



XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

ELEMENTOS DE ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA MEDITERRÂNEA APLICADOS NO BRASIL

INVIDIATA, Andrea (1); CLOSS, Pamella (2); GUTHS, Saulo (3)

(1) UFSC, e-mail: a.invidiata@gmail.com (2) UFSC, e-mail: pamellacloss@hotmail.com (3) UFSC, e-mail: saulo@lmpt.ufsc.br

RESUMO

No Brasil, 47% da energia elétrica é consumida por edificações, sendo 23,6% por edifícios residenciais. Para diminuir este consumo de energia deve-se mudar a maneira de projetar os edifícios. Dessa forma, fica cada vez mais evidente a necessidade de se buscar eficiência energética em todas as áreas onde o consumo de energia está presente. O objetivo desta pesquisa é mostrar quais elementos da arquitetura bioclimática mediterrânea podem ser empregados nos edifícios residenciais brasileiros. Para isso será avaliado, como estudo de caso, uma casa localizada no sul da Itália, de nível B (etiqueta italiana), que apresenta as características típicas da arquitetura mediterrânea. Para avaliar a eficiência energética da casa no zoneamento bioclimático brasileiro será usado o método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Os resultados obtidos demonstram que a casa tem um desempenho melhor na zona bioclimática mais fria. A baixa absorptância das paredes externas assim como os elementos de sombreamentos das aberturas são elementos que aprimoram a eficiência energética das edificações residenciais também nas zonas bioclimáticas mais quentes.

Palavras-chave: Arquitetura bioclimática, RTQ-R, eficiência energética.

ABSTRACT

In Brazil, 47 % of electricity consumption is used by buildings: 23.8% of that in residential buildings. To reduce the energy consumption should change the way you design the buildings. Thus, it is increasingly evident the need to pursue energy efficiency in all areas where energy consumption is present. The objective of this study is show which elements of the Mediterranean bioclimatic architecture can be used in the Brazilian residential buildings. The case study analyzed in this paper is a residential building located in the south of Italy (level B in Italian label), which shows the typical characteristics of Mediterranean architecture. To evaluate the energy efficiency of the house in the Brazilian bioclimatic zones, will use the prescriptive method of Brazilian Regulation for Energy Efficiency Labeling of Residential Buildings (RTQ-R). The results show that the house performs better in colder bioclimatic zones. The low absorptance of the external walls as well as the solar shading of windows are elements that improve the energy efficiency of residential buildings also in warmer bioclimatic zones.

Keywords: *Bioclimatic Architecture, RTQ-R, energy efficiency.*

1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas mais discutidos mundialmente nas últimas décadas é como enfrentar o crescente consumo energético e seu impacto sobre o meio ambiente. Até 2020, o consumo energético mundial crescerá 10% em comparação ao consumo atual, como aponta um estudo realizado pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2011). No Brasil, as edificações são responsáveis por aproximadamente 47% do consumo de energia elétrica, sendo que aproximadamente 23,6% é consumida por edificações residenciais. O consumo no setor residencial no Brasil possui o maior aumento nos últimos anos, com um crescimento do consumo de energia elétrica igual a 5,7% anual para o período de 1975 a 2012 (BRASIL, 2013).

Este crescente aumento do consumo nas edificações residenciais é devido principalmente à dois fatores: o aumento dos equipamentos nas casas brasileiras e uma errada projeção dos edifícios. O projeto ineficiente da edificação, como má orientação e desenho inadequado das fachadas, consome de 25% a 45% de energia elétrica consumida em um edifício residencial (MASCARO, 1992). O projeto eficiente de uma residência e a escolha dos materiais utilizados podem reduzir em até duas vezes o consumo de energia em relação aos projetos convencionais (GRIEGO et al., 2012). Quando os arquitetos trabalham integrando energia, luz natural e conforto, relacionados ao processo de projeto, o equilíbrio dessas variáveis pode gerar uma melhor eficiência energética, reduzindo os consumos (MARSH e LAURING, 2011).

