

Análise da Influência de Coberturas no Resfriamento Passivo em Habitações de Clima Tropical

Dorotheu Ximenes de Farias
Contato: dorotheufarias@gmail.com

Tecnologia e Conforto no Ambiente Construído

INTRODUÇÃO

A contribuição da pesquisa é a otimização do desempenho de coberturas visando o resfriamento passivo de habitações em clima quente e úmido, por meio de uma análise comparativa de diferentes configurações simuladas. Geralmente, tal desempenho é analisado isoladamente mediante propriedades estacionárias da construção, como refletividade à radiação do sol ou sua resistência térmica. Entretanto, tal análise deve levar em consideração outros fatores que afetam o desempenho térmico de coberturas, como o projeto de cobertura, sua orientação, fatores climáticos, necessidades de conforto térmico (KABRE, 2010), além da relação cobertura-envoltória da edificação (MARTENS; BASS; ALCAZAR, 2008). Ainda, na avaliação de desempenho de coberturas, o interesse científico têm se focado principalmente na determinação de configurações adequadas para ambientes condicionados artificialmente, pressupondo a temperatura interna constante (BARRIOS et al., 2012). A seleção de uma técnica de cobertura inapropriada pode resultar em um ambiente interno desagradável e inadequado às necessidades de conforto térmico (AL-OBAYDI et al., 2014).

Em climas tropicais, o sistema de cobertura é a principal fonte de aquecimento em residências e edifícios baixos, contribuindo com cerca de 50-70% do total de ganhos de calor dentro da edificação (VIJAYKUMAR; SRINIVASAN; DHANDAPANI, 2007). Com este impacto da cobertura no ganho de calor da edificação, há também o potencial de melhoria de condições de conforto térmico com alterações da cobertura. Apesar desta alta influência, no Brasil as características construtivas mais comuns encontradas em coberturas de projetos de habitações de interesse social apontam um baixo desempenho térmico, segundo os parâmetros do programa de etiquetagem brasileiro (TRIANA;

LAMBERTS; SASSI, 2015). Isso sugere que normas e padrões com critérios mínimos mais ambiciosos sejam necessários, além de mais estudos no setor para desenvolver recomendações projetuais ou regulações obrigatórias (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015). Para que, deste modo, seja possível auxiliar na melhoria da qualidade de vida dos moradores e na redução da dependência de aparelhos de ar condicionado.

O universo de estudo desta pesquisa se concentra em uma cidade representativa de clima tropical quente e úmido de baixa latitude no nordeste brasileiro, especificamente Fortaleza. Outro foco da pesquisa são edificações com resfriamento passivo, deste modo selecionando habitação de interesse social para o estudo de caso do método proposto. A escolha por estudar habitação de interesse social se deve à necessidade de melhoria do desempenho térmico destas casas, principalmente da cobertura (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015), e ao fato de a população desta faixa de renda destinada muitas vezes não poder contar com equipamentos de ar condicionado para tentar contrapor as condições térmicas já ruins.

OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa é otimizar o desempenho térmico de coberturas para o resfriamento passivo de habitações de interesse social em clima quente e úmido, considerando as possibilidades construtivas locais.

Os objetivos específicos são: (I) caracterizar as principais variáveis termofísicas e construtivas de coberturas que influenciem o seu desempenho; (II) definir critérios de avaliação mais adequados a serem utilizados; (III) identificar habitação de interesse social para estudo de caso.

MÉTODO

Os procedimentos metodológicos consistem em determinar configurações de cobertura que influenciam o desempenho térmico no ambiente construído, modelá-los, aferi-los e analisá-los quanto ao seu desempenho em programas de simulação do comportamento térmico.

A pesquisa bibliográfica irá sistematizar as características das principais estratégias de coberturas analisadas na literatura, além de identificar critérios de desempenho e os principais métodos de análise complementares aos obtidos com simulações computacionais.

A pesquisa experimental irá explorar cada estratégia de cobertura e as combinações entre elas, por meio de simulações computacionais que consigam modelar as características termofísicas de cada configuração, utilizando o software EnergyPlus. Deste modo, serão elaborados modelos de habitações de interesse social, que possam cobrir um espectro de possibilidades de combinações das características mais influentes, permitindo entender de forma quantitativa o desempenho térmico das possibilidades projetuais de cobertura. Os modelos computacionais poderão ser aferidos por meio de medições de campo de temperaturas superficiais e do ar em casos com diferentes coberturas instaladas.

