



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA E ANÁLISE ECONÔMICA DO USO DE TELHADOS DE FIBROCIMENTO DE ALTA REFLETÂNCIA SOLAR EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR¹

SILVA, M. P. (1); MARINOSKI, D. (2); GUTHS, S. (3)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, paims.milena@gmail.com

(2) Universidade Federal de Santa Catarina, deivis.marinowski@ufsc.br

(3) Universidade Federal de Santa Catarina, saulo.guths@gmail.com

RESUMO

O uso de telhados com alta refletância solar é uma estratégia passiva para reduzir a carga de resfriamento das edificações. A utilização desses telhados também tem potencial de mitigar o fenômeno Ilha de Calor. Este trabalho objetiva analisar o desempenho termoenergético e a viabilidade econômica da aplicação de um telhado de alta refletância solar em uma edificação unifamiliar, localizada na cidade Rio de Janeiro. O tipo de telha selecionada foi a de fibrocimento, sendo analisada na cor natural e na cor branca. Foi realizada a medição da refletância solar e da emitância térmica para as duas cores da telha, bem como o cálculo do Índice de Refletância Solar (SRI). A análise termoenergética foi realizada por meio do software EnergyPlus. A análise econômica foi realizada através dos indicadores financeiros: Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e payback. O telhado com alta refletância solar diminui em até 60% o ganho de calor na edificação e a análise econômica mostrou-se viável para o cenário proposto com um payback inferior a 5 anos.

Palavras-chave: Telhado frio. Refletância solar. Emitância térmica. Análise econômica.

ABSTRACT

The use of roofs with high solar reflectance is a passive strategy to reduce the cooling load on buildings. The use of these roofs also has the potential to mitigate the heat island phenomenon. This work aims to analyze the thermoenergetic performance and the economic viability of applying a roof with high solar reflectance in a single-family building, located in the city of Rio de Janeiro. The type of tile selected was the fiber cement, being analyzed in the color in natural and white. The measurement of solar reflectance and thermal emission was performed for the two colors of the tile, as well as the calculation of the Solar Reflectance Index (SRI). Thermoenergetic analysis was performed using the EnergyPlus software. The economic analysis was carried out using the financial indicators: Net Present Value, Internal Rate of Return and payback. The roof with high solar reflectance reduces heat gain through the roof by up to 60% and the economic analysis proved to be viable for the proposed scenario with a payback of less than 5 years.

Keywords: Cool roof. Solar reflectance. Thermal emission. Economic analysis.

¹ SILVA, M. P.; DEIVIS, D.; GUTHS, S. Simulação termoenergética e análise econômica do uso de telhados de fibrocimento de alta refletância solar em uma residência unifamiliar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica nas edificações tem aumentado na última década devido ao crescimento da população, ao maior tempo gasto em ambientes fechados, ao aumento da demanda por funções de construção e qualidade ambiental interna e às mudanças climáticas globais (CAO; DAI; LIU, 2016).

O consumo de energia para resfriamento mostra uma tendência de crescimento, sendo uma preocupação primordial não apenas para países que são caracterizados por condições climáticas quentes, mas também para as cidades que sofrem com o fenômeno de ilha de calor (SYNNEFA; SANTAMOURIS; AKBARI, 2007), devido ao aumento das temperaturas urbanas associado a esse fenômeno.

Neste cenário entram os revestimentos de alta refletância solar e alta emitância térmica, também chamados de revestimentos “frios”, telhados “frios” ou refletivos. Esses materiais apresentam refletância solar e emitância altas (SANTAMOURIS, 2014). Devido a estas características, esses materiais têm a capacidade de reduzir o fluxo de calor que adentra uma edificação, reduzindo assim a necessidade de energia de resfriamento em edifícios condicionados, e melhoram as condições de conforto térmico em edifícios não condicionados (AKBARI; LEVINSON; MILLER; BERDAHL, 2005).

