns autores definiram como o início da revolução da sustentabilidade (Meadows *et al.* 1993). Os conceitos de eficiência energética e sustentabilidade tornaram-se incontornáveis no debate sobre o futuro da arquitetura e construção. Estas questões são particularmente relevantes quando o setor da construção é um dos maiores e mais ativos setores da economia mundial. No contexto europeu, a construção representa 28,1% e 7,5% do emprego, respetivamente na indústria e em toda a economia europeia (Pacheco-Torgal & Jalali 2012). Adicionalmente, o parque edificado representa cerca de 40% do consumo total de energia na União Europeia (EEE 2012). A nível mundial, no que concerne aos impactes ambientais, o setor da construção é responsável por cerca de um terço das emissões de carbono (Ürge-Vorsatz *et al.* 2007). Para mitigar estes impactes e para alcançar uma construção mais eficiente, a União Europeia estabeleceu, como objetivos de médio prazo, a redução de 50% no consumo de energia, a

redução de 30% nas matérias-primas e a redução de 40% na produção de resíduos (Pacheco-Torgal & Jalali 2012).

Para alcançar os objetivos supracitados é premente desenvolver formas de construir mais sustentáveis. Neste contexto, têm sido desenvolvidas várias ferramentas de avaliação da sustentabilidade na construção (*BSA - Building Sustainability Assessment*). Alguns estudos sobre estas ferramentas demonstraram que a eficiência energética é o parâmetro com maior relevância na avaliação global da sustentabilidade de um edifício (Forsberg & von Malmborg 2004; Haapio & Viitaniemi 2008). Por exemplo, de acordo com o sistema português de avaliação da sustentabilidade SBTTool<sup>PT</sup>, a categoria “Eficiência Energética” tem um peso de 32%, o mais elevado na avaliação do desempenho ambiental e o terceiro mais elevado na avaliação global da sustentabilidade de um edifício (Mateus & Bragança 2011). Adicionalmente, o consumo de energia é um elemento-chave nos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos edifícios, principalmente durante a fase de utilização (Passer *et al.* 2012).

Neste sentido, a arquitetura vernácula é um tipo de construção que importa analisar, já que as estratégias que são agora a base da construção sustentável derivam de aspetos e características deste tipo de arquitetura (Cardinale *et al.* 2013). O foco na eficiência energética (em detrimento de outras categorias de sustentabilidade) é particularmente relevante já que na longa evolução das construções vernáculas foram desenvolvidas estratégias pragmáticas de adaptação ao meio envolvente e de profunda racionalização dos recursos disponíveis (Ribeiro 2008). Nestas construções, as medidas passivas eram primordiais para mitigar os efeitos do clima e assegurar as condições de conforto (Vural *et al.* 2007), o que se refletiu regionalmente em distintas formas arquitetónicas (Lau *et al.* 2007; Singh *et al.* 2009).

Numa época de globalização que contribui para uma homogeneização das culturas e, por consequência, dos modos de construir associados (Ribeiro 2008), a arquitetura vernácula afirma-se cada vez mais como um elemento-chave para o reatar da discussão sobre a identidade e a pertinência de se voltar a uma construção intrínseca ao lugar. Neste tema é consensual a necessidade de procurar nestas construções do passado os princípios que suportem o desenvolvimento sustentável, em que a utilização das técnicas vernáculas e materiais locais na conceção de edifícios, desenvolvidos na necessidade de adaptação a um território e clima específicos, contribuirá para a redução do desperdício, dos consumos energéticos e consequentemente das emissões de carbono, entre outros impactos ambientais (Kimura 1994; Gallo 1994; Coch 1998; Machado *et al.* 2000; Cañas & Martín 2004; Singh *et al.* 2011). As estratégias de adaptação ao meio envolvente presentes nestas construções, caracterizadas pela simplicidade, funcionamento passivo e reduzido impacto ambiental, são particularmente relevantes para os desafios que a construção contemporânea enfrenta. O estudo e valorização do património vernáculo, e do conhecimento a si inerente, contribuirá não só para a sua preservação mas também para a dinamização das economias locais (Conselho da Europa 1989; ICOMOS 1999; MEDA-CORPUS 2011).

## **2. O POTENCIAL DAS ESTRATÉGIAS VERNÁCULAS PARA A OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS**

A arquitetura vernácula é um dos mais significativos e marcantes aspetos da intervenção humana na paisagem, em que, na sua pluralidade de tipos, se manifestam diversos condicionalismos – geográficos, económicos, sociais, históricos e culturais – dos locais e dos grupos populacionais que as constroem e habitam (Oliveira & Galhano 1992; Coch 1998; Engin *et al.* 2007). Estas implicações traduzem-se numa diferenciação regional pela utilização

de materiais e técnicas locais, pela adaptação às especificidades climáticas, aos costumes da comunidade e respetiva atividade económica (Oliveira & Galhano 1992; Vural *et al.* 2007; Cerqueira 2005).

Após um período de abandono dos saberes inerentes a este tipo de construção, este volta a despertar interesse por apresentar uma relação estreita entre o que se define atualmente como as três dimensões da sustentabilidade (economia, sociedade e ambiente). Este tipo de arquitetura, moldada por múltiplos constrangimentos, era pautado pela racionalização e otimização dos recursos disponíveis. Nada era desperdiçado, preterido ou ignorado porque as comunidades tinham a noção, por via empírica, que o seu bem-estar dependia intrinsecamente da harmonia com o meio envolvente (Ribeiro 2008). Por estes motivos, o conhecimento inerente a este tipo de arquitetura continua a suscitar interesse a nível nacional e internacional, surgindo atualmente associado ao conceito de sustentabilidade e à consciência da necessidade de promoção de uma construção sustentável (Cañas & Martín 2004; Ribeiro 2008; Singh, Mahapatra & Atreya 2010; Foruzanmehr & Vellinga 2011).

A pertinência do tema é visível na multiplicidade de estudos que têm sido conduzidos em diferentes pontos do mundo com o objetivo de provar cientificamente que as estratégias vernáculas são relevantes e viáveis hoje. Apesar da diversidade dos estudos, há um enfoque na discussão das vantagens e da eficácia do uso das estratégias solares passivas vernáculas para a otimização energética dos edifícios, como são exemplo os trabalhos desenvolvidos por Kimura (1994), Cañas & Martín (2004), Martín *et al.* (2010), Engin *et al.* (2007), Singh *et al.* (2009; 2010; 2010; 2011), Zhai & Previtali (2010), Dili *et al.* (2010), Shanthi Priya *et al.* (2012) ou Cardinale *et al.* (2013).