O Conjunto Habitacional Maria Tomásia (fig. 1), construído em Fortaleza no ano de 2009 com 1.126 unidades habitacionais (VIEIRA, 2013), foi definido como estudo de caso, por retratar um tipo de edificação que utiliza prioritariamente modos de resfriamento passivos. O conjunto, de casas geminadas dos dois lados, também representa um cenário em que a cobertura é principal elemento da envoltória no qual ocorre trocas de calor com o ambiente e que mais pode impactar o desempenho térmico da edificação (fig. 2 e 3).



Figura 1 – Vista aérea do conjunto habitacional Maria Tomásia (fonte: Google Earth)

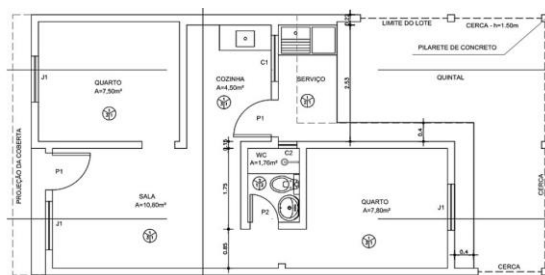


Figura 2 – Planta das habitações conjunto habitacional Maria Tomásia (fonte: VIEIRA, 2013)

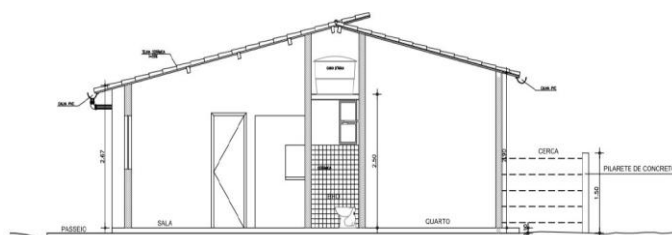


Figura 3 – Corte das habitações conjunto habitacional Maria Tomásia (fonte: VIEIRA, 2013)

A seleção das variáveis de análise foi realizada a partir da revisão da literatura, de acordo com as principais estratégias adotadas. A figura 4 mostra um resumo das combinações selecionadas, com um total de 108 casos. As coberturas irão se distinguir principalmente pelo tipo de telha (cerâmica marrom, branca ou metálica), presença ou não de isolamento ou barreira radiante, ático ventilado, possibilidade ou não de ventilação pela cobertura, além da altura do pé-direito.

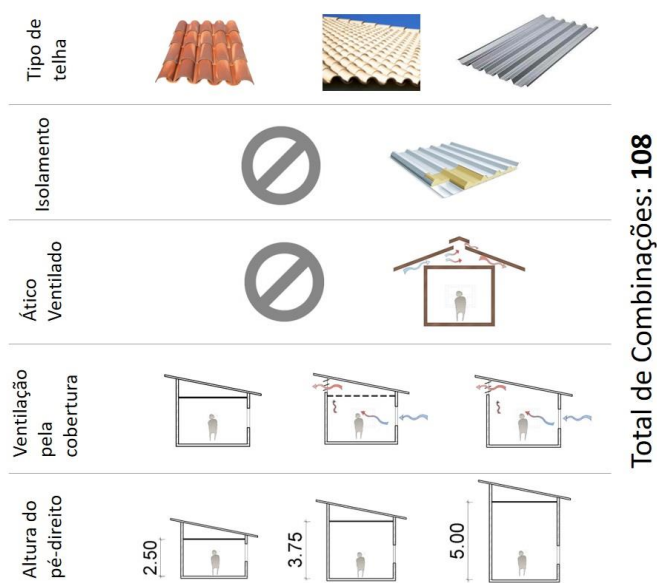


Figura 4 – Imagem esquemática das variáveis analisadas (fonte: o autor)

Os resultados serão analisados quanto à sua otimização ao critério de desempenho estabelecido, a partir dos modelos de conforto adaptativo (DE DEAR; BRAGER, 2002). Os resultados poderão ser classificados de acordo com a sua adequação a este critério, por meio da frequência de ocorrência de conforto durante um ano de referência, como no exemplo da figura 5. Assim, será possível elaborar recomendações para projetos de cobertura que visem o desempenho térmico para edificações passivas de climas tropicais.