Os materiais frios são aqueles que refletem uma grande quantidade de radiação solar e evitam o superaquecimento das superfícies. A utilização desses materiais tem um potencial de economia de energia de resfriamento significativo, pois contribui para a redução da temperatura ambiente durante o verão e, além disso, contribui para a melhoria do microclima urbano, diminuindo a intensidade do fenômeno ilha de calor (PISELLO et al., 2016).

Para analisar o impacto de revestimentos com alta refletância solar no desempenho termoenergético de uma edificação, foi escolhida a telha de fibrocimento. A escolha do tipo de telha para este estudo foi baseada no estudo da SBK Business citado por Silva e Etulain (2010). Segundo o estudo as telhas de fibrocimento representam 54% das coberturas residenciais do mercado brasileiro.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar uma avaliação termoenergética e econômica do uso de telhado de fibrocimento de alta refletância solar em uma residência unifamiliar na cidade do Rio de Janeiro – Brasil.

3 MÉTODO

Nesta seção é apresentado o método deste estudo.

3.1 Materiais

As telhas utilizadas neste estudo foram de fibrocimento, em duas colorações: telha natural na cor cinza, representando um telhado convencional; telha de fibrocimento na cor branca, representando um telhado de alta refletância solar.

3.2 Medição da emitância térmica e refletância solar

O processo de avaliação da emitância térmica das telhas foi realizado com o uso de um emissômetro, fabricado pela empresa Devices and Services Company - D&S,

modelo AE1. O procedimento de medição foi executado segundo as recomendações da Norma ASTM C1371-15 (ASTM, 2015).

Para a medição da refletância solar, foi preciso medir a refletância espectral utilizando um espectrofotômetro (PerkinElmer, modelo Lambda 1050). A medição da refletância solar das telhas seguiu as recomendações da Norma ASTM E903 (ASTM, 2012) cobrindo uma faixa espectral de 300 nm a 2500 nm.

3.3 Cálculo do Índice de Refletância Solar (SRI)

Uma vez que a emitância térmica e a refletância solar foram medidas, foi possível calcular o Índice de Refletância Solar (SRI). Esse índice indica a capacidade de uma superfície de refletir a radiação solar e de dissipar o calor, tomando como base a temperatura de um padrão negro e um padrão branco. O SRI foi obtido segundo a Norma ASTM E1980 (ASTM, 2011). O SRI pode variar de 0 a 100, sendo que 0 representa o padrão negro e 100 o padrão branco.

3.4 Parâmetros para simulação computacional

A simulação termoenergética das telhas foi avaliada por meio de simulação computacional através do software EnergyPlus, versão 9.0.1, onde modelou-se o efeito da cobertura em uma residência unifamiliar na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. A simulação foi executada para um período anual, considerando o arquivo climático Typical Meteorological Year (TMY).

O modelo da construção simulado foi baseado em um projeto padrão de habitação popular unifamiliar desenvolvido pela CAIXA Econômica Federal (CAIXA, 2007). A edificação é composta por uma cozinha, um banheiro e três ambientes de permanência prolongada (APPs): uma sala e dois dormitórios, totalizando 42 m². Cada ambiente da edificação foi considerado como uma zona térmica no EnergyPlus. A cobertura é constituída por um ático não ventilado, que também foi simulado como uma zona térmica, trocando calor com o interior da edificação através do forro. As cargas internas de iluminação, ocupação e equipamentos estão descritas no estudo de Silva (2019).

As propriedades dos materiais construtivos da edificação foram baseadas no Anexo B da ABNT NBR 15220-2 (2005). Com base no projeto padrão de habitação popular unifamiliar da CAIXA (2007), foram adotados como parâmetros construtivos:

- Um pavimento em contato direto com o solo, possui forma retangular e pé-direito de 2,60 m;
- Paredes com espessura de 14 cm, compostas por bloco de concreto furado de 9x19x39 cm, com revestimento interno e externo: transmitância de 2,78 W/m².K, capacidade térmica de 209,0 kJ/m².K e absorvância solar das paredes externas de 0,34;
- Cobertura com duas águas e beiral de 50 cm, composta por telhas de fibrocimento e forro de policloreto de vinila (PVC). A cobertura em duas águas possui uma face voltada para o leste, cobertura dos dormitórios, e uma face voltada para oeste, cobertura da sala, cozinha e banheiro;
- Janelas de correr com duas folhas (sem proteção) na sala, cozinha e dormitórios, com área de 1,2 m²; janela de 0,48 m² no banheiro;
- Vidro comum e incolor, de 3 mm de espessura.

