XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

RELAÇÃO DO CUSTO BENEFICIO DE COBERTURAS NO CONSUMO DE ENERGIA EM HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL[1]

DOMINGOS, Renata Mansuelo Alves (1); PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay (2)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, mansuelo.alves@gmail.com
(2) Universidade Federal de Santa Catarina, ruttkay.pereira@ufsc.br

RESUMO

Os edifícios consomem mais de um terço da energia primária no mundo. No Brasil, os edifícios do setor residencial representam cerca de 25% do consumo de energia elétrica. Grande parte dessa eletricidade é desperdiçada devido à ineficiência energética dessas edificações, seja relacionado à envoltória e outros. Sabe-se que se tem ganho e/ou perda de calor expressiva nas coberturas. O uso de isolantes altera esse fenômeno, mas tem um acréscimo de valor, dessa forma o melhor meio para analisar o custo benefício de diferentes tipologias construtivas é pelo custo do ciclo de vida. Assim, tem-se como objetivo analisar o custo benefício de diferentes tipos de coberturas pelo Custo do Ciclo de Vida. A metodologia adotada foi de simulação com o EnergyPlus calculando o consumo e uso da TCPO para determinar os custos da habitação e dos diferentes tipos de cobertura. Com os resultados percebeu-se que o modelo com menor consumo não teve o menor custo do ciclo de vida, no entanto essa relação não é linear e o custo inicial teve mais impacto. Notou-se a importância do custo do ciclo de vida como parâmetro para o custo benefício estão inclusos os custos iniciais investidos e o custo da energia elétrica.

Palavras-chave: *Custo do ciclo de vida, eficiência energética, simulação.*

ABSTRACT

Buildings consume more than a third of the world's primary energy. In Brazil, buildings in the residential sector represent about 25% of electricity consumption. Much of this electricity is wasted due to the energy inefficiency of these buildings, whether related to the envelope and others. It is known that there is significant heat gain and / or loss in the coverings. The use of insulators alters this phenomenon but has an added value, so the best way to analyze the cost benefit of different construction types is through the cost of the life cycle. Thus, the objective is to analyze the cost benefit of different types of coverage by the Life Cycle Cost. The methodology adopted was a simulation with EnergyPlus calculating the consumption and use of TCPO to determine housing costs and different types of coverage. With the results it was noticed that the model with the lowest consumption did not have the lowest life cycle cost, however this relationship is not linear and the initial cost had more impact. The importance of the life cycle cost as a parameter for the cost benefit was noted, including the initial costs invested and the cost of electricity.

Keywords*:Life cycle cost, energy efficiency, simulation.*

---

[1] DOMINGOS, Renata Mansuelo Alves; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Relação do custo beneficio de coberturas no consumo de energia em Habitação de Interesse Social. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

O mundo está cada vez mais preocupado com a questão do consumo de energia e o uso de energia limpas, por questões ambientais. Os edifícios consomem cerca de 40% do consumo da energia primaria do mundo, sendo o setor que mais consome energia (International Energy Agency; Organisation for Economic Co-operation and Development, 2009). No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2018), o setor residencial consome cerca de 25% do total de energia consumida no país.

Holmes e Hacker (2007) mostraram que o atual desafio dos profissionais da construção é projetar edifícios com baixo consumo, ainda proporcionando conforto ambiental. Esses edifícios são aqueles que contam com estratégias passivas, diminuindo, assim, a demanda de refrigeração, iluminação, aquecimento e equipamentos, reduzindo o consumo e alcançando o conforto térmico no interior das edificações. Fatores que podem estar associados à eficiência e ao seu impacto na economia de energia são: comportamento humano, custo inicial das medidas e as propriedades físicas das habitações (HAMILTON et al., 2016).

Existem dificuldades para implementar as medidas de eficiência, Tonn e Peretz (2007) identificaram quatro tipos gerais de barreiras, que são: conscientização, custo, capacitação e problemas de transação. O primeiro se refere à falta de conscientização sobre as oportunidades de economia de energia; o segundo são os altos investimentos que eventualmente são necessários; a terceira barreira são os profissionais da área de construção civil que não aplicam as estratégias por falta de conhecimento ou incentivo, e a última barreira engloba questões como falta de confiança, ineficiências organizacionais e outros pontos que não entram nas três anteriores. De acordo com De La Rue du Can et al. (2014), uma das barreiras mais significativas é o custo inicial relativamente alto que as medidas de eficiência energética possam apresentar. Mesmo sendo um investimento com retorno ao longo da vida útil, por diminuir o consumo, a maioria dos consumidores valoriza muito as economias imediatas e diminui a importância das economias futuras.