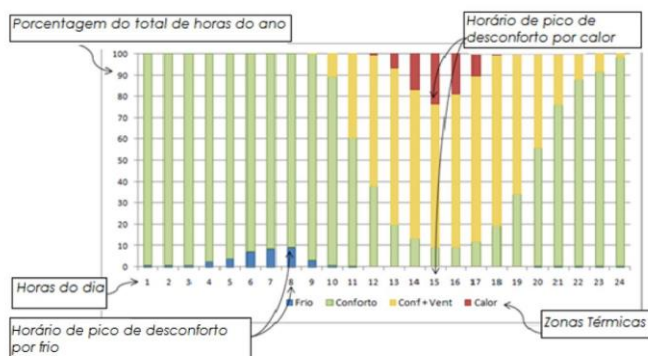


Figura 5 – Exemplo de gráfico para avaliação do desempenho térmico (fonte: NEGREIROS, 2010)

DESENVOLVIMENTO

Para a identificação de uma configuração de cobertura que melhor se adeque às condições do clima quente e úmido para habitações com resfriamento passivo, foi realizada uma revisão da literatura para expor, em primeiro lugar, as principais estratégias já utilizadas e estudadas que visam um melhor desempenho térmico. Posteriormente, são explicitados os principais critérios de desempenho que permitam uma classificação de cada sistema de cobertura. Finalmente, os principais métodos de predição de desempenho térmico são examinados, a fim de determinar os procedimentos mais adequados a cumprir os objetivos desta pesquisa.

Visando um melhor desempenho térmico de edificações em clima quente e úmido, as estratégias mais recomendadas são a redução de ganhos de calor solar e a ventilação natural, seja para trocas de ar do ambiente interno ou resfriamento fisiológico diretamente sobre as pessoas (SZOKOLAY, 2004). Para coberturas, a redução de fluxo de calor pode ser conseguida com a utilização de: superfície externa refletiva; espaço de ático e a sua ventilação; superfície refletiva abaixo do telhado; isolamento térmico resistivo (SZOKOLAY, 2004). Ainda

estratégias de coberturas vernaculares devem ser consideradas (SINGH; MAHAPATRA; ATREYA, 2011).

Coberturas com superfície externa refletiva também são comumente chamadas coberturas frias, porém estas são caracterizadas também pela sua alta emissividade térmica (BRETZ; AKBARI, 1997; PISELLO, 2017). A alta refletividade expressa a capacidade de refletir a maior parte da radiação solar incidente durante o dia (PISELLO; COTANA, 2014). A alta emissividade representa a capacidade do material de irradiar calor na forma de ondas longas (SZOKOLAY, 2004). Para a cobertura, a alta emissividade proporciona a perda de calor, armazenado nas estruturas da edificação, principalmente para o céu e em período noturno (ZINZI; AGNOLI, 2012). Tal efeito é conhecido como resfriamento radiante (GEETHA; VELRAJ, 2012). O principal efeito derivado da aplicação da cobertura fria é a diminuição da temperatura superficial externa, que irá consequentemente reduzir a transmissão de calor para o ambiente interno. A cobertura fria pode reduzir de consumo de energia para resfriamento entre 18% e 93%, além de produzir um decréscimo de horas de desconforto de 9% a 100% e de temperaturas do ar máximas em 1,2°C a 3,3°C, a depender das condições climáticas (SYNNEFA; SANTAMOURIS; AKBARI, 2007).

A ventilação do ático acontece quando existem diferenças de pressão entre aberturas de entrada e de saída, podendo ser provocadas pela ação dos ventos ou pelo efeito chaminé produzido por diferenças de temperatura, ou ainda uma combinação de ambos os mecanismos (YU; HOU; LIAO, 2002). Esta ventilação não consegue parar os mecanismos de trocas de calor do revestimento externo para a camada de ar, mas pode reduzir este efeito (AL-OBAIDI; ISMAIL; ABDUL RAHMAN, 2014). O fluxo de calor pode ser reduzido em até 50% e produzir uma economia de energia em torno de 30% no uso da cobertura ventilada (GAGLIANO et al., 2012).