Destes estudos realça-se que, apesar da sua origem geográfica, apresentam conclusões similares, das quais se destaca que: i) nas avaliações de desempenho térmico e energético, as construções vernáculas conseguem garantir as condições de conforto durante a maior parte do ano apenas com recurso a meios passivos de climatização, várias vezes com vantagem sobre as construções recentes (Kimura 1994; Sayigh & Marafia 1998; Martín *et al.* 2010; Singh, Mahapatra & Atreya 2010; Cardinale *et al.* 2013; Dili *et al.* 2010; Shanthi Priya *et al.* 2012); ii) as soluções vernáculas apresentam uma boa correspondência com os constrangimentos do clima e a maioria das estratégias solares passivas dos edifícios analisados ajudam a reduzir as necessidades de energia, o que contribui para que este tipo de arquitetura seja menos intensivo em energia e apresente melhor desempenho ambiental (Cañas & Martín 2004; Singh *et al.* 2009); iii) as condicionantes locais são fatores primordiais na determinação e materialização das estratégias bioclimáticas na resposta a um clima específico, o que revela a importância das especificidades locais para a construção contemporânea, nomeadamente no âmbito da sustentabilidade em geral e da eficiência energética em particular (Cañas & Martín 2004; Singh *et al.* 2011; Shanthi Priya *et al.* 2012); iv) a implementação de modelos formais de construção desarraigados do contexto, como os modelos de cariz universal da arquitetura modernista, pode resultar não só na degradação do conhecimento sobre as técnicas tradicionais como também, pela inadequação dos sistemas construtivos a requisitos específicos do clima, em elevados consumos de energia para garantir as condições de conforto nesses edifícios (Sayigh & Marafia 1998; Kimura 1994; Dili *et al.* 2010).

Em suma, as estratégias presentes nas várias manifestações de arquitetura vernácula apresentam potencial de contribuir para melhorar a eficiência energética dos edifícios, onde as especificidades de cada local devem assumir particular relevância. No entanto, a definição do futuro da arquitetura e construção deverá procurar integrar a tradição com a modernidade, pois ignorar todo o conhecimento e potencial tecnológico existente atualmente seria um erro,

quando se visa atingir edifícios de elevado desempenho (Abalos 2009; Leatherbarrow & Wesley 2009).

### **3. O CASO DA ARQUITETURA VERNÁCULA PORTUGUESA**

A arquitetura vernácula, conforme demonstrado nos capítulos anteriores, pode conter um contributo na resposta aos desafios de sustentabilidade da sociedade atual, já que é um tipo de construção modelada pragmaticamente pela escassez de recursos, sendo o paradigma da estreita relação com condições específicas de cada local. O caso de Portugal não é exceção, pois a pluralidade do território continental e insular, com múltiplas assimetrias geográficas e climáticas, originou uma profusa variedade de manifestações de arquitetura vernácula. A sua diferenciação regional expressa-se na utilização dos materiais e técnicas locais, na adaptação ao clima envolvente e à atividade económica das famílias (Oliveira & Galhano 1992). Não foi aleatória a forma como se cunharam as diferenças, por exemplo, entre a casa minhota e a do interior alentejano, ou mesmo entre as habitações de ilhas do mesmo arquipélago.

No estudo recentemente desenvolvido sobre o contributo da arquitetura vernácula portuguesa para a sustentabilidade dos edifícios (Fernandes 2012), realizado com base nos vários levantamentos à arquitetura popular em Portugal (AAVV 1980; Oliveira & Galhano 1992; Mestre 2002; AAVV 2007), são identificados vários princípios de sustentabilidade presentes nestas construções como: i) gestão do território em função das aptidões, i.e., edificação nas zonas menos férteis e adequação das culturas agrícolas ao solo e ao clima; ii) gestão eficiente dos recursos; iii) uso de materiais e técnicas locais; iv) utilização de recursos renováveis, tanto pela utilização de materiais de origem vegetal, como pela utilização de engenhos para aproveitamento da energia potencial do vento, cursos de água e marés; v) recolha e aproveitamento de águas pluviais; vi) estratégias solares passivas para climatização; entre outras. Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que os princípios de sustentabilidade e as estratégias existentes na arquitetura vernácula portuguesa, pela sua simplicidade e pragmatismo, possuem um grande potencial para serem consideradas, tanto na conceção de novos edifícios como em operações de reabilitação.

#### **3.1 Objetivos do estudo**

Os estudos sobre a arquitetura vernácula portuguesa são na sua maioria análises qualitativas, pelo que há um hiato de dados quantitativos sobre o desempenho térmico deste tipo de edifícios nas diferentes zonas climáticas. Não obstante, a análise e interpretação dos dados disponíveis para outros países europeus indicam que algumas estratégias da arquitetura vernácula portuguesa podem ser eficazes e ter potencial de aplicação nos edifícios contemporâneos. O estudo apresentado neste artigo tem como objetivo fazer uma abordagem à análise quantitativa de dois casos de estudo localizados em diferentes zonas climáticas, avaliando o perfil da temperatura e humidade relativa do ar.

#### **3.2 Descrição dos casos de estudo**

Caso de estudo 1 — O edifício em estudo encontra-se implantado em Évora, cidade localizada no interior sul de Portugal, província do Alto Alentejo (latitude 38°34'N, longitude 7°54'W). O seu clima é temperado mediterrânico, quente e seco durante o Verão, com temperaturas muito altas durante Julho e Agosto (com máximas entre os 35°C e os 40°C, atingindo-se, por vezes, os 45°C). No interior do Alentejo, a média de precipitação é da ordem dos 500 mm e tem grande variabilidade de ano para ano. Em Julho e Agosto o tempo é seco

sendo raras as chuvas. Por forma a mitigar os efeitos do clima da região eram aplicadas nos edifícios técnicas como: a caição a branco das paredes (interior e exterior), vãos de reduzida dimensão, paredes com forte inércia térmica e os pátios interiores.

O edifício monitorizado está localizado no centro histórico de Évora e foi selecionado para o estudo porque é um bom exemplo do uso de estratégias vernáculas de arrefecimento passivo. O edifício desenvolve-se na forma de L e em dois pisos, estando as fachadas voltadas para o pátio orientadas para SE e SW (Figura 1). O edifício e o pátio apresentam uma rotação de cerca de 45° em relação aos pontos cardeais, o que permite que durante o período de inverno o edifício tenha ganhos solares em todos os alçados e que durante o verão sejam reduzidos os ganhos solares excessivos pelas envolventes orientadas para o quadrante sul. O edifício desenvolve-se em dois pisos com uma área total aproximada de 900m<sup>2</sup>: no piso inferior situam-se a cozinha, um quarto e vários arrumos; no piso superior situam-se a sala de estar e outros quartos. A espessura média das paredes exteriores é de cerca de 70 cm.



Figura 1. (esquerda) Planta do piso térreo com a posição dos equipamentos de medição; (direita) vista do pátio.