A grande questão sempre levantada pelos profissionais da construção civil é até onde usar medidas de eficiência energética em termos de custo benefício (MARSZAL & HEISELBERG, 2011). Para análises econômicas, deve-se considerar não apenas as condições térmicas do edifício, mas as condições climáticas, preços da energia, localização, recursos disponíveis e outros fatores. O desafio é encontrar as estratégias que resultam no desempenho mínimo da edificação com o menor custo possível.

Portanto é essencial haver um equilíbrio e uma simulação adequada, visando as melhores estratégias para ser aplicada em cada caso específico. Deng et al. (2011) ressalta que a maioria dos projetos não podem ser compartilhados por causa do clima e características culturais. Destaca também, que a maioria dos projetos não analisam a viabilidade econômica.

Sabe-se que se tem ganho e/ou perda de calor expressiva nas coberturas. O uso de isolantes altera esse fenômeno, mas tem um acréscimo de valor, dessa forma o melhor meio para analisar o custo benefício de diferentes tipologias construtivas é pelo custo do ciclo de vida.

A premissa básica para se ter viabilidade financeira é os custos dos investimentos serem menor ou igual ao valor líquido da economia (DODOO et al., 2017). A maioria das pessoas não tem conhecimento das medidas de renovação disponíveis para melhorar o desempenho energético do edifício e os benefícios adicionais que essas

medidas podem trazer (FERREIRA et al., 2016). Naturalmente, cada medida de eficiência, como adicionar isolamento, usar lâmpadas mais eficientes, incorrerá em um custo financeiro, mas a economia de eletricidade após renovações pode ser igual ou superior à do custo inicial após vários anos de operação. Utiliza-se, dessa forma, cálculos de custos de cada medida iniciais e relativos de manutenção e seus benefícios financeiros, no método Custo de Ciclo de Vida (CCV), onde decide-se, se serão implementados ou não para economia de energia (OUYANG et al., 2009).

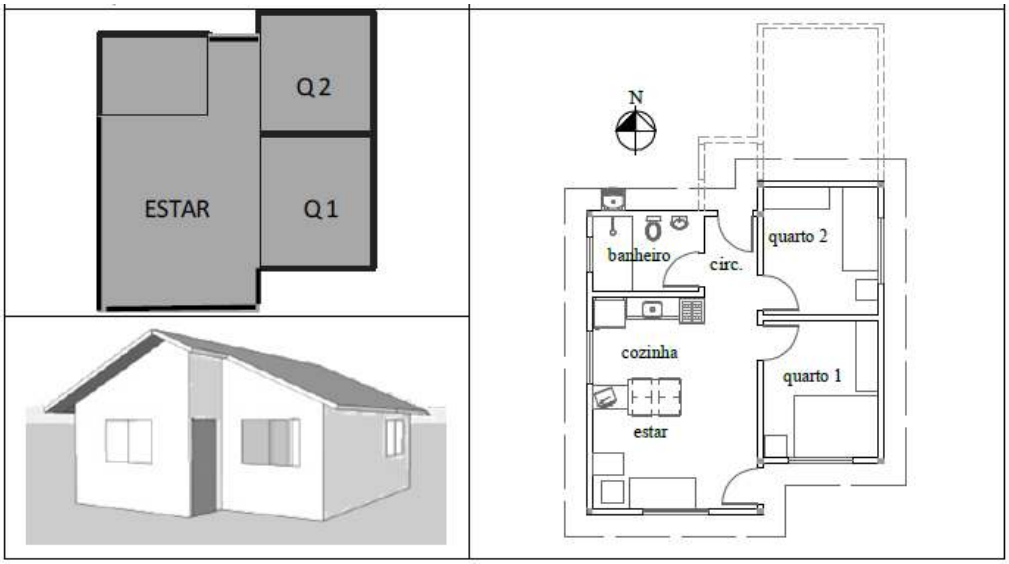
Dessa forma, esse artigo tem como objetivo geral analisar o custo benefício de diferentes tipos de coberturas levando em consideração o custo inicial dos sistemas construtivos, sua influência no consumo e no custo da energia no custo do ciclo de vida de habitação de interesse social.