Superfícies refletivas abaixo do telhado são comumente conhecidas como barreiras radiantes. Esta barreira, normalmente uma folha aluminizada, reduz o fluxo de calor para o interior do ambiente, baseado na sua baixa emissividade da superfície inferior ou na alta refletividade da superfície superior (SZOKOLAY, 2004). Este fluxo pode ser diminuído em 26% a 50%, consequentemente reduzindo a carga térmica para resfriamento em 6% a 16% (LEE; LIM; SALLEH, 2016).



Isolamento térmico resistivo utiliza materiais fibrosos ou porosos com baixa condutividade térmica, como fibra de vidro, lã mineral, poliestireno expandido (EPS) ou extrudado (XPS) (LEE; LIM; SALLEH, 2016; SZOKOLAY, 2004). É possível adicionar este tipo de isolante térmico em qualquer sistema de cobertura, como por exemplo em lajes de concreto, abaixo do madeiramento do telhado, ou ainda por meio de telhas termoacústicas. Para a cidade de Recife, de clima quente e úmido, a aplicação de camada isolante na cobertura de habitações de interesse social pode reduzir de 1.196 kWh para 1.010 kWh o consumo energético para resfriamento durante um ano, além de ampliar as horas de conforto de 66% para 82% (PASSOS, 2016).

Coberturas vernaculares em clima tropical quente e úmido se baseiam principalmente em sua altura do teto e saídas de ar pela cobertura (SINGH; MAHAPATRA; ATREYA, 2011). Grandes alturas de teto, presentes em construções de clima tropical indiano, aumentam o volume enclausurado, levando um maior tempo para o ar interno ser aquecido (SHANTHI PRIYA et al., 2012). A possibilidade de saídas de ar pela cobertura faz com que o calor quente saia do ambiente formando uma corrente natural de ar com um fluxo suave e constante, mantendo um nível balanceado de temperatura e umidade (DILI; NASEER; ZACHARIA VARGHESE, 2010).

A classificação de desempenho térmico de coberturas irá depender da adequação da configuração de cobertura ao critério de desempenho a ser utilizado. O critério de desempenho deve ser diferente para ambientes com ou sem condicionamento artificial do ar (BARRIOS et al., 2012; NEGREIROS, 2010). Para edificações com resfriamento passivo, um possível método de quantificação do desempenho térmico é a contagem de horas de desconforto anual, com a separação de zonas de desconforto por calor ou por frio, conforto, ou conforto com a presença de ventilação (NEGREIROS, 2010). A extensão desta zona de conforto pode ser definida por um modelo adaptativo, que reflete uma relação entre o ambiente e o usuário, com a premissa de que a pessoa não é um simples recipiente passivo do ambiente térmico, mas sim um agente ativo interagindo e ajustando o sistema pessoa-ambiente (BRAGER; DE DEAR, 1998).

Os modelos adaptativos, para determinar a existência de conforto, utilizam o conceito de temperatura operativa, esta sendo uma temperatura média ponderada que

integra a influência da temperatura do ar e temperatura radiante média (AL-HOMOD, 2005). Devido ao ganho de calor solar, a temperatura superficial do teto pode ficar acima da temperatura do ar interno e consequentemente ocasionar desconforto pelo aumento da temperatura operativa e possível ocorrência de desconforto local por assimetria de radiação (KABRE, 2010).

Dentre os principais métodos de predição de desempenho de elementos construtivos ou edificações, temos as medições de campo, experimentações, cálculos manuais ou simplificados, e simulações computacionais (SIMAS, 2009). Simulações computacionais são, de modo geral, a reprodução do comportamento físico de um sistema que é baseado em sua modelagem, desenvolvimento de equações matemáticas que descrevem seu comportamento, solução dessas equações e visualização dos resultados (DE WILDE; VAN DER VOORDEN, 2004).

Com o advento das simulações, análises paramétricas têm se tornado um método cada vez mais comum para identificar a influência de elementos arquitetônicos no desempenho térmico e energético de edificações. A análise paramétrica se baseia na alteração repetida de um caso base, com uma variável sendo modificada por vez no modelo selecionado (PEDRINI, 2003). A simulação computacional é muito utilizada em áreas de desenvolvimento e pesquisa, principalmente pela sua flexibilidade, sendo possível desenvolver diferentes análises com quaisquer características da edificação (SILVA, 2016).