Caso de estudo 2 — O edifício em estudo localiza-se no concelho de Braga, na província do Minho, na área noroeste de Portugal continental (latitude 41°33'N, longitude 8°26'W). Esta região é caracterizada por um clima atlântico temperado. A normal climatológica apresenta um período de inverno com as temperaturas mais baixas durante o mês de janeiro, com a temperatura média mínima e máxima de 4.3 e 13.7°C, respetivamente; a precipitação é elevada durante os meses de outono e inverno com a máxima a ser registada durante dezembro, com o valor médio total de 220mm (IPMA n.d.). O período de verão é seco e suave, com a temperatura média mínima e máxima durante o mês de agosto de 14.7 e 28°C, respetivamente; a precipitação é reduzida durante os meses de verão, com o valor médio total mais baixo a ser registado durante julho (22mm) (IPMA n.d.).

O edifício data de 1886 (inscrição na padieira do portal principal) mas apresenta marcas visíveis de algumas de obras de alteração, com mais de 50 anos, que se revelam no aparelho das pedras ou na descontinuidade das paredes. Este caso de estudo encontra-se habitado e desempenha, apesar de menos intensamente, as atividades de Casa de Lavoura. Arrendado desde 1967, o edifício não foi alvo de grandes obras de melhoramento, reduzindo-se as mesmas a trabalhos de manutenção e recuperação de partes do telhado. Mantêm-se, portanto, as técnicas e materiais de construção iniciais, quase sem alteração.

A implantação do edifício localiza-se numa zona da propriedade com afloramentos graníticos, onde não era possível o desenvolvimento da atividade agrícola. O edifício desenvolve-se na longitudinal e em dois pisos, estando as fachadas de maior área orientadas no sentido NW-SE



(Figura 2). O piso inferior, parcialmente enterrado, é destinado aos espaços de apoio à atividade agrícola, nomeadamente às cortes dos animais, adega e outros arrumos; no piso superior, sobradado, localizam-se a cozinha, os quartos, a varanda e o que os habitantes designam de varandão — que funciona como sequeiro ou espaço de arrumos sobre as cortes dos animais.

As envolventes opacas verticais são em alvenaria de granito sem reboco na face exterior, exceto na zona da varanda e do alpendre. No interior são apenas rebocadas na área da cozinha e dos dois quartos. A envolvente horizontal é em telha cerâmica sobre suporte de madeira, com forro de madeira no piso superior e sem forro na cozinha na área da lareira e do forno, permitindo que o fumo se dissipe por entre as telhas e por duas aberturas realizadas para o efeito. A madeira utilizada no suporte do telhado é de eucalipto, que substituiu os barrotes de carvalho aquando das obras de manutenção. O piso sobradado é em madeira de pinho suportado por barrotes de carvalho. Quase todos os materiais são de aprovisionamento local.

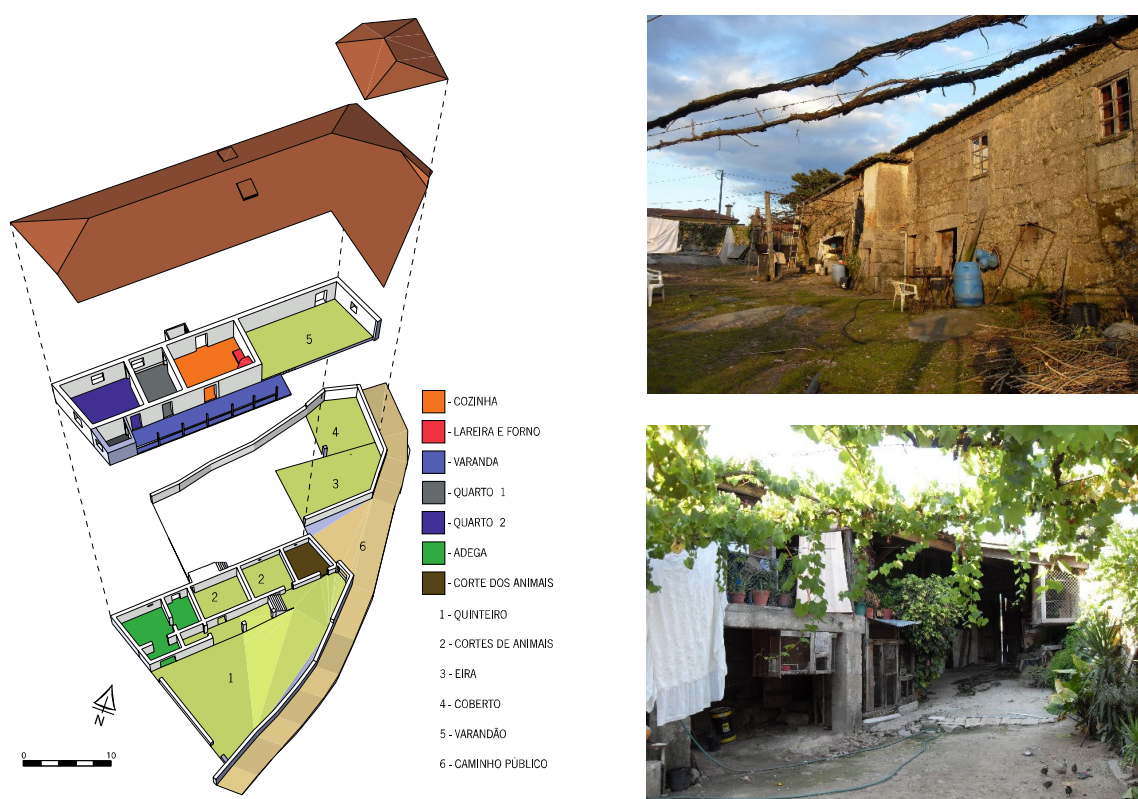


Figura 2. (esquerda) Esquema da organização espacial do edifício; (direita – superior) vista do alçado noroeste; (direita – inferior) vista do quinteiro

### 3.3 Metodologia e equipamentos

Para se perceber a influência das estratégias passivas no controlo da temperatura e humidade dos espaços interiores, foram conduzidas medições experimentais *in situ*. Foram quantificados dois parâmetros físicos: temperatura do ar (°C) e humidade relativa (RH%).

Para este propósito foram usados equipamentos que possuem um sensor interno de medição concomitante da temperatura e humidade relativa do ar. O equipamento possui um alcance de medição de -35 a 70°C e uma precisão de  $\pm 0.9^\circ\text{C}$ . Os registos efetuados pelos equipamentos foram posteriormente descarregados para um computador.

No caso de estudo 1, foram realizadas medições da temperatura do ar e humidade relativa no interior e exterior do edifício, nomeadamente, no pátio, na cozinha (espaço adjacente ao pátio) e no quarto do piso inferior. As medições foram conduzidas de forma contínua durante o período entre 17 e 26 de julho de 2007; os dados dos sensores foram registados em intervalos de 15 minutos. Os dados secundários para o mesmo período do estudo foram obtidos junto do Centro de Geofísica da Universidade de Évora.