Os parâmetros considerados na avaliação do desempenho térmico da cobertura da residência foram: temperatura interna da edificação, temperatura externa na superfície da cobertura, taxa de transferência de calor por radiação solar, radiação térmica, convecção natural e condução. As análises foram realizadas durante 24 horas, não somente nos horários de ocupação.

Foi avaliado quanto custaria para o telhado convencional proporcionar a mesma condição térmica interna que o telhado frio, com o auxílio de um sistema de ar-condicionado. Para isso foram realizadas três simulações computacionais. Na primeira simulação foi considerada a telha na sua cor natural (cinza), e na segunda simulação, a telha na cor branca. Espera-se que a temperatura interna, quando se utiliza o telhado frio, seja inferior à temperatura interna de quando se utiliza o telhado convencional, gerando com isso uma diferença de temperatura (ΔT). A terceira simulação consiste em analisar o consumo de energia se o telhado com as telhas na cor natural proporcionasse as mesmas temperaturas internas de quando se utiliza o telhado frio. Ou seja, a terceira simulação tem o objetivo de obter a carga térmica necessária para suprir a diferença de temperatura interna (ΔT) causada pela utilização das diferentes absorptâncias de telhado. Para isso, foi simulado o telhado com as telhas na cor natural colocando ar-condicionado nos ambientes de permanência prolongada com um ajuste de temperatura de hora em hora ao longo de um ano, a fim de que o perfil de temperatura neste caso fosse igual à curva de temperatura interna utilizando o telhado frio (resultante da simulação com o telhado frio, simulação 2). As duas primeiras simulações consideraram a edificação como sendo ventilada naturalmente a fim de simular uma edificação o mais realista possível.

3.5 Parâmetros para análise econômica

A análise econômica torna-se necessária, uma vez que as telhas na cor branca possuem preço superior às telhas naturais. Foram utilizados três indicadores financeiros para realizar a viabilidade econômica, sendo eles: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e tempo de retorno do investimento (*payback* descontado). Para calcular os três indicadores financeiros, foi utilizado um fluxo de caixa utilizando os seguintes dados:

- Investimento inicial: o levantamento de preço foi baseado na planilha do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) de maio de 2019 para o Rio de Janeiro (CAIXA, 2019). No entanto, a planilha considera os valores das telhas nas cores naturais. O custo da telha branca foi considerado 30% superior à telha de fibrocimento natural, de acordo com o fornecedor;
- Economia de energia elétrica: a economia considerada foi os valores das cargas térmicas da terceira simulação, e tem o objetivo de analisar quanto o consumidor, com um telhado convencional, pagaria para obter as mesmas temperaturas internas se utilizasse o telhado frio;
- Custo de energia elétrica: a tarifa de energia foi considerada a vigente da distribuidora do Rio de Janeiro para o ano de 2019 (LIGHT, 2019a);
- Taxa de juros (TMA): foi considerada em base à Taxa SELIC de julho de 2019, com um valor de 6,5% ao ano (BCB, 2019);
- Taxa de reajuste anual da tarifa de energia elétrica: média das revisões e reajustes tarifários, de 2012 a 2019, resultando em 9,02% (LIGHT, 2019b);
- Vida útil da cobertura: foi considerada 20 anos segundo as recomendações da NBR 15575-1 (ABNT, 2013);