2 METODOLOGIA

2.1 Objeto de estudo

Tendo como foco de interesse as habitações unifamiliares, utilizou-se um projeto representativo para a habitações unifamiliares térreas com o layout de maior frequência de ocorrência para a cidade de Florianópolis (SC) localizada na zona bioclimática 3, aplicado e determinado por Triana et al. (2015). A planta baixa e volumetria adotada é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Projeto Arquitetônico



Fonte: Triana et al. (2015)

As características principais do projeto para a casa unifamiliar térrea estão descritas a seguir:

– Ventilação cruzada; Beiral: 50 cm; Pé-direito: 2,50 m; Chuveiro elétrico para aquecimento de água, considerando potência do equipamento > 4.600W;

– Piso: piso cerâmico 0,75 cm + 2 cm contrapiso + 15 cm laje de concreto;

– Paredes: 13 cm (tijolo cerâmico de 6 furos 9x14x24 cm com reboco interno e externo) com U=2,39W/m²K e capacidade térmica=150kJ/m²K;

– Cobertura: 2 águas, telha (sofre variação) + ático forro (sofre variação). Inclinação

de 23, 6º. Telha com a de 0,3 e 0,7;

– Portas externas: 2 de 0,80x2,10 m, madeira com U =1,49 W/m²K; Portas internas: 0,80x2,10 m, madeira com U =1,49 W/m²K;

– Janelas: sala de estar e quartos: 1,50 m2, 2 folhas de correr, peitoril=1,10 m; cozinha: 1,20 m2, 2 folhas de correr; banheiro: 0,48 m2, janela basculante com esquadria, peitoril=1,50 m; Janelas sem venezianas; Vidro: 4 mm transparente; Esquadrias em alumínio;

– Densidade de potência instalada de iluminação: Sala e Dormitórios=5 W/m².

Existem diversas maneiras de se aplicar estratégias de eficiência energética em uma edificação. Esse artigo foca na transferência de calor realizada através da cobertura. Para isso foram escolhidos três tipos de forros (PVC, Gesso e Laje) e dois tipos de telha (Cerâmica e Fibrocimento), resultando em seis modelos de cobertura. As propriedades termofísicas das mesmas estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades térmicas dos sistemas construtivos dos modelos

Modelo		**Elemento**	**Transmitância térmica (W/m².°C)**	**Capacidade térmica (kJ/m².°C)**
1	Telha cerâmica e PVC	Telha cerâmica (1 cm) Câmara de ar Forro PVC (1 cm)	1.75	21
2	Telha cerâmica e Gesso	Telha cerâmica (1 cm) Câmara de ar Forro gesso (3 cm)	1.94	37
3	Telha cerâmica e Laje	Telha cerâmica (1 cm) Câmara de ar Laje maciça (10 cm)	2.05	238
4	Telha fibrocimento e PVC	Fibrocimento (0,8 cm) Câmara de ar Forro PVC (1 cm)	1.76	16
5	Telha fibrocimento e Gesso	Fibrocimento (0,8 cm) Câmara de ar Forro gesso (3 cm)	1.95	32
6	Telha fibrocimento e Laje	Fibrocimento (0,8 cm) Câmara de ar Laje maciça (10 cm)	2.06	233

Fonte: Os autores

2.2 Simulação termoenergética

A análise do consumo é baseada na descrição física do prédio, no sistema de aquecimento ou resfriamento e nas cargas internas. O programa escolhido para o desenvolvimento dessa pesquisa foi o EnergyPlus, distribuído de forma gratuita pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e amplamente utilizado nas pesquisas de simulação termoenergéticas. O software usa os arquivos de entrada IDF e EPW que são basicamente uma interface de software, que introduz dados sobre a arquitetura e o clima no qual o edifício está inserido. Os arquivos IDF contêm dados técnicos sobre os materiais da envolvente do edifício, sistema HVAC, entre outros

parâmetros, enquanto o EPW contém os dados meteorológicos. No modelo simulado, a transferência de calor com o solo foi modelada com o objeto GroundDomain: Slab.