No caso de estudo 2, foram também realizadas medições da temperatura e humidade relativa do ar (interior e exterior) nos seguintes espaços do edifício: cozinha, dois quartos, varanda, adegas, uma corte de animais e no exterior. Foram realizadas duas monitorizações, uma durante a primavera (entre 21 e 29 de Abril de 2012) e outra durante o verão (entre 8 e 15 de julho de 2012). Em ambas os dados dos sensores foram registados em intervalos de 30 minutos.

### **3.4 Apresentação e análise dos resultados**

Caso de estudo 1 — Neste estudo realizou-se uma análise quantitativa da influência das estratégias de arrefecimento passivo, usadas frequentemente na arquitetura vernácula alentejana, na variação da temperatura e humidade relativa no interior do edifício. Analisando os resultados obtidos é possível verificar que a temperatura interior, tanto na cozinha como no quarto, permanece quase constante ao longo de todo o dia e dentro da zona de conforto, enquanto no pátio a temperatura do ar regista grandes variações ao longo do dia (Figura 3). A forte inércia térmica das envolventes do edifício é uma das explicações mais plausíveis para este fenómeno. No entanto, a presença abundante de vegetação no pátio também contribui para redução de ganhos diretos de calor pelas envolventes, providenciando o sombreamento das paredes do edifício. Para compreender melhor a influência das estratégias de arrefecimento passivo estabeleceu-se a comparação com a temperatura e humidade relativa registadas no centro da cidade para o mesmo período de tempo. Comparando todas estas variáveis verifica-se não só a importância da forte inércia térmica das envolventes do edifício, mas também do pátio por reduzir a temperatura exterior do ar na zona envolvente do edifício. Dos dados registados é possível verificar que durante o dia a temperatura no pátio é sempre mais baixa que no centro da cidade, chegando a diferença a ser de 9°C (Figura 3). A explicação possível para que no pátio se registem temperaturas sempre inferiores é a presença abundante de vegetação, que minimiza o efeito de ilha de calor e promove o aumento da humidade do ar por evapotranspiração das plantas e a presença de uma fonte com água que promove o arrefecimento evaporativo, aumentando a humidade relativa e diminuindo a temperatura. Devido ao facto das temperaturas registadas no pátio serem sempre durante o dia inferiores às do centro da cidade, particularmente nos picos de calor, pode-se concluir que esta estratégia permitiu também atrasar os picos de calor entre o pátio e o centro da cidade entre 90 a 150 minutos.

Analisando o gráfico da Figura 4 é possível verificar que os estes atrasos entre os picos de calor coincidem com períodos em que a humidade relativa é maior e a temperatura inferior às registadas no centro da cidade. Há grandes flutuações na humidade relativa exterior entre o dia e a noite. Durante o período diurno, no centro da cidade, a humidade relativa atinge um mínimo de 20% quando a temperatura é máxima e de cerca de 40°C. Para o mesmo período, no pátio, a humidade relativa é cerca de 30% e a temperatura de cerca de 30°C (ver Figuras 3 e 4). A razão possível para explicar a temperatura mais baixa no pátio é a presença abundante de vegetação existente. Outra razão plausível para este fenómeno é que o ar frio e húmido, e consequentemente mais denso, permanece no pátio durante as primeiras horas do dia até

começar a ser aquecido pelo sol. Neste espaço confinado, o ar leva mais tempo a aquecer que o ar no centro da cidade, pelo que os valores da temperatura permanecem sempre inferiores e os da humidade relativa superiores aos do centro da cidade nos períodos mais quentes.