- Manutenção (limpeza) da cobertura: foi considerado a limpeza do telhado uma vez ao ano. No valor considerado da manutenção (limpeza) das coberturas, foi aplicada uma taxa de juros para corrigir seu valor no tempo. Esta taxa foi considerada a partir do Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC). Buscou-se a série histórica do INPC de 2012 a 2018, e o valor utilizado para a análise econômica foi a média destes 7 anos, resultando em 5,91% ao ano.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

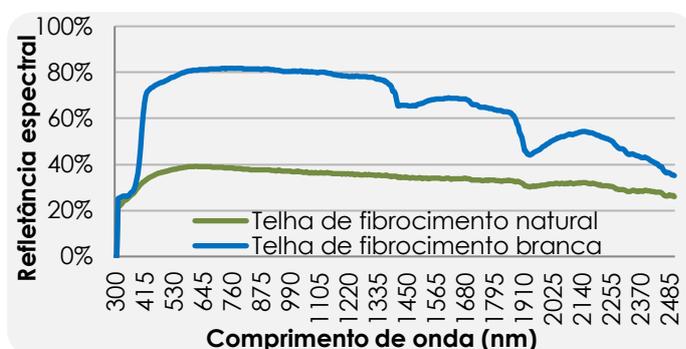
Nesta seção são apresentados os resultados desse estudo.

4.1 Emitância térmica e refletância solar das telhas de fibrocimento

A Figura 1 apresenta a variação da refletância espectral em função do comprimento de onda. A refletância solar é a integral da curva da refletância espectral, resultante de todo o espectro, e ajustada ao espectro solar padrão. A telha de fibrocimento branca apresenta uma refletância espectral superior a da telha de fibrocimento natural em todo o espectro. Integrando as curvas de refletância espectral obtém-se os índices de refletância solar. A telha de fibrocimento branca apresentou refletância solar de 0,75, ou seja, 50,7% superior à telha de fibrocimento natural que apresentou um valor de refletância 0,37.

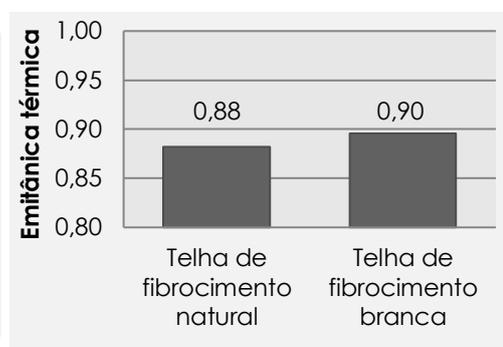
A Figura 2 apresenta os índices obtidos para a emitância térmica das telhas analisadas. A pouca variação dos índices de emitância térmica confirma que a emitância térmica não está relacionada com a cor das telhas, mas sim com suas propriedades térmicas.

Figura 1 – Refletância espectral das telhas



Fonte: Os autores

Figura 2 – Emitância térmica



Fonte: Os autores

4.2 Índice de Refletância Solar (SRI)

A determinação do SRI é uma forma de quantificar o comportamento da superfície do material perante a incidência da radiação solar. Sua determinação para os revestimentos é critério fundamental na avaliação do desempenho térmico para diferentes tipologias, e o quanto cada uma contribui para mitigar o fenômeno ilha de calor. O índice de Refletância Solar, que pondera a emitância térmica e refletância solar, resultou em um SRI de 40 para a telha de fibrocimento natural e de 93 para a telha de fibrocimento branca, utilizando o valor do coeficiente de confecção médio. Isto é, a telha de fibrocimento branca tem maior contribuição para mitigar o fenômeno ilha de calor, por resultar em um valor mais alto de SRI.

4.3 Desempenho térmico

Nesta subseção são apresentados os resultados provenientes da simulação computacional utilizando o software EnergyPlus. As temperaturas internas quando se considera o telhado frio resulta em temperaturas menores em relação ao telhado convencional. Isso é devido ao fato de que o SRI, e consequentemente o índice de refletância solar, das telhas brancas ser superior ao das telhas naturais. Por essa razão, quando se compara as máximas temperaturas internas utilizando os dois tipos de telhados, o telhado frio resulta em uma temperatura de 3,4°C menor quando comparado com o telhado convencional. Todas as diferenças de temperaturas analisadas referem-se às temperaturas máximas anuais.