O uso dos conceitos de arquitetura bioclimática pode ser uma forma eficiente de se reduzir os consumos energéticos e ao mesmo tempo melhorar o conforto ambiental no interior da edificação (MACIEL, 2006). Um exemplo de arquitetura bioclimática é a arquitetura mediterrânea, que nasce como uma arquitetura espontânea na região do mediterrâneo no século X. A arquitetura mediterrânea tem nas suas características principais, o uso da inércia térmica e da baixa absorvância das paredes.

Mas quais deste elementos da arquitetura mediterrânea poderão ser reaproveitados no território Brasileiro? Para se avaliar isso será adotado como estudo de caso uma edificação unifamiliar localizada na Cidade de Castellamare del Golfo (TR) no sul da Itália, classificada com o nível B na etiqueta nacional. Nesta região as condições climáticas são relativamente amenas, com uma temperatura média anual de 18,2°C e uma umidade relativa média anual de 62%. A edificação apresenta os principais elementos da arquitetura mediterrânea como baixa absorvância das paredes, grande inércia térmica das paredes, uso de ventilação cruzada e elementos de sombreamento das aberturas.

Para avaliar a eficiência energética da casa no território brasileiro será usado o método prescritivo do Regulamento Técnico para Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Será avaliada exclusivamente a envoltória da edificação, enquanto o foco da pesquisa é a análise dos elementos da arquitetura mediterrânea no Brasil. A edificação é avaliada em 3 zonas bioclimáticas : Zona bioclimática 1 (mais fria), Zona Bioclimática 3 (intermediária) e Zona bioclimática 8 (mais quente).

2 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo avaliar o uso de estratégias bioclimáticas mediterrâneas no Brasil a fim de uma melhor eficiência energética dos edifícios residenciais brasileiros.

3 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA MEDITERRÂNEA

Os primeiros pesquisadores a cunhar a expressão de Arquitetura bioclimática foram os irmãos Olgyay. Eles definiam o projeto bioclimático como a aplicação da bioclimatologia no projeto arquitetônico (OLGYAY, 1964).

CORREA (2002) define a arquitetura bioclimática como uma forma de se projetar totalmente dependente do clima do lugar, aproveitando das características climáticas para criar condições adequadas de conforto físico e mental dentro do espaço físico na edificação.

Analisando a história da arquitetura observa-se como a maioria das edificações surgiam da análise e adequação às condições climáticas próprias de cada lugar (CANAS, I., MARTIN, S., 2004). Um exemplo desta forma de se construir é a arquitetura mediterrânea. Presente na região do mediterrâneo, os exemplos deste arquitetura espontânea surgiram há mais de mil anos atrás. Os *Trulli de Alberobello* e os *Sassi de Matera*, na Itália, são duas edificações que apresentam as típicas características da arquitetura mediterrânea. Paredes com grande inércia térmica, envoltória com baixa absorvância para refletir a radiação solar, com aberturas pequenas nas fachadas que representam os típicos elementos daquele tipo de arquitetura.

Na pesquisa de CARDINALE (2013), são avaliadas 2 típicas edificações mediterrâneas em termos de conforto térmico e eficiência energética. Os resultados demonstram que os edifícios tem um ótimo desempenho nos períodos mais quentes do ano mantendo o conforto térmico das edificações sem uso de sistemas de condicionador de ar; assim como os edifícios precisam aquecer os ambientes só durante o período da noite na época do ano mais frio.

4 RTQ-R E A ETIQUETA ITALIANA

Os primeiros regulamentos sobre o desempenho de edificações foram criados na Europa no início dos anos 70 e definiam parâmetros para o envelope construtivo das edificações, no intuito de diminuir a transferência de calor através dos seus componentes. Como continuação destes regulamentos, foram instituídas melhorias na prática de projeto visando o controle térmico da edificação (PEREZ, 2011; CHEN, 2008).