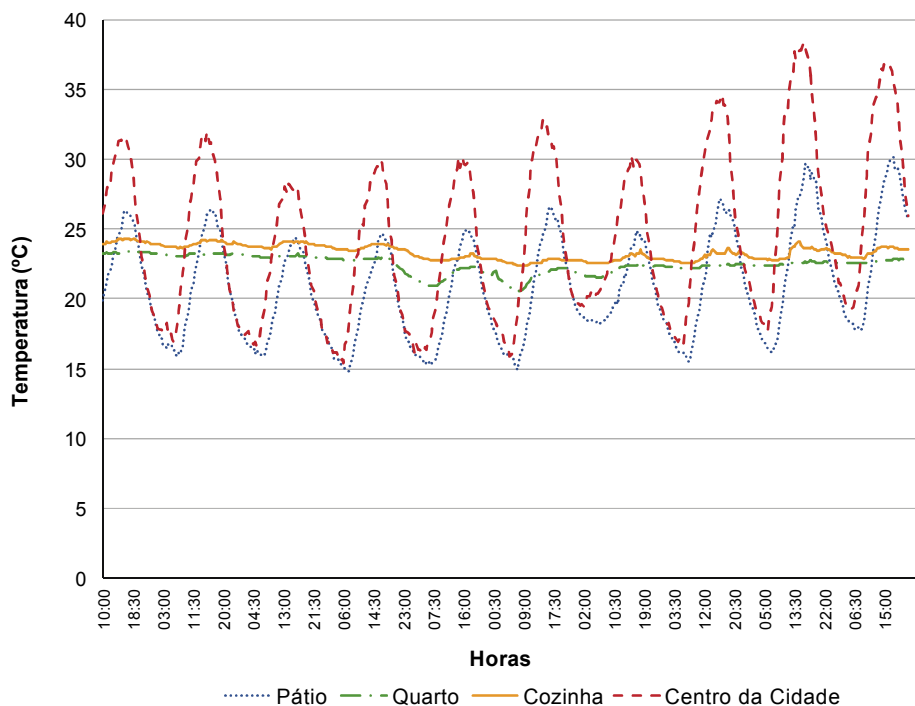


Figura 3. Gráfico do perfil da temperatura do ar — caso de estudo 1

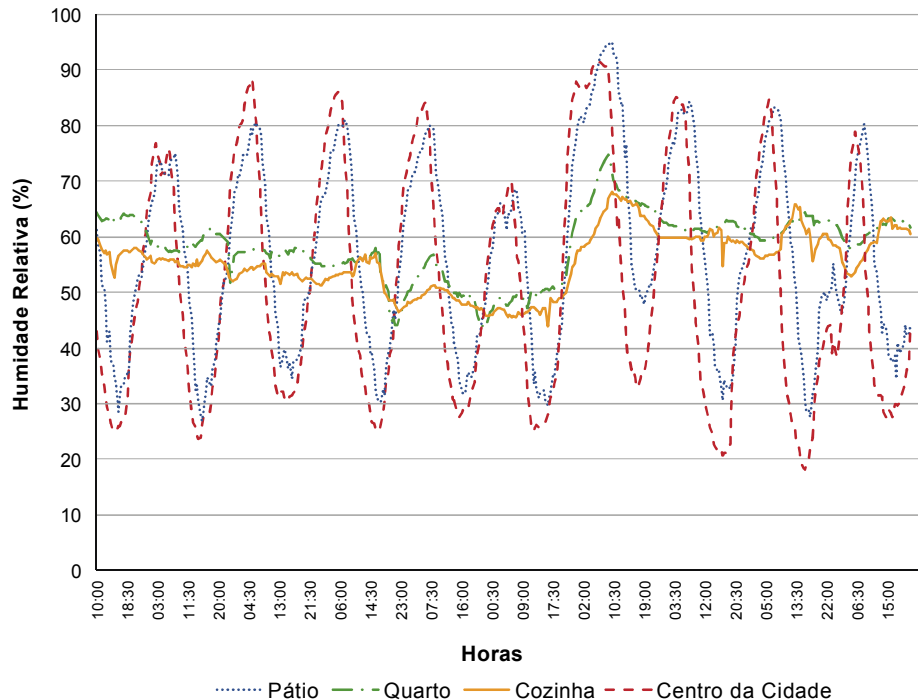


Figura 4. Gráfico do perfil da humidade relativa — caso de estudo 1

No que concerne à humidade relativa interior verifica-se que esta apresenta variações ligeiras ao longo do dia numa média que ronda os 50% (Figura 4), a mais adequada para o conforto humano (Morton 2008). A diferença entre a humidade relativa no interior e no exterior pode ser explicada pelo uso de determinados materiais de acabamento, como os rebocos de cal em



paredes e tetos, que normalmente possuem uma espessura média de 3cm. Este material devido à sua inércia higroscópica é um bom regulador da humidade do ar (Berge 2009), ou seja, absorve humidade do ar envolvente para depois a libertar quando o ar está menos húmido.

Pelos resultados obtidos neste estudo é possível afirmar que, para o período de verão, as estratégias vernáculas de arrefecimento passivo estudadas apresentam um grande potencial para reduzir as necessidades de energia em sistemas ativos de climatização.

## Caso de estudo 2

### a) Monitorização de primavera

Numa observação geral dos resultados é possível observar que as temperaturas dos espaços interiores têm amplitudes médias diárias de aproximadamente 5°C quando no exterior estas são de aproximadamente 15°C (Figura 5). Isto demonstra alguma capacidade de estabilização da temperatura interior, devendo-se à forte inércia térmica das paredes em alvenaria de granito. A influência da inércia térmica das envolventes na temperatura interior é visível nos desfasamentos entre os picos de temperaturas, mínimas e máximas, registadas no interior e no exterior. Nos últimos três dias de monitorização é de notar a estabilização dos registos interiores, uma vez que no exterior a temperatura raramente ultrapassou o registado no interior, estando quase sempre abaixo. É de salientar que durante este período não se encontrava em funcionamento no interior do edifício qualquer sistema de aquecimento.

As temperaturas dos compartimentos interiores rondam os 20°C nos primeiros seis dias de monitorização, o que pode considerar-se confortável para a época do ano, mas estas são suportadas por variações no exterior que têm como temperatura média aproximada os mesmos 20°C. Quando a temperatura exterior desce, passando para uma temperatura média de aproximadamente 13°C, a tendência registada foi a da temperatura interior aproximar-se da exterior, neste caso já ligeiramente abaixo da temperatura de conforto consideradas temperaturas de conforto (18°C-25°C). No entanto, neste período em que a temperatura foi mais baixa a temperatura interior esteve ligeiramente acima (Figura 5). Na grande maioria dos dias, a temperatura registada nos espaços esteve durante o dia abaixo e durante a noite acima da registada no exterior.

A implantação do edifício permite, pela boa orientação solar, que todas as fachadas tenham ganhos solares ao longo do dia. Um indicador destes ganhos é a variação da temperatura registada nos quartos. No quarto 2, com duas empenas em contacto com exterior, e com vãos em ambas, a temperatura é durante o dia superior à do quarto 1 (apenas com um vão), enquanto durante a noite tem uma temperatura inferior ou equivalente (Figura 5). Este fenómeno deve-se ao facto de dispor de maior área de superfícies expostas à radiação solar direta, benéfico durante o dia e que permite compensar a maior área de perdas de calor durante a noite. Isto verifica-se em dias soalheiros, enquanto nos dias de sol encoberto a temperatura nos dois quartos é similar.

A cozinha, sendo o espaço social da casa, é também onde está presente o fogo, gerado a partir da lenha, que neste caso é utilizado principalmente para a preparação das refeições. Esta contribui inevitavelmente para o aquecimento do compartimento, sendo este o que apresenta o pico de temperatura mais elevada de todos os espaços interiores. Contudo, é também neste em que a temperatura desce de forma mais abrupta. A descida rápida da temperatura na cozinha poderá estar diretamente ligada à forte ventilação do espaço. O escape por entre as telhas do fumo da lareira e forno é necessário para manter a qualidade do ar, mas esta ventilação contribui, por ser excessiva, para a rápida diminuição da temperatura quando o fogo não está

ativo, levando a que em poucas horas a cozinha passe do registo de temperatura interior mais elevada para o de temperatura mais baixa. Isto acontece sempre à noite quando a temperatura exterior é mais baixa (Ver Figura 5).

Nos quartos, a variação mais lenta da temperatura deve-se provavelmente à existência de um forro de madeira no teto, que diminui consideravelmente a renovação do ar nestes espaços.

Na adega, a temperatura regista ligeiras variações, adequada à conservação do vinho. O reduzido número de vãos, necessários apenas para proporcionar circulação mínima do ar e iluminação, em conjunto com a forte inércia térmica das paredes de granito são dois fatores responsáveis por esta constância. Na corte dos animais a temperatura também é mais estável que no exterior, registando-se variações na ordem dos 5°C quando no exterior existem variações de 14°C entre dia e noite. A humidade relativa neste espaço é quase sempre superior à exterior. Este fenómeno deve-se provavelmente ao facto da casa assentar na rocha e de esta definir o piso e paredes de parte da corte, o que torna o espaço muito húmido onde, por vezes, a água nasce da rocha.

Na generalidade, a humidade relativa apresenta grandes oscilações em todos os espaços sendo ligeiramente menos acentuadas no interior. Durante o dia, a humidade relativa na cozinha é aproximadamente igual à registada no exterior enquanto durante a noite é significativamente inferior (Figura 5). Este facto pode resultar da utilização da lareira ou do fogão a lenha durante a noite e do seu contributo para a redução da humidade do ar neste espaço. Nos restantes espaços interiores as variações são aproximadamente entre 45% e 65% (nos limiares das condições de conforto de salubridade) quando no exterior se registaram variações entre 35% e 80%.