Tabela 1 – Desempenho térmico das telhas (valores máximos anuais)

Parâmetros	Telhado convencional	Telhado Frio	Diferença
Temperatura interna ² (°C)	38,2°C	34,8°C	3,4°C (-9%)
Temperatura da cobertura - leste (°C)	71,2°C	49,2°C	22°C (-31%)
Ganho de calor da cobertura por radiação solar (W/m ²)	675	264	411 (-61%)
Perda de calor da cobertura por radiação térmica (W/m ²)	311	139	172 (-55%)
Taxa de transferência de calor por convecção natural da superfície da cobertura para o ambiente externo (W/m ²)	283	99	184 (-65%)
Taxa de transferência de calor por condução que adentra a edificação através da cobertura (W/m ²)	149	60	89 (-60%)

Fonte: Os autores

O telhado de fibrocimento convencional com um SRI de 40 resultou em uma temperatura da superfície da cobertura de 71,2°C, enquanto o telhado frio com um SRI de 93 resultou em uma temperatura da superfície de 49,2°C, uma diferença de 22°C, quando se analisa os valores máximos. Isso porque a refletância solar do telhado frio é superior ao telhado convencional. Consequentemente, a taxa de transferência de calor por condução da cobertura para o interior da edificação é de até 60% menor (no dia de maior diferença) utilizando o telhado frio em relação ao telhado convencional, resultando em menores temperaturas internas, como pode ser observado na Tabela 1.

Baseado nos valores das simulações computacionais (Tabela 1) e no estudo de transferência de calor de coberturas pode-se dizer que: quando a radiação solar incidente atinge a superfície de um revestimento refletivo (telhado frio), grande parte da radiação solar (ondas curtas) é refletida para o ambiente (céu e entorno), reduzindo assim o aquecimento da cobertura e resultando em temperaturas menores da superfície em relação ao telhado convencional. A parte do calor que é absorvido pela superfície da cobertura tem uma parcela devolvida para o céu, na forma de radiação térmica (infravermelha), aumentando ainda mais o resfriamento da cobertura. Como o telhado frio tem uma temperatura menor, as trocas de calor por convecção e radiação foram menos intensas, quando comparado com o telhado convencional. Assim, este fato contribui para diminuir a temperatura do ar

² A temperatura interna apresentada na Tabela 1 é referente a um dormitório. Optou-se por apresentar a temperatura interna de somente um dos ambientes de permanência prolongada tendo em vista que os resultados obtidos nos outros cômodos avaliados foram muito próximos deste valor.

ambiente, ou seja, gera uma contribuição para mitigar o fenômeno ilha de calor, e consequentemente, uma quantidade menor de calor adentra na edificação, melhorando o desempenho térmico e energético das edificações.

4.4 Análise econômica

O custo total da cobertura de 60 m² com o telhado convencional resultou em R\$ 7.864,16, enquanto o telhado frio resultou em R\$ 8.431,01. Uma diferença de R\$ 566,85. Além do preço de todos os materiais e mão de obra, levou-se em conta o valor de manutenção anual do telhado³.

A Tabela 2 apresenta os valores financeiros calculados para o cenário considerado. Baseado nos indicadores financeiros o investimento no telhado frio de fibrocimento é viável por resultar em um valor positivo de VPL; a TIR resultante foi maior do que a TMA considerada e o *payback* foi considerado aceitável uma vez que a vida útil da cobertura foi considerada 20 anos.

Tabela 2 – Indicadores financeiros

VPL	TIR (a.a.)	Payback
R\$ 8.562,17	42%	4 anos e 3 meses

Nota: Dados para uma residência unifamiliar de 42m², localizada na cidade do Rio de Janeiro, RJ.