No começo dos anos 90, a concepção da avaliação do desempenho de edificações mudou tendo como foco a diminuição do consumo energético das edificações e da emissão de gases causadores do efeito estufa. Estados Unidos, Canadá, México, Portugal, Espanha, Austrália, Nova Zelândia, Singapura, Hong Kong, Japão, Coreia, Rússia, Inglaterra e Filipinas são só alguns dos países que possuem norma ou lei de eficiência energética em edificações que seguem esta nova concepção da regulamentação de edificações (CARLO e LAMBERTS, 2008).

Assim, por exemplo, na União Européia, para a obtenção da etiqueta final da edificação, a classificação energética é baseada no consumo de energia do edifício em W/m^2 , que, na maioria dos países membros, é gerada em função do aquecimento dos ambientes internos (ASDRUBALI et al., 2006).

4.1 Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)

No Brasil, o primeiro regulamento de eficiência energética em edificações foi publicado em 2009, tendo como foco a regulamentação das edificações comerciais de serviços e

públicos. No ano seguinte foi publicado o Regulamento Técnico para Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), que passou por revisão em 2012 (BRASIL, 2012). O RTQ-R especifica os requisitos técnicos e o método de classificação do nível de eficiência energética de edificações residenciais para obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE. A ENCE classifica a eficiência da habitação em faixas de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente). A classificação do nível de eficiência energética pelo RTQ-R pode ser efetuada para edificações unifamiliares, multifamiliares, e áreas de uso comum (SCALCO et al., 2012).

A eficiência energética de uma habitação unifamiliar é determinada pela avaliação de dois componentes: a envoltória e o sistema de aquecimento de água. Além destes são consideradas bonificações, estratégias que aumentam a eficiência da habitação.

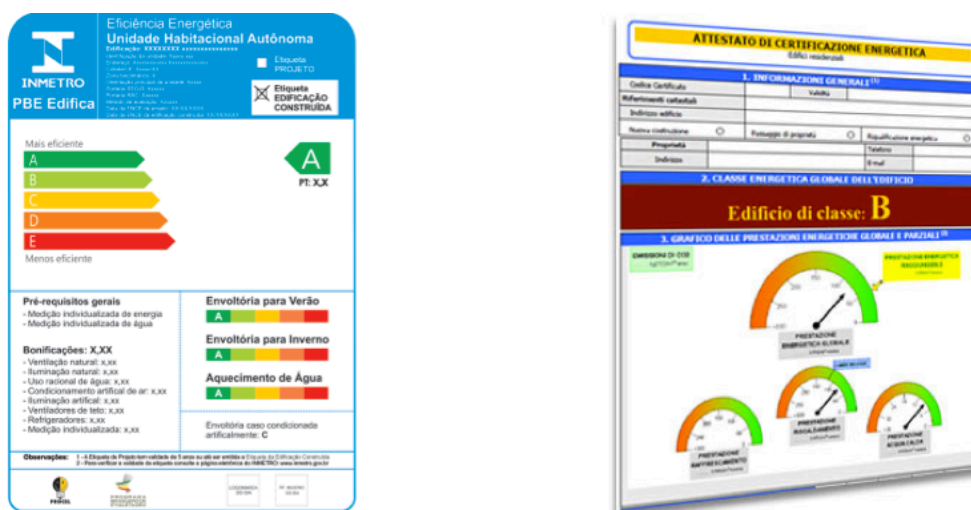
A envoltória é avaliada em três diferentes condições:

- desempenho da envoltória para verão calculada através do indicador de graus-hora para resfriamento (GHR) de cada ambiente de permanência prolongada.
- desempenho da envoltória para inverno calculada através do consumo relativo anual ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$) para aquecimento (CA) de cada ambiente de permanência prolongada.
- desempenho da envoltória quando condicionada artificialmente, calculada através do consumo relativo anual ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$) para refrigeração (CR) de cada dormitório. Este parâmetro é apenas de carácter informativo, ou seja, não é utilizado para a classificação final da habitação.

O RTQ-R apresenta dois métodos para determinação da eficiência energética da envoltória: o método prescritivo e o método de simulação. O método prescritivo é um método de simulação simplificado onde o desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional (UH) é determinado pelo seu equivalente numérico (FOSSATI et al., 2010).