Para a retirada da carga térmica dos quartos da casa foram adotados os parâmetros de funcionamento dos aparelhos, horários de ocupação e iluminação, densidade das cargas internas e taxas metabólicas de cada atividade de acordo com a Instrução Normativa do Inmetro para Edificações Residenciais - INI-R (CB3E, 2018), sendo definido duas pessoas por quarto e totalizando assim quatro pessoas. O COP para conversão da carga térmica foi de 2,86. O sistema de condicionamento de ar funciona somente quando os ambientes são ocupados. Para o desconforto por calor, adota-se que a partir da temperatura de 26°C, o sistema de resfriamento é acionado. Para o desconforto por frio, adota-se que a partir da temperatura de 16°C, o sistema de aquecimento é acionado. O uso de ar condicionado pode não ser comum em habitações de interesse social, no entanto, como não há uma forma de mensurar o custo do desconforto, assumiu-se o uso do condicionamento para os dois dormitórios.

2.3 Custo do Ciclo de Vida da Habitação

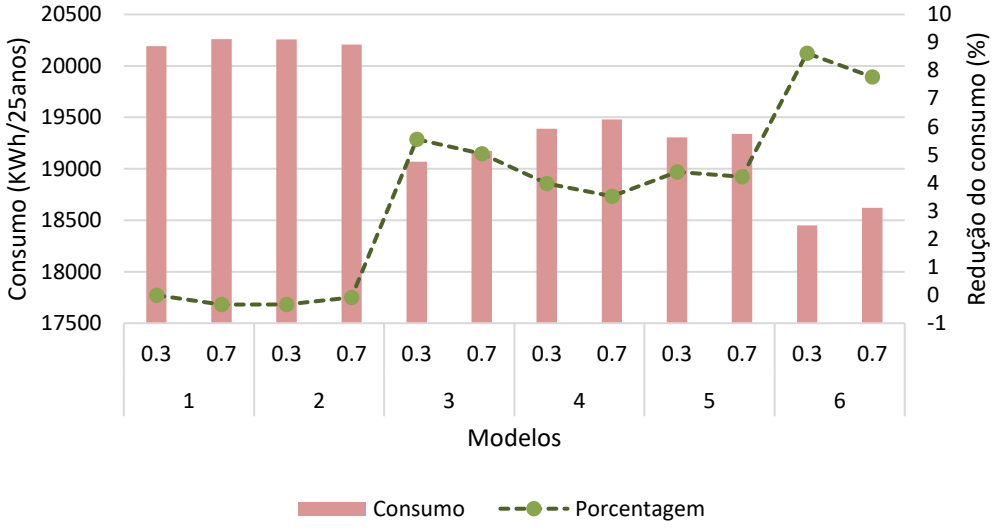
Os custos foram considerados para o ciclo de vida da construção, sendo assim, foram calculados em três conjuntos: investimento inicial, manutenção e energia. Para tal, foi utilizada a tabela TCPO online (Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos) como referência para os valores, sendo estas tabelas atualizadas constantemente. Ademais, o investimento inicial conta com o valor gasto com a construção, e a variação desses custos acontece de acordo com os materiais presentes nos modelos.

A manutenção do sistema conta com valores referentes ao reparo de componentes dos sistemas de fornecimento de energia, a instalação, além de outras particularidades necessárias para um bom funcionamento do edifício e conforto de seus usuários. O tempo de vida considerado para casa foi de 50 anos.

3 RESULTADOS

A primeira atividade realizada nessa pesquisa foi a simulação termo energética. O output requerido e analisado foi do consumo referente a carga térmica para refrigeração e aquecimento, pois os dados de consumo dos equipamentos e iluminação, nesse caso, são fixos, não sofrendo influência das mudanças propostas nos modelos. Com o objetivo de demonstrar a influência relativa porcentual adotou-se como base o modelo 1 e na Figura 2 tem-se a redução do consumo no ciclo de vida de acordo com os valores absolutos.