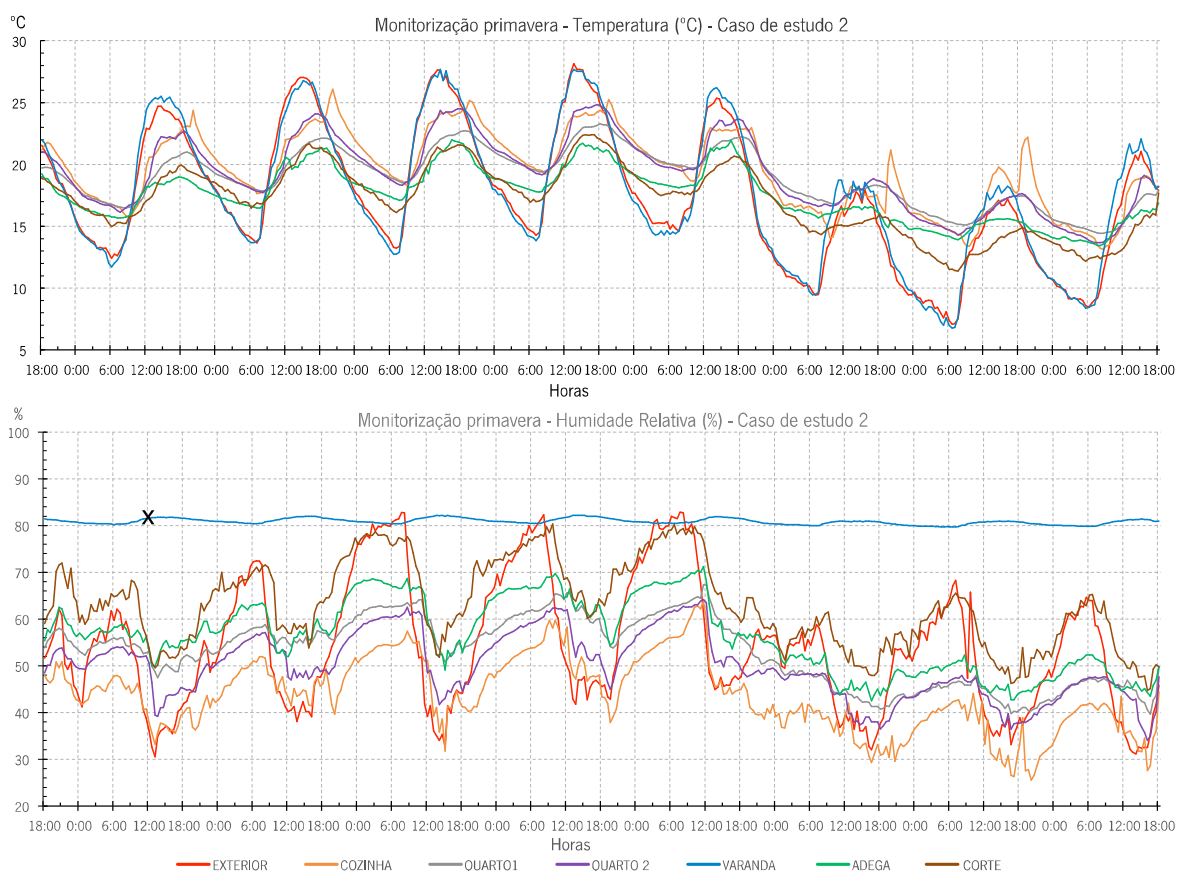


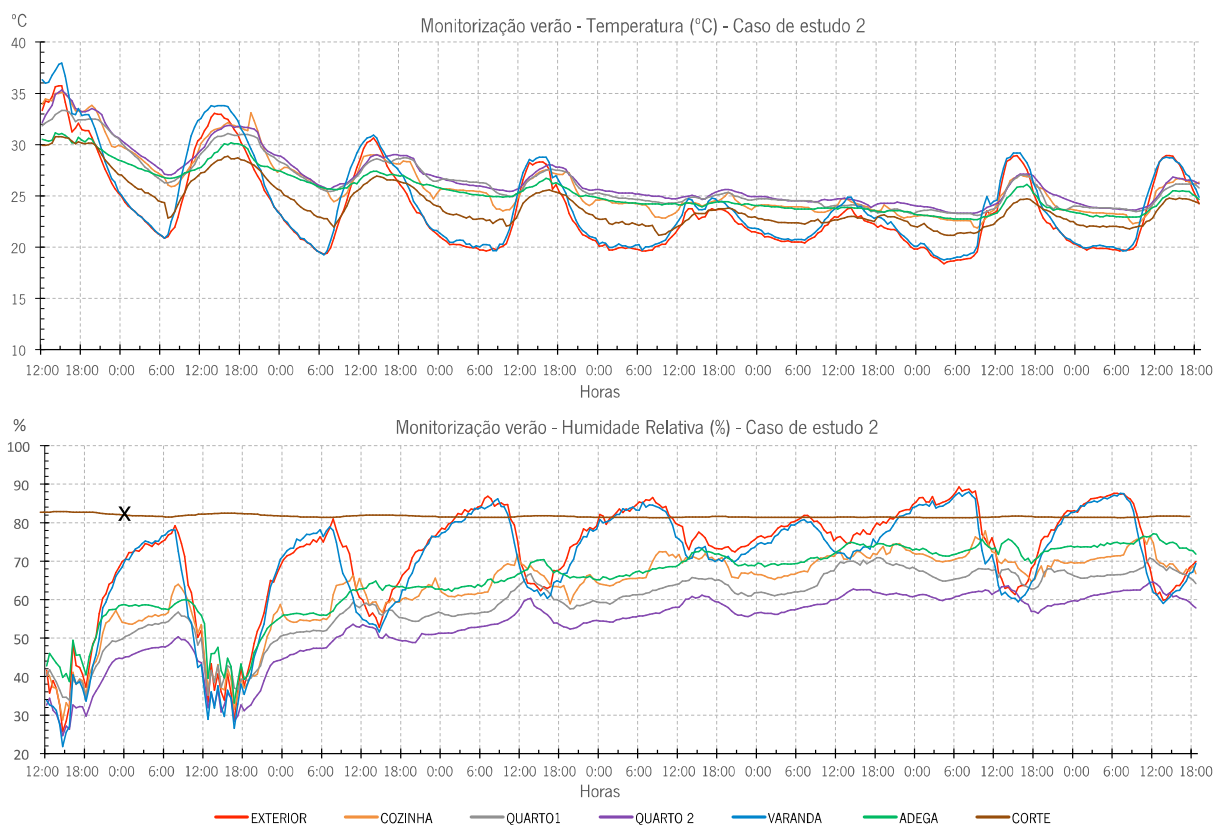
Figura 5. Gráficos dos perfis de temperatura e humidade relativa: monitorização primavera – caso de estudo 2

## b) Monitorização de verão

A monitorização durante o período de verão coincidiu com alguns dias em que as temperaturas registadas foram um pouco altas para a região, ultrapassando durante alguns dias os 30°C, chegando a máxima a ser de 37°C. Os ganhos solares pelos vãos envidraçados, que na primeira monitorização são evidentes, no verão já não o são uma vez que as temperaturas registadas nos dois quartos são muito similares. Isto deve-se ao comportamento dos habitantes que fecham durante o dia as portadas interiores dos quartos, evitando assim os ganhos solares excessivos. Este ato demonstra que o comportamento dos ocupantes é fundamental para o desempenho térmico das habitações.