A etiquetagem de edificações residenciais no Brasil ainda é voluntária, mas o processo de torná-la obrigatória esta sendo discutido, a iniciar pelas edificações públicas federais (Figura 1).

Figura 1– Etiqueta Brasileira (ENCE) e Etiqueta Italiana(ACE).



Fonte: www.certificazione-energetica.com(2014); www.certificazione-energetica.com(2014).

4.2 Etiqueta Italiana das edificações (ACE)

Em 2002, o parlamento Europeu aprovou a diretiva 2002/91/CE que tem por objetivo geral a promoção da melhoria do desempenho energético dos edifícios e ao mesmo tempo tornar obrigatória a certificação energética das edificações. Cada país membro devia introduzir na própria legislação o recebimento da diretiva e torna-la obrigatória até 2009. Na Itália a diretiva entrou em vigor em 2009 com a lei D.M. 26/06/2009 que contém as linhas guias nacionais sobre a certificação energética.

A lei estabelece que, a partir de julho de 2009, todas as edificações novas e também as edificações existentes, em caso de venda ou aluguel, deverão ter a certificação energética (ACE).

A classificação da eficiência energética das edificações está divididas em 8 níveis; o nível “A+” (mais eficiente) ao nível “G” (menos eficiente). Dependendo da zona climática onde esta localizada a edificação as faixas de consumo que determinam os níveis variam (CE, 2002).

A eficiência energética de uma habitação unifamiliar é determinada pela avaliação de quatro parâmetros: prestação energética para a climatização no inverno, prestação energética para a produção de água quente, prestação energética para a climatização no verão e a avaliação da iluminação artificial. Nos casos de edifícios residenciais os 4 parâmetros são expressos em kWh/m².ano. As fontes renováveis instaladas na edificação, como sistemas fotovoltaicos, são avaliados de forma conjunta com a habitação.

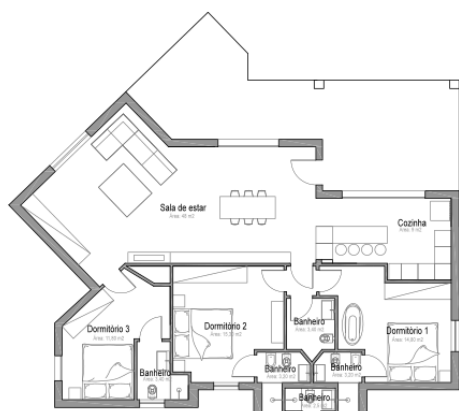
Além disso a etiqueta Italiana avalia também as emissões de CO₂ produzidas no uso da edificação (Figura 1).

5 METODOLOGIA

5.1 Estudo de caso

A edificação avaliada neste estudo de caso é uma edificação unifamiliar localizada na cidade de Castellammare del Golfo (TR) na Sicília. A edificação é uma casa moderna (anos 80) recentemente reformada que possui os elementos típicos da arquitetura Mediterrânea. A edificação possui um pavimento em contato direto com o solo e pé-direito de 2,70 m. É composta de uma cozinha, uma sala, três dormitórios, quatro banheiros internos e um externo, com uma área total de 115m² (Figura 2).

Figura 2– Planta baixa e fachada sul do edifício estudo de caso.



Fonte: Própria(2014).

Os elementos típicos da arquitetura mediterrânea são representado pelas paredes externas de 40cm em blocos de tufo calcários (36cmx36cmx13cm) e de cor branca e pela cobertura plana composta por uma laje pré-moldada de 30cm em lajota de cerâmica e isolamento térmico. (Tabela 1).

Tabela 1 – Características térmicas da envoltória

Elemento construtivo	U [W/m ² k]	CT [kJ/m ² k]	α
Paredes Externas	0,55	483	0,2
Cobertura plana	1,2	270	0,3
Janelas vidro duplo	1,4	-	-

Fonte: Própria(2014).