Para resolver os problemas de predição de desempenho térmico de edificações ou de seus componentes, um grande número de softwares de simulação computacional por meio de cálculos numéricos está disponível. Para o estudo de desempenho térmico de coberturas, o programa EnergyPlus se caracteriza como um dos mais utilizados na literatura (ANDROUTSOPOULOS; STAVRAKAKIS; DAMASIO, 2017; DIAS, 2016; PISELLI et al., 2017; PISELLO; PISELLI; COTANA, 2015; VIRK et al., 2015; ZINZI; AGNOLI, 2012).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desempenho térmico de coberturas é tema constante de pesquisas brasileiras e internacionais, devido ao seu importante impacto no consumo energético e no conforto da edificação, além das implicações ambientais no seu entorno imediato e na cidade como um todo, como no fenômeno da ilha de calor urbana. Estratégias como uso do ático ventilado, coberturas frias, isolamento resistivo, barreira radiante, ou teto verde contam com um grande número de análises do seu potencial de resfriamento da edificação. Pesquisas puderam comprovar seus efeitos de diminuição do fluxo de calor e da temperatura superficial do teto, principalmente em climas tropicais.

Com a revisão da literatura, é possível perceber que um melhor desempenho de cobertura irá reduzir cada vez mais o fluxo de calor e a temperatura superficial do teto do ambiente interno, reduzindo a ocorrência de desconforto devido à menor temperatura operativa. Entretanto, esta diminuição deve ter um limite, dependendo da temperatura do ar interno e o potencial de redução do fluxo de calor pela cobertura. Além deste fator, o aprendizado com a arquitetura vernacular mostra que o aumento do pé-direito pode favorecer o desempenho térmico, aumentando o volume de ar enclausurado e diminuindo o impacto de uma alta temperatura superficial do teto sobre o conforto dos usuários. Ainda, a estratégia de saída de ar pela cobertura pode renovar o ar interno, substituído pelo ar externo mais fresco e melhorando as condições de conforto. Torna-se necessário identificar o potencial de resfriamento que uma cobertura pode proporcionar ao ambiente interno, por meio da diminuição da temperatura superficial do teto, do aumento do pé-direito e da ventilação do ambiente.

As próximas etapas da pesquisa serão os procedimentos experimentais de simulações computacionais dos casos e aferição dos modelos. Então a coleta e análise dos dados para comparação das diferentes coberturas.

AGRADECIMENTOS

Ao Aldomar Pedrini, que como se tivesse mil braços, me orienta no desenvolvimento dessa dissertação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-HOMOUD, M. S. A systematic approach for the thermal design optimization of building envelopes. **Journal of Building Physics**, v. 29, n. 2, p. 95–119, 2005.
- AL-OBAIDI, K. M. et al. Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia : A literature review. **Frontiers of Architectural Research**, v. 3, n. 3, p. 283–297, 2014.
- AL-OBAIDI, K. M.; ISMAIL, M.; ABDUL RAHMAN, A. M. Design and performance of a novel innovative roofing system for tropical landed houses. **Energy Conversion and Management**, v. 85, p. 484–504, 2014.
- ANDROUTSOPOULOS, A. V.; STAVRAKAKIS, G. M.; DAMASIOTIS, M. Cool Roof Impacts on a School-building Thermal and Energy Performance in Athens, Greece. **Procedia Environmental Sciences**, v. 38, p. 178–186, 2017.
- BARRIOS, G. et al. Envelope wall/roof thermal performance parameters for non air-conditioned buildings. **Energy and Buildings**, v. 50, p. 120–127, 2012.
- BRAGER, G. S.; DE DEAR, R. J. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. **Energy and Buildings**, v. 27, n. 1, p. 83–96, fev. 1998.
- BRETZ, S. E.; AKBARI, H. Long-term performance of high-albedo roof coatings. **Energy and Buildings**, v. 25, n. 2, p. 159–167, 1 jan. 1997.
- DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 549–561, 2002.
- DE WILDE, P.; VAN DER VOORDEN, M. Providing computational support for the selection of energy saving building components. **Energy and Buildings**, v. 36, n. 1, p. 749–758, 2004.
- DIAS, A. E. **O Desempenho Térmico de uma Cobertura Verde em Simulações Computacionais em três Cidades Brasileiras**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- DILI, A. S.; NASEER, M. A.; ZACHARIA VARGHESE, T. Passive control methods of Kerala traditional architecture for a comfortable indoor environment: Comparative investigation during various periods of rainy season. **Building and Environment**, v. 45, n. 10, p. 2218–2230, 1 out. 2010.
- GAGLIANO, A. et al. Thermal performance of ventilated roofs during summer period. **Energy and Buildings**, v. 49, p. 611–618, 2012.



Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo | PPGAU/UFRN

- GEETHA, N. B.; VELRAJ, R. Passive cooling methods for energy efficient buildings with and without thermal energy storage – A review. **Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research**, v. 29, n. 2, p. 913–946, 2012.
- KABRE, C. A new thermal performance index for dwelling roofs in the warm humid tropics. **Building and Environment**, v. 45, n. 3, p. 727–738, 2010.
- LEE, S. W.; LIM, C. H.; SALLEH, E. I. BIN. Reflective thermal insulation systems in building: A review on radiant barrier and reflective insulation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 643–661, 2016.
- MARTENS, R.; BASS, B.; ALCAZAR, S. S. Roof-envelope ratio impact on green roof energy performance. **Urban Ecosystems**, v. 11, n. 4, p. 399–408, 2008.
- NEGREIROS, B. D. A. **Análise de métodos de predição de desempenho térmico de habitação em clima quente-úmido com condicionamento passivo**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- PASSOS, B. **Impacto do uso de isolante térmico em habitações de interesse social nas diferentes condições climáticas brasileiras**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- PEDRINI, A. **Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate**. (2003). 300 f. Tese de doutorado (Ph.D.) - Department of Architecture, University of Queensland, Brisbane, 2003.
- PISELLI, C. et al. Optimization of roof solar reflectance under different climate conditions , occupancy , building configuration and energy systems. **Energy & Buildings**, v. 151, p. 81–97, 2017.
- PISELLO, A. L. State of the art on the development of cool coatings for buildings and cities. **Solar Energy**, v. 144, p. 660–680, 2017.
- PISELLO, A. L.; COTANA, F. The thermal effect of an innovative cool roof on residential buildings in Italy: Results from two years of continuous monitoring. **Energy and Buildings**, v. 69, p. 154–164, 2014.
- PISELLO, A. L.; PISELLI, C.; COTANA, F. Influence of human behavior on cool roof effect for summer cooling. **Building and Environment**, v. 88, p. 116–128, 2015.
- SHANTHI PRIYA, R. et al. Solar passive techniques in the vernacular buildings of coastal regions in Nagapattinam, TamilNadu-India - A qualitative and quantitative analysis. **Energy and Buildings**, v. 49, p. 50–61, 2012.
- SILVA, A. S. **Desenvolvimento de um Método para Avaliação do Desempenho Térmico e Energético de Edificações aplicando Análise de Incertezas e Sensibilidade**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- SIMAS, S. R. N. G. **Análise de Custo-Benefício de Sistemas de Cobertas em Edificações Comerciais para o Clima Dde Natal/RN visando Eficiência Energética**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.
- SINGH, M. K.; MAHAPATRA, S.; ATREYA, S. K. Solar passive features in vernacular architecture of North-East India. **Solar Energy**, v. 85, n. 9, p. 2011–2022, 2011.
- SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 11, p. 1167–1174, nov. 2007.
- SZOKOLAY, S. V. **Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design**. Bullington, Great Britain: Architectural Press, 2004.
- TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, n. December 2014, p. 524–541, 2015.
- VIEIRA, G. A. R. **Estudo sobre as transformações nas tipologias arquitetônicas em conjuntos habitacionais de interesse social em Fortaleza-ce: 2003-2012**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013..
- VIJAYKUMAR, K. C. K.; SRINIVASAN, P. S. S.; DHANDAPANI, S. A performance of hollow clay tile (HCT) laid reinforced cement concrete (RCC) roof for tropical summer climates. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 8, p. 886–892, ago. 2007.
- VIRK, G. et al. Microclimatic effects of green and cool roofs in London and their impacts on energy use for a typical office building. **Energy and Buildings**, v. 88, p. 214–228, 2015.
- YU, H.; HOU, C.-H.; LIAO, C.-M. Scale Model Analysis of Opening Effectiveness for Wind-induced Natural Ventilation Openings. **Biosystems Engineering**, v. 82, n. 2, p. 199–207, 1 jun. 2002.
- ZINZI, M.; AGNOLI, S. Cool and green roofs . An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. **Energy & Buildings**, v. 55, p. 66–76, 2012.