Apesar do comportamento dos ocupantes para a mitigar o calor, os valores da temperatura interior foi em média de cerca de 25°C. Nos primeiros dias de monitorização a máxima registada no interior atingiu os 35°C, bastante acima do limiar do conforto para a estação (Figura 6).

Os dois compartimentos com a temperatura mais baixa são a corte dos animais e a adega, os que possuem menos aberturas e maior inércia térmica das envolventes. A corte apresenta a temperatura mais baixa de todos os compartimentos, provavelmente por estar posicionada na parte norte da casa onde praticamente não tem exposição solar e está protegida por todos os lados. No caso da adega as variações interiores são na ordem dos 5°C entre dia e noite quando no exterior se registou uma variação de 13°C, mas mesmo assim a temperatura interior manteve-se acima dos 25°C (Figura 6).



Nota: os valores de humidade relativa assinalados com um X não são válidos devido a falha técnica do equipamento de medição.

Figura 6. Gráficos dos perfis de temperatura e humidade relativa: monitorização de verão – caso de estudo 2

Na cozinha, a temperatura do espaço é influenciada pela taxa de ventilação natural proporcionado pelas aberturas para evacuação do fumo. Dos dados registados é possível concluir que os hábitos de abertura de portas e janelas influenciam a temperatura interior deste espaço. Às 9h da manhã a provável abertura da porta, e conseqüente aumento da ventilação, faz com que a temperatura da cozinha perca rapidamente cerca de 2°C, depois recuperados com o aumento da temperatura exterior. Às 23h verifica-se o inverso, ou seja, ao fechar a porta a temperatura interrompe a tendência de descida e começa a subir, provavelmente devido à inercia térmica das paredes e ao calor residual do fogão a lenha utilizado na confeção do jantar, para depois descer mais lentamente (Figura 6).

A partir do quinto dia de monitorizações é possível observar uma estabilização das temperaturas interiores na ordem dos 25°C. No entanto, a temperatura exterior raramente ultrapassou este valor, demonstrando com isto que a energia térmica acumulada nas paredes ao longo dos dias anteriores permitiu que as temperaturas interiores se mantivessem altas mesmo quando no exterior estas oscilavam em registos abaixo.

Na análise dos resultados obtidos para a humidade relativa observam-se grandes oscilações nos dados registados no exterior, enquanto no interior, apesar do aumento progressivo ao longo dos dias, é mais estável. Contudo, os valores para as divisões interiores, em particular as do piso superior, são elevados.

#### **4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES**

A arquitetura vernácula é o paradigma da estreita relação com as condicionantes locais. As estratégias passivas utilizadas ao longo de gerações para mitigar os efeitos do clima são particularmente relevantes para os desafios que a construção contemporânea enfrenta. Neste âmbito, Portugal não é exceção; pois existe um vasto leque de diferentes manifestações arquitetónicas vernáculas, o que representa um bom caso de estudo neste campo de investigação.

As estratégias apresentadas neste artigo, devido à sua simplicidade e pragmatismo, apresentam grande potencial de aplicação, tanto na reabilitação de edifícios como na construção nova. Por exemplo, as estratégias de arrefecimento passivo utilizadas no sul do país, como demonstrado no caso de estudo em Évora, são simples de implementar e podem melhorar as condições de conforto dos edifícios durante o verão apenas por meios passivos. Neste caso foi possível verificar que a temperatura interior chegou a ser 9°C inferior ao pico de temperatura exterior, o que significa que estas estratégias vernáculas têm potencial de reduzir as necessidades de energia para arrefecimento e a necessidade de utilizar sistemas mecânicos de climatização. No caso de estudo em Braga, provavelmente porque o clima é mais temperado, a eficácia das estratégias passivas não é tão visível. No entanto, neste caso é possível verificar que a forte inércia térmica das envolventes, a correta orientação dos edifícios e a organização dos espaços interiores, permitem que a temperatura no interior seja sempre mais estável que a exterior. Neste caso, o uso de uma fonte de calor, como uma lareira, permite que durante os dias mais frios se consigam atingir as temperaturas de conforto.

Este conjunto de exemplos mostram que há uma variedade de formas de arquitetura vernácula com potencial para fornecer conhecimento relevante, que deve ser investigado e classificado em termos de otimização do comportamento passivo de edifícios. Tal conhecimento é relevante quando os edifícios atuais são conhecidos por apresentarem um elevado consumo de energia associado a sistemas mecânicos de climatização. Este trabalho de investigação procurou avaliar a eficácia de algumas estratégias em edifícios localizados em zonas

climáticas contrastantes, com o objetivo de procurar justificação científica para os princípios de arquitetura vernácula e, deste modo, validar e promover a sua utilização no futuro. No entanto, são necessários mais estudos quantitativos para fornecer mais dados específicos sobre o comportamento térmico dos edifícios vernáculos em Portugal. Informações mais precisas sobre a contribuição de estratégias solares passivas vernáculas serão úteis para arquitetos e engenheiros envolvidos no desenvolvimento de edifícios bioclimáticos e energeticamente eficientes.

É imperativo que seja dada prioridade a projetos de construção que adotem métodos passivos de controlo do ambiente interior, limitando os sistemas mecânicos apenas a uma função de apoio, para serem usados apenas somente quando as estratégias passivas não são suficientes para satisfazer as necessidades de conforto dos ocupantes. As habitações vernáculas podem em muitos casos não garantir os padrões atuais de conforto, mas podem fornecer pistas sobre as estratégias a adotar no sentido de reduzir o uso de energia não-renovável. Através da otimização dessas estratégias poderá ser possível alcançar os padrões desejáveis de conforto, reduzindo o consumo de energia de origem fóssil.

No contexto atual, estudar a arquitetura vernácula é uma necessidade, já que é uma fonte de conhecimento no que diz respeito ao uso dos recursos naturais e à adaptação dos edifícios à envolvente que os rodeia, o que poderá contribuir para a sustentabilidade dos edifícios.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores gostariam de agradecer o apoio concedido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), com a referência EXPL/ECM-COM/1801/2013 e pelo Programa MED da União Europeia, através do projeto estratégico MARIE (Agreement n.º 1S-MED10-002), que foram fundamentais para a realização e apresentação deste estudo.