Além disso, todos os ambientes de permanência prolongada apresentam janelas em alumínio com vidro duplo e venezianas que permitem o sombreamento das aberturas durante as horas diurnas de verão (Tabela 2).

Tabela 2 – Características aberturas

Ambiente	Elemento construtivo	Nº	Somb	Fator de ventilação
Sala-Cozinha	Janelas de correr	3	1	0,45
Dormitórios	Janelas de Abrir	3	1	0,90

Fonte: Própria (2014).

Considerando a troca de hemisférios, a edificação teve sua orientação invertida para a sua avaliação no Brasil.

5.2 Aplicação do RTQ-R

A habitação estudo de caso foi avaliada pelo método prescritivo do RTQ-R. O sistema de aquecimento de água e as eventuais bonificações não foram considerados, devido o foco da pesquisa ser a análise da eficiência energética da envoltória da edificação.

O método prescritivo é aplicado por meio de equações de regressão linear múltipla onde as variáveis independentes são as propriedades físicas e geométricas da edificação, e as variáveis dependentes são referentes a seu desempenho térmico, ou seja, graus hora para resfriamento (GHR), consumo relativo para aquecimento (CA) e refrigeração (CR) (FOSSATI et al., 2010).

Com eles, foram determinados o equivalente numérico da envoltória da edificação para resfriamento (EqNumEnvResfr), aquecimento (EqNumEnvA) e refrigeração artificial (EqNumEnvRefrig) nos diferentes cenários avaliados. Para a determinação do equivalente numérico da envoltória na ZB1 e ZB3, em cada ambiente de permanência prolongada foi ponderado o equivalente numérico da envoltória para resfriamento (EqNumEnvResfr) e o equivalente numérico para aquecimento (EqNumEnvA). Já na ZB8, o equivalente numérico da envoltória é definido pelo equivalente numérico da envoltória para resfriamento (EqNumEnvResfr).

A avaliação da envoltória da habitação nos diferentes cenários foi realizada utilizando-se a planilha para desempenho da UH, disponibilizada no site do Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E, 2013).

6 RESULTADOS

Para se analisar a eficiência energética dos elementos construtivos típicos da arquitetura mediterrânea, a casa foi avaliada através do método prescritivo do RTQ-R nas três zonas bioclimáticas.

A Tabela 3 mostra a avaliação da edificação nas três diferentes zonas bioclimáticas. Os resultados demonstram que a casa obteve o melhor desempenho na ZB8 obtendo o nível A na envoltória geral. Por outro lado a casa não teve um ótimo desempenho na zona bioclimática mais fria, a ZB1, obtendo o nível C. Na ZB3 a edificação obteve como nota final da envoltória o nível B.

Tabela3 – Avaliação da envoltória do edifício exemplo pelo RTQ-R.

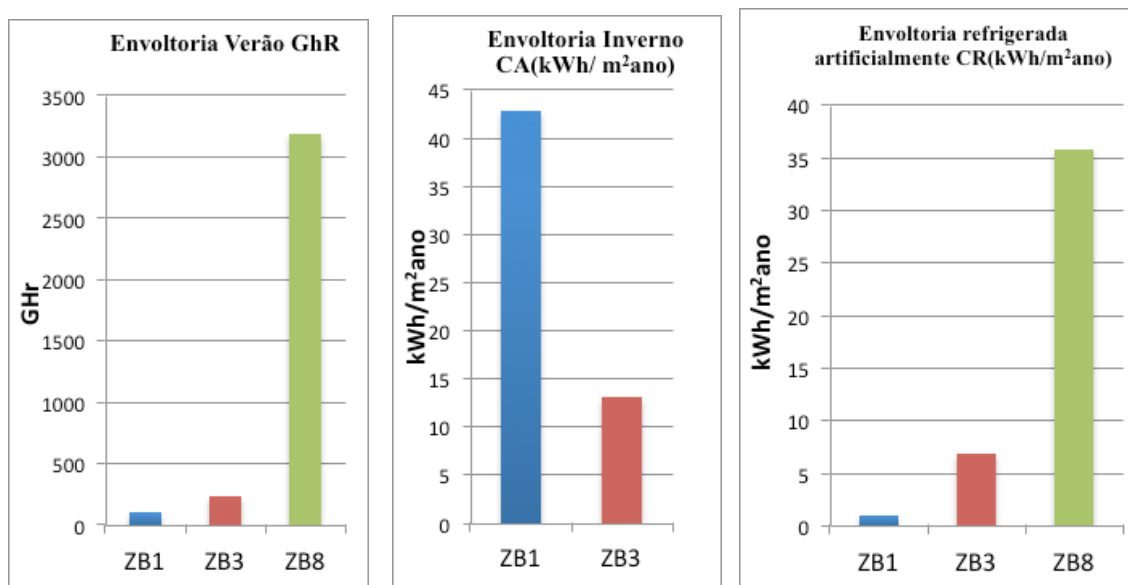
Zona Bioclimática	Nível Envoltória Verão	Nível Envoltória Inverno	Nível Envoltória Refrigerada Artificialmente	Nível Envoltória Final
ZB1	A	C	A	C
	5,00	3,31	5,00	3,45
ZB3	A	B	A	B
	5,00	3,58	4,71	4,48
ZB8	A	-	B	A
	5,00	-	3,72	5,00