Figura 2 – Consumo dos modelos de cobertura

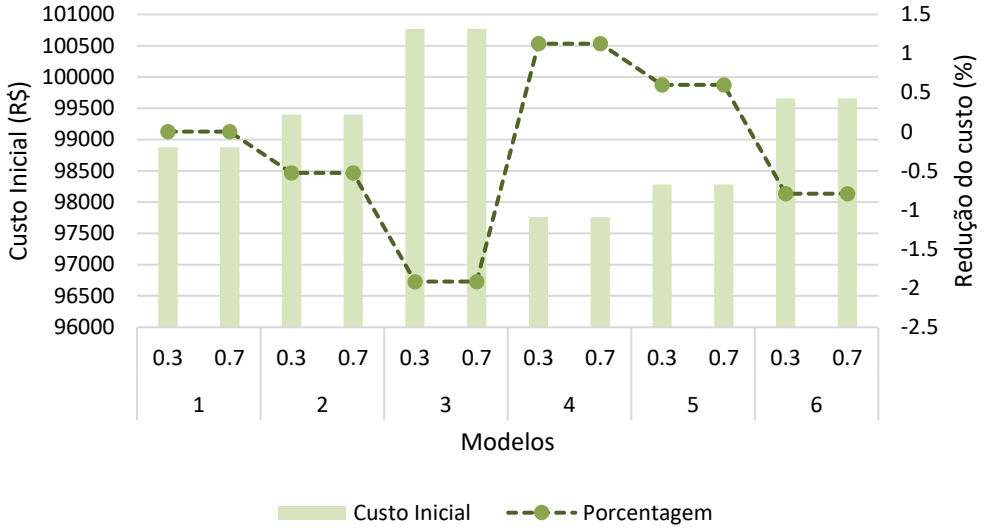


Fonte: Os autores

Os modelos podem ser comparados de acordo com as telhas ou de acordo com o forro. Quando se separa de acordo com as telhas temos os seis primeiros agrupados e os seis últimos, a telha de fibrocimento proporciona uma redução do consumo em todos os casos (com os diferentes tipos de forro quando comparados entre si), a diferença variou de 2,74% a 4,71%. Ao comparar os forros a principal diferença se dá pela capacidade térmica que da laje é aproximadamente 10x maior que o do PVC e 5x maior que do Gesso. A variação da absortância resultou em uma alteração de 0,17% a 0,84% dentro dos modelos.

Sabe-se a importância das medidas de eficiência energética e como elas impactam no consumo da edificação. A alteração do sistema construtivo gera custos e nesse contexto o cálculo do consumo de energia é o ponto de partida para o cálculo dos custos das medidas. Com esses dados é possível calcular o custo do ciclo de vida da edificação e comparar os benefícios gerados ou não pelas medidas implementadas. A Figura 3 mostra os custos iniciais dos modelos adotados, dentro dessa analise as telhas e os forros tem comportamentos diferentes, a telha com melhor desempenho no consumo tem o menor custo e o forro com melhor desempenho no consumo tem o maior custo, já as mudanças da absortância não geram custos adicionais, o que mantem constante esses custos dentro dos modelos.

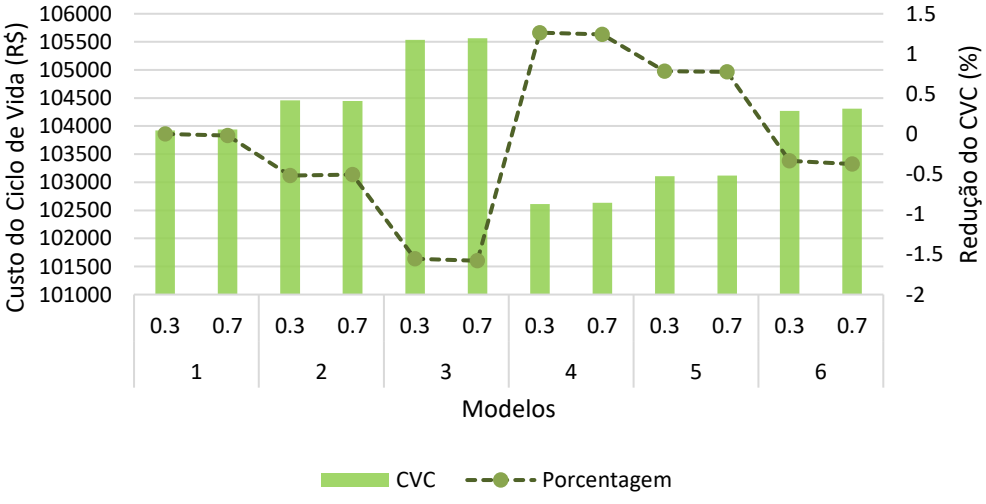
Figura 3 – Custo inicial dos modelos de cobertura