## **REFERÊNCIAS**

- AAVV, 2007. *Arquitetura Popular dos Açores* 2a ed., Lisboa: Ordem dos Arquitectos.
- AAVV, 1980. *Arquitetura Popular em Portugal* 2nd ed., Lisboa: Associação dos Arquitectos Portugueses.
- Abalos, I., 2009. Beauty from Sustainability? *Harvard Design Magazine* 30: (Sustainability) + Pleasure, vol.1, pp.14–17.
- Berge, B., 2009. *The Ecology of Building Materials* 2nd ed., Oxford: Elsevier.
- Cañas, I. & Martín, S., 2004. Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture. *Building and Environment*, 39(12), pp.1477–1495.
- Cardinale, N., Rospi, G. & Stefanizzi, P., 2013. Energy and microclimatic performance of Mediterranean vernacular buildings: The Sassi district of Matera and the Trulli district of Alberobello. *Building and Environment*, 59(null), pp.590–598.
- Cerqueira, J., 2005. O Estilo Internacional Versus Arquitetura Vernácula: O Conceito de Genius Loci. *Idearte – Revista de Teorias e Ciências da Arte – Ano I, N.º 2*, pp.41–52. Available at: [www.idearte.org/idearte-vol-2/](http://www.idearte.org/idearte-vol-2/) [Accessed July 10, 2011].
- Coch, H., 1998. Chapter 4—Bioclimatism in vernacular architecture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2(1-2), pp.67–87.
- Conselho da Europa, 1989. Recomendação N.º R(89)6, Sobre a protecção e valorização do património arquitectónico rural. Available at: <http://www.arquiteturapopular.com/anuncis/recomanacions.html> [Accessed March 17, 2013].

- Dili, A.S., Naseer, M.A. & Varghese, T.Z., 2010. Passive environment control system of Kerala vernacular residential architecture for a comfortable indoor environment: A qualitative and quantitative analyses. *Energy and Buildings*, 42(6), pp.917–927.
- EEE, 2012. Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de outubro de 2012 relativa à eficiência energética, que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE. *Jornal Oficial da União Europeia* L 315/1. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:PT:PDF>.
- Engin, N. *et al.*, 2007. Climatic effect in the formation of vernacular houses in the Eastern Black Sea region. *Building and Environment*, 42(2), pp.960–969.
- Fernandes, J., 2007. Arrefecimento passivo na arquitectura de Évora. Universidade de Évora.
- Fernandes, J., 2012. O contributo da arquitectura vernacular portuguesa para a sustentabilidade dos edifícios. Universidade do Minho.
- Forsberg, A. & von Malmborg, F., 2004. Tools for environmental assessment of the built environment. *Building and Environment*, 39(2), pp.223–228.
- Foruzanmehr, A. & Vellinga, M., 2011. Vernacular architecture: questions of comfort and practicability. *Building Research & Information*, 39(3), pp.274–285.
- Gallo, C., 1994. Bioclimatic architecture. *Renewable Energy*, 5(5-8), pp.1021–1027.
- Haapio, A. & Viitaniemi, P., 2008. A critical review of building environmental assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review*, 28(7), pp.469–482.
- ICOMOS, 1999. Charter on the built vernacular heritage, Mexico. Available at: [http://www.international.icomos.org/charters/vernacular\\_e.pdf](http://www.international.icomos.org/charters/vernacular_e.pdf) [Accessed March 18, 2013].
- IPMA, IPMA - Normais Climatológicas - 1981-2010 (provisórias) - Braga. Available at: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/004/>.
- Kimura, K., 1994. Vernacular technologies applied to modern architecture. *Renewable Energy*, 5(5-8), pp.900–907.
- Lau, C.C.S., Lam, J.C. & Yang, L., 2007. Climate classification and passive solar design implications in China. *Energy Conversion and Management*, 48(7), pp.2006–2015.
- Leatherbarrow, D. & Wesley, R., 2009. Frameworks of Performance and Delight. *Harvard Design Magazine* 30: (Sustainability) + Pleasure, vol.1, pp.84–95.
- Machado, M. V. *et al.*, 2000. The fourth house: the design of a bioclimatic house in Venezuela. *Building Research & Information*, 28(3), pp.196–211.
- Martín, S., Mazarrón, F.R. & Cañas, I., 2010. Study of thermal environment inside rural houses of Navapalos (Spain): The advantages of reuse buildings of high thermal inertia. *Construction and Building Materials*, 24(5), pp.666–676.
- Mateus, R. & Bragança, L., 2011. Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBTToolPT–H. *Building and Environment*, 46(10), pp.1962–1971.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L. & Randers, J., 1993. *Além dos limites: Da catástrofe total ao futuro sustentável*, Lisboa: Difusão Cultural.
- MEDA-CORPUS, 2011. Traditional Mediterranean Architecture. Available at: <http://www.meda-corpus.net/> [Accessed July 10, 2011].
- Mestre, V., 2002. *Arquitectura Popular da Madeira*, Lisboa: Argumentum.
- Morton, T., 2008. *Earth masonry – design and construction guidelines*, HIS BRE Press.



- Oliveira, E.V. & Galhano, F., 1992. *Arquitetura Tradicional Portuguesa*, Lisboa: Publicações Dom Quixote.
- Pacheco-Torgal, F. & Jalali, S., 2012. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, 29(null), pp.512–519.
- Passer, A., Kreiner, H. & Maydl, P., 2012. Assessment of the environmental performance of buildings: A critical evaluation of the influence of technical building equipment on residential buildings. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(9), pp.1116–1130.
- Ribeiro, V. ed., 2008. *Materiais, sistemas e técnicas de construção tradicional: Contributo para o estudo da arquitetura vernácula da região oriental da serra do Caldeirão* Comissão d., Faro; Porto: Comissão de Coordenação e Desenvolvimento do Algarve (CCDRAlg) e Edições Afrontamento.
- Sayigh, A. & Marafía, A.H., 1998. Chapter 2—Vernacular and contemporary buildings in Qatar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2(1-2), pp.25–37.
- Shanthi Priya, R. *et al.*, 2012. Solar passive techniques in the vernacular buildings of coastal regions in Nagapattinam, TamilNadu-India – a qualitative and quantitative analysis. *Energy and Buildings*, 49(null), pp.50–61.
- Singh, M.K., Mahapatra, S., Atreya, S.K., *et al.*, 2010. Thermal monitoring and indoor temperature modeling in vernacular buildings of North-East India. *Energy and Buildings*, 42(10), pp.1610–1618.
- Singh, M.K., Mahapatra, S. & Atreya, S.K., 2009. Bioclimatism and vernacular architecture of north-east India. *Building and Environment*, 44(5), pp.878–888.
- Singh, M.K., Mahapatra, S. & Atreya, S.K., 2011. Solar passive features in vernacular architecture of North-East India. *Solar Energy*, 85(9), pp.2011–2022.
- Singh, M.K., Mahapatra, S. & Atreya, S.K., 2010. Thermal performance study and evaluation of comfort temperatures in vernacular buildings of North-East India. *Building and Environment*, 45(2), pp.320–329.
- Ürge-Vorsatz, D. *et al.*, 2007. Mitigating CO2 emissions from energy use in the world's buildings. *Building Research & Information*, 35(4), pp.379–398.
- Vural, N. *et al.*, 2007. Eastern Black Sea Region—A sample of modular design in the vernacular architecture. *Building and Environment*, 42(7), pp.2746–2761.
- Zhai, Z. (John) & Previtali, J.M., 2010. Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation. *Energy and Buildings*, 42(3), pp.357–365.