Fonte: Própria (2014).

Os resultados demonstram também que a edificação apresenta um ótimo desempenho na avaliação da envoltória para verão obtendo o nível A nas três diferentes zonas bioclimáticas, enquanto na envoltória para inverno as características tipológicas da edificação prejudicam a avaliação obtendo o nível C na ZB1 e o nível B na ZB3. Na avaliação da envoltória refrigerada artificialmente a edificação obteve o nível A nas zonas bioclimáticas 1 e 3 e o nível B na ZB8.

Aprofundando a análise da casa, a Figura 3 apresenta o desempenho da envoltória do edifício exemplo em termos de graus horas e consumo energético nas três diferentes zonas bioclimáticas. Dos gráficos percebe-se como o desempenho da envoltória esta relacionado com as condições climáticas onde a edificação se localiza. Assim o consumo para resfriamento (CR) igualmente como o número de horas para desconforto para calor por ano (GHR) cresce de forma exponencial indo para zonas climáticas mais quentes. Por outro lado o consumo de energia para aquecer a edificação no período de inverno (CA) tem um comportamento oposto, sendo que na zona bioclimática 3 o consumo de energia é 30% inferior que na ZB1.

Figura 3– Gráficos avaliação da envoltória nas diferentes Zonas Bioclimáticas.



Fonte: Própria (2014).

7 CONCLUSÕES

A partir da análise do estudo de caso através do método prescritivo do RTQ-R, concluiu-se que a edificação no Brasil apresenta um melhor desempenho da envoltória nas zonas bioclimáticas mais quentes (ZB8), enquanto em condições climáticas mais frias o seu desempenho deixa a desejar (ZB1).

Os resultados então, demonstram como os elementos típicos da arquitetura mediterrânea em edifícios residenciais conseguem se adaptar bem às condições de calor. Absortância baixa da envoltória da edificação junto com a grande inércia térmica das paredes permitem reduzir as horas de desconforto térmico por calor na edificação. Também os elementos de sombreamentos nas aberturas dos dormitórios assim como uso de janelas de abrir, permitem reduzir os consumos para refrigeração da casa.

Por outro lado estes elementos, que permitem um melhor conforto térmico nos períodos quentes do ano, penalizam o desempenho energético do edifício durante as épocas mais frias do ano. A baixa absortância do envelope da casa combinado com uso de janelas de abrir e elementos de sombreamento não resultam na melhor opção projetual para as zonas bioclimáticas mais frias no Brasil.

Esta pesquisa concluiu que os elementos da arquitetura mediterrânea podem ser usados na projeção de edifícios residenciais no Brasil em climas quentes (ZB8) e intermediárias (ZB3) enquanto nas zonas bioclimáticas frias do país (ZB1) não permitem obter o mesmo desempenho de eficiência energética.

