



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

AVALIAÇÃO DE TELHADOS CERÂMICOS DE ALTA REFLETÂNCIA SOLAR ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA E ANÁLISE ECONÔMICA 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

Uma das estratégias passivas para reduzir a carga de resfriamento das edificações é a utilização de telhados com alta refletância solar. Além disso, a utilização desses telhados tem potencial de mitigar o fenômeno Ilha de Calor. O presente estudo 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. A telha do tipo cerâmica foi selecionada por ser um dos tipos mais usuais no país. Neste trabalho a telha cerâmica foi 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 cerâmico com alta refletância solar diminui em até 55% o ganho de calor através da cobertura da edificação e a análise econômica indicou viabilidade com um payback inferior a 13 anos.

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

ABSTRACT

One of the passive strategies to reduce the cooling load on buildings is the use of roofs with high solar reflectance. In addition, the use of these roofs has the potential to mitigate the Heat Island phenomenon. This study aims to analyze the thermoenergetic performance and economic viability of applying a high solar reflectance roof to a single family building, located in the city of Rio de Janeiro. The ceramic tile was selected because it is one of the most common types in the country. In this work the ceramic tile was analyzed in the color 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 ceramic roof with high solar reflectance reduces by up to 55% the heat gain through the building's roof and the economic analysis proved to be viable with a payback of less than 13 years.

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

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

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2017 (BEN), o consumo final de energia elétrica para os setores residencial, comercial e público correspondem a 51% do total e são identificados como a principal demanda de eletricidade do país. Esse consumo continuará crescendo principalmente para atender a demanda por condicionador de ar, que por conta da ampliação do seu acesso pelas famílias, será o principal responsável pelo consumo de energia elétrica nos domicílios na projeção até 2026 (EPE, 2017).

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 não desprezível, 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 realizar as análises deste estudo foi escolhida a telha cerâmica. 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 cerâmicas representam 43% das coberturas residenciais do mercado brasileiro.

2 OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo principal realizar uma avaliação termoenergética e econômica do uso de telhado com telhas cerâmicas de alta refletância solar em uma residência unifamiliar na cidade do Rio de Janeiro – Brasil.

3 MÉTODO

Nesta seção é apresentado o método realizado neste estudo.

3.1 Seleção das telhas

A telha selecionada para este estudo foi do tipo cerâmica, em duas colorações: telha natural na cor alaranjada, representando um telhado convencional; telha cerâmica na cor branca, representando um telhado de alta refletância solar (telhado frio).

3.2 Medição das propriedades: emitância térmica e refletância solar

O processo de avaliação da emitância térmica das telhas foi realizado com o uso de um emissômetro, 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), o qual permite a medição da refletância espectral de materiais opacos. 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).

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 cerâmicas 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, temperatura externa na superfície da cobertura, taxa de transferência de calor por radiação solar, taxa de transferência de calor por radiação térmica, taxa de transferência de calor por convecção natural, taxa de transferência de calor por condução pelo forro. As análises foram realizadas durante 24 horas, não somente nos horários de ocupação.

Foi avaliado quanto custaria de energia elétrica 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 foi realizada três simulações computacionais. Na primeira simulação foi considerada a telha na sua cor natural (alaranjada), 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 do que 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 absorvâncias 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 (resultantes da simulação com o telhado frio, simulação 2).

A consideração do sistema de condicionamento artificial na modelagem foi feita a partir da adoção do grupo de objetos Ideal Loads Air System no EnergyPlus. Como resultado da simulação, foi obtido as cargas térmicas. Para transformar as cargas térmicas em consumo de energia elétrica foi utilizado um COP de 3.

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. Em relação ao custo da telha branca, foi adicionado um valor de R\$ 2,00, por telha, em relação ao preço da telha cerâmica natural, baseado na pesquisa de mercado realizada;
- 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

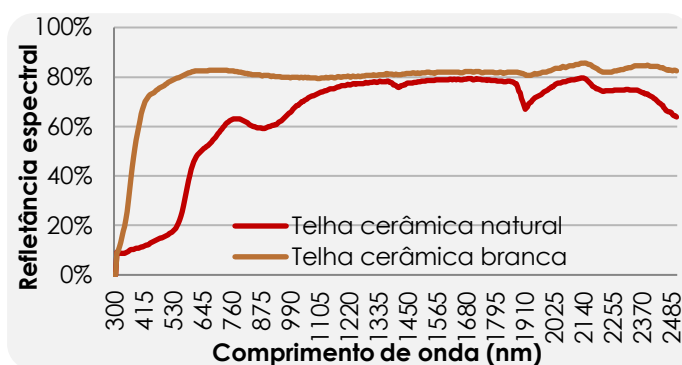
Nesta seção são apresentados os resultados encontrados e suas análises.