Fonte: Os autores

O cálculo do custo do ciclo de vida foi realizado pela TCPO conforme especificado no Método. Ao ser considerado o custo do ciclo de vida é adicionado os custos para manutenção do imóvel, e isso inclui o valor gasto com o consumo de energia. A Figura 4 traz esses valores e nota-se um comportamento bem semelhante ao da Figura 3. Na Figura 4 nota-se A diferença do comportamento se dá de forma mínima nas absortâncias que variam entre o mesmo modelo de 0.008% a 0.04%. Percebe-se que os únicos modelos com redução positiva são o 4 e 5, sendo que o modelo 4 apresenta o menor custo de todos e o modelo 5 tem consumo menor quando comparado ao modelo 4.

Figura 4 – Custo do Ciclo de vida dos modelos de cobertura



Fonte: Os autores

Os resultados alcançados mostram a importância da avaliação do custo embutido nas estratégias aplicadas ao longo do ciclo de vida. Às vezes, as estratégias com maior economia de energia quando considerado o ciclo de vida não são as melhores opções do ponto de vista dos custos.

4 CONCLUSÃO

Esse artigo buscou avaliar alguns tipos de sistemas construtivos para cobertura pelo ponto de vista do custo do ciclo de vida. Percebeu-se que só o consumo não é o suficiente para avaliação do benefício como um todo, ao adotar o custo do ciclo de vida como parâmetro para o custo benefício estão inclusos os custos iniciais investidos e o custo da energia elétrica.

Dos casos estudados os melhores modelos são o modelo 4 e 5, apresentando uma redução do valor do custo do ciclo de vida quando comparado ao modelo base e também uma redução no consumo. A pesquisa mostra como medidas com baixo custo podem economizar energia, como mudar a absortância e em outros casos mudar a orientação das aberturas das faixadas, devendo sempre esses fatores serem levados em consideração na fase de projeto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Santa Catarina e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Relatório final 2018: Ano base 2017**. Rio de Janeiro: EPE, 2018. 294 p.

DE LA RUE DU CAN, S. et al. Design of incentive programs for accelerating penetration of energy-ef fi cient appliances. **Energy Policy**, v. 72, p. 56–66, 2014

DENG, S.; DALIBARD, A.; MARTIN, M.; DAI, Y.J.; EICKER, U.; WANG, R.Z. Energy supply concepts for zero energy residential buildings in humid and dry climate. **Energy Conversion and Management** 52: 2455–2460. 2011.

DODOO, A.; GUSTAVSSON, L.; TETTEY, U. Y. A. Final energy savings and cost-effectiveness of deep energy renovation of a multi-storey residential building. **Energy**, v. 135, p. 563–576, 2017.

FERREIRA, M.; ALMEIDA, M.; RODRIGUES, A. Cost-optimal energy efficiency levels are the first step in achieving cost effective renovation in residential buildings with a nearly-zero energy target. **Energy and Buildings**, v. 133, n. November 2014, p. 724–737, 2016.

HAMILTON, I. G. et al. Energy efficiency uptake and energy savings in English houses: A cohort study. **Energy and Buildings**, v. 118, n. 2016, p. 259–276, 2016.

HOLMES, M. J.; HACKER, J. N. Climate change, thermal comfort and energy: Meeting the design challenges of the 21st century. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 7, p. 802–814, 2007

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY; ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT**. World Energy Outlook2009**. Paris: IEA International Energy Agency; OECD, 2009.

MARSZAL, A. J.; HEISELBERG, P. Life cycle cost analysis of a multi-storey residential Net Zero Energy Building in Denmark. **Energy** 36: 5600-5609. 2011

OUYANG, J.; GE, J.; HOKAO, K. Economic analysis of energy-saving renovation measures for urban existing residential buildings in China based on thermal simulation and site investigation. **Energy Policy**, v. 37, n. 1, p. 140–149, 2009

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.