Para trabalhos futuros, o objetivo é identificar com que eficácia cada elemento da arquitetura mediterrânea permite o melhor desempenho térmico nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

REFERÊNCIAS

- ASDRUBALI, F.; BONAUT, M.; BATTISTI, M.; VENEGAS, M. Comparative study of energy regulations for buildings in Italy and Spain. **Energy and Buildings**, v.40 p.1805–1815, 2008.
- IEA- International energy agency. **Key World Energy Statistics**. 2011. Acesso em: 15 set. 2013. Disponível em: <<http://www.iea.org/stats/index.asp/>>.
- BRASIL, 2012. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Portaria complementar nº 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). 2012. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTAC001788.pdf>. Acesso em: 28 agosto 2013.
- BRASIL, 2013. Empresa de pesquisa energética – EPE. **Balanco Energético Nacional 2013** – Ano base 2012: Relatório Síntese. Rio de Janeiro, 2013.
- CANAS, I., MARTIN,S. Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture. **Building and Environment**, v. 39, n. 2, p.1477-1495, 2004.
- CARDINALE, N., ROSPI, G., STEFANIZZI, P. Energy and microclimatic performance of Mediterranean vernacular buildings: The Sassi district of Matera and the Trulli district of Alberobello. **Building and Environment**, v. 59, n.3, p.590-598, 2013.
- CARLO, J. C. e LAMBERTS, R. Development of envelope efficiency labels for commercial buildings: Effect of different variables on electricity consumption. **Energy and Buildings**, v.40 p.2002–2008, 2008.
- CB3E. **Centro brasileiro de eficiência energética**. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/residencial/downloads/planilhas-e-catalogos>. Acesso em: 19 set. 2013.
- CE - **Diretiva 2002/91/CE, de 16 Dezembro 2002**. Diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia relativa ao desempenho energético de edifícios. Jornal Oficial das Comunidades Europeias no L1, 4/01/ 2003, p 0065-0071. Disponível em:www.adene.pt. Acesso em: 25 nov. 2013.
- CHEN, S., LI, N., GUAN,J., XIE,Y., SUN, F., NI, J. A statistical method to investigate national energy consumption in the residential building sector of China. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 4, p. 654–665, 2008.
- CORREA, B.C. Arquitetura bioclimática. **Adequação do projeto de arquitetura ao meio ambiente natural**. Vitruvius, Drops, São Paulo, n. 004.07, abr. 2002.
- FOSSATI, M.; MORISHITA,C.; LAMBERTS, R. A eficiência energética em edificações e a regulamentação brasileira. **RBEE Revista Brasileira de Eficiência Energética** v. 1, p.5-14, 2011.
- GRIEGO, D., KRARTI,M., GUERRERO, A. Optimization of energy efficiency and thermal comfort measures for residential buildings in Salamanca, Mexico. **Energy and Building**, 2012, v 54., pp. 540-549 p.
- MACIEL, A. **Integração dos Conceitos Bioclimáticos ao Projeto Arquitetônico**. 2006. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- MARSH, R.; LAURING, M. Architecture and energy: questioning regulative and architectural paradigms for Danish low- energy housing. **Architectural Research Quarterly**. Cambridge: Cambridge University Press. v. 15, n 02, p. 165-175. 2011.

MASCARÓ, L. E. R. (Coord.). **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. Porto Alegre: Sagra: DC Luzzatto, 1992.

OLGYAY, V. *Arquitectura y Clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. **5a ed. Barcelona**: Gustavo Gili. 203 p. 2008.

PÉREZ-L.L., ORTIS, J., CORONEL, J., MAESTRE, I. A review of HVAC systems requirements in building energy regulations. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 2-3, p. 255–268, 2011.

SCALCO, V., FOSSATI, M., VERSAGE, R., SORGATO, M., LAMBERTS, R., MORISHITA, C. Innovations in the Brazilian regulations for energy efficiency of residential buildings. **Architectural Science Review**, v. 55, n.1, p. 71-81, 2012.