4.1 Emitância térmica e refletância solar das telhas de cerâmicas

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 cerâmica branca apresenta uma refletância espectral superior a da telha cerâmica natural em todo o espectro, com uma diferença maior na parcela do visível e uma diferença menor no infravermelho próximo. Integrando as curvas de refletância espectral obtém-se os índices de refletância solar. A telha cerâmica branca resultou em uma refletância solar de 0,78, ou seja, 37,2% superior à telha de cerâmica natural que apresentou um valor de refletância 0,49.

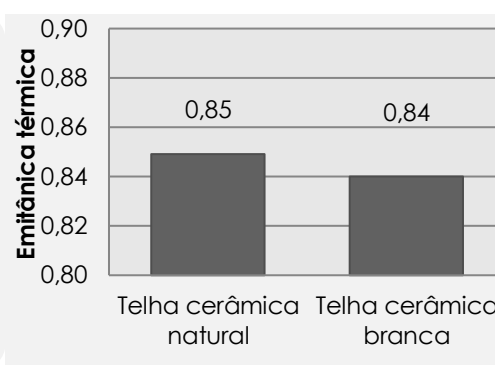
A Figura 2 apresenta os índices obtidos para a emitância térmica das telhas analisadas. A pouca variação dos índices de emitância térmica confirma que a emitância térmica não está relacionada com a cor das telhas, mas sim com suas propriedades térmicas.

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 56 para a telha cerâmica natural e de 96 para a telha cerâmica branca, utilizando o valor do coeficiente de confecção médio. Isto é, a telha cerâmica 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 conseqüentemente 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 2,6°C menor quando comparado com o telhado convencional.

O telhado cerâmico convencional com um SRI de 56 resultou em uma temperatura da superfície da cobertura de 64,7°C, enquanto que o telhado frio com um SRI de 96 resultou em uma temperatura da superfície de 47,7°C, uma diferença de 17°C, quando se analisa os valores máximos. Isso porque a refletância solar do telhado frio é superior ao telhado convencional. Conseqüentemente, a taxa de transferência de calor por condução da cobertura para o interior da edificação é menor utilizando o telhado frio, resultando em menores temperaturas internas, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Desempenho térmico das telhas (valores máximos)

Parâmetros	Telhado convencional	Telhado Frio	Diferença
Temperatura interna ² (°C)	37,2°C	34,6°C	2,6°C (-7%)
Temperatura da cobertura - leste (°C)	64,7°C	47,7°C	17°C (-26%)
Ganho de calor da cobertura por radiação solar (W/m ²)	538	232	306 (-57%)
Perda de calor da cobertura por radiação térmica (W/m ²)	245	118	127 (-52%)
Taxa de transferência de calor por convecção natural da superfície da cobertura para o ambiente externo (W/m ²)	233	92	141 (-61%)
Taxa de transferência de calor por condução que adentra a edificação através da cobertura (W/m ²)	128	58	70(-55%)

Fonte: Os autores

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

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.

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 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 cerâmico convencional resultou em R\$ 10.661,45, enquanto o telhado frio resultou em R\$ 12.850,10. Uma diferença de R\$ 2.188,65. Além disso, precisa ser levado em consideração o valor de manutenção anual³. A Tabela 2 apresenta os valores financeiros calculados para o cenário considerado. Baseado nos indicadores financeiros o investimento no telhado frio de cerâmica 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\$ 4.019,33	15%	12 anos e 5 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 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 cerâmicas. A refletância solar da telha branca resultou em um valor 37,2% superior à telha de natural. O SRI a telha branca tem maior contribuição para mitigar o fenômeno ilha de calor, tendo em vista seu elevado valor de SRI. Em relação ao desempenho térmico, destaca-se o fato de que o telhado frio diminui em até 55% 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. Os indicadores financeiros, VPL e TIR apresentarem resultados viáveis. O *payback* resultou em um valor de aproximadamente 12,5 anos, também considerado viável, uma vez que a vida útil atribuída para a cobertura é de 20 anos.

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.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelos recursos financeiros concedidos.

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.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanco Energético Nacional, Ano Base 2016**. Brasília: EPE, 2017.
- _____. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026/ Ministério de Minas e Energia**. Brasília: MME/EPE, 2017.
- 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, Universidade Federal de Santa Catarina. 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, 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.
- 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.