Fonte: Da autora (2019)

5 CONCLUSÕES

A pesquisa foi desenvolvida com o intuito de verificar a influência do telhado frio (alta refletância solar e alta emitância térmica) no desempenho termoenergético de uma edificação unifamiliar térrea, de 42m², localizada na cidade do Rio de Janeiro - RJ, bem como verificar sua viabilidade econômica.

Os valores da emitância térmica foram muito semelhantes para as duas cores das telhas de fibrocimento. A refletância solar da telha branca resultou em um valor 50,7% superior à telha natural. O SRI da telha branca tem maior contribuição para mitigar o fenômeno ilha de calor, tendo em vista seu elevado valor. Em relação ao desempenho térmico, destaca-se o fato de que o telhado frio diminui em até 60% o ganho de calor por condução da cobertura para o interior da edificação.

A decisão de implementar medidas que sejam diferentes das comumente utilizadas por projetistas está baseada em aspectos econômicos. Por este motivo, o presente estudo incorporou uma análise econômica, para verificar se a implementação de um telhado frio seria viável economicamente. A implementação do telhado frio mostrou-se viável para o cenário proposto, com um *payback* de 4 anos e 3 meses.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos financeiros concedidos.

³ Com o passar do tempo de exposição do telhado branco ao meio, este vai envelhecendo e perdendo parte da sua refletância solar. No entanto, autores como (BRETZ, AKBARI; 1997, PEREIRA, 2014) afirmam que, quando o telhado frio é submetido a processos de limpeza, sua refletância pode ser restaurada em quase 100% da sua refletância original. Em vista disso, buscou-se o levantamento de preço da manutenção (limpeza) do telhado frio. O valor adotado para a manutenção foi de R\$ 10,00 para cada m² de telhado.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações. Parte 2**. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 15575-1 –Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro, 2013.
- AKBARI, H.; LEVINSON, R.; MILLER, W.; BERDAHL, P. Cool colored roofs to save energy and improve air quality. **In: International Conference on Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment**. Santorini, Grécia. p. 89-100, 2005.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C1371-15**: Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers. ASTM International, 2015.
- _____. **E1980-01**: Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces. ASTM International, 2011.
- _____. **E903-12**: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. ASTM International, 2012.
- BRETZ, S.E.; AKBARI, H. Long-term performance of high-albedo roof coatings. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 159-167, 1997.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxa Selic**. Brasília, 2019.
- CAIXA. **Cadernos CAIXA Projeto padrão – casas populares | 42m²**. 2007.
- CAIXA. **SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_RJ_052019_NaoDesonerado**. 2019.
- CAO, X.; DAI, X.; LIU, J. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 198-213, 2016.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC) – Série Histórica 2012 a 2020**. Rio de Janeiro, 2019.
- LIGHT. **Composição da Tarifa**. Rio de Janeiro, 2019a.
- LIGHT. **Histórico do Efeito Médio Percebido**. Rio de Janeiro, 2019b.
- PEREIRA, C. D. **Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico de edificações**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, 2014.
- PISELLO, A.L.; CASTALDO, V.L.; PIGNATTA, G.; COTANA, F.; SANTAMOURIS, M. Experimental in-lab and in-field analysis of waterproof membranes for cool roof application and urban heat island Mitigation. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 180-190, 2016.
- SANTAMOURIS, M. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. **Solar Energy**, v. 103, p. 682 – 703, 2014.
- SILVA, A.L.G.; ETULAIN, C. **Avaliação do Impacto Econômico da Proibição do Uso do Amianto na Construção Civil no Brasil** - Convênio de Cooperação Técnica 4416 – ABIFibro/Unicamp – Relatório Final de Pesquisa. 2010.
- SILVA, M. P. **Simulação termoenergética e análise econômica do uso de telhados de alta refletância solar em uma residência unifamiliar**. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2019.
- 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, p. 1167-1174, 2007.