

Telhado verde e telhado frio e suas contribuições para a redução da temperatura ambiente em construções na cidade de Cascavel no oeste do estado do Paraná

Thayara Letícia Tonietto¹

Jair Antonio Cruz Siqueira¹

Fúlvio Natércio Feiber²

Hitomi Mukai¹

Giovana Dombeck Vieira¹

Luciene Kazue Tokura¹

Resumo

A cobertura é um dos maiores componentes de uma edificação, ela recebe a radiação solar direta e por longas horas do dia, portanto alternativas para reduzir a carga de calor da edificação são muito importantes, pois a temperatura interna da edificação será reduzida o quanto antes, reduzindo assim o consumo de energia. Telhados verdes e telhados frios são uma opção para a redução de temperaturas internas em edificações. O objetivo desse trabalho foi avaliar e comparar essas duas estratégias (telhado verde e telhado reflexivo) por meio da análise de 3 protótipos instalados em Cascavel-PR, com foco no conforto ambiental. Sendo 1 protótipo com telhado verde, 1 protótipo com telha de fibrocimento com aplicação de tinta térmica branca e 1 protótipo com telhado de fibrocimento sem tratamento, sendo a testemunha. Termopares tipo J foram usados para avaliar a temperatura interna e externa do protótipo ao longo de 60 dias. Posteriormente, os dados foram inseridos no software Sisvar 5.6. Para a realização da análise de variância e do teste de médias, por meio do teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A temperatura média registrada do telhado frio 24,59 °C e do protótipo do telhado verde 24,80 °C é a mesma e inferior a temperatura média do protótipo testemunha 26,08 °C, enquanto a umidade do telhado verde trouxe resultados mais satisfatórios. Portanto, devido ao alto custo de implantação das coberturas verdes, as coberturas frias são uma opção para as edificações rurais.

Palavras-chave: arquitetura bioclimática, sistemas de cobertura, conforto ambiental, conforto térmico, condutividade térmica.

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, PPGEA, Cascavel, Paraná. E-mail: giovana.dombeck@hotmail.com

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Coordenador do Curso de Especialização em Arquitetura e Tecnologia da Construção da UTFPR, Toledo, Paraná.

Abstract

The roof is one of the largest components of a building, it receives direct solar radiation for long hours of the day, therefore alternatives to reduce the heat load of the building are very important, as the internal temperature of the building will be reduced as soon as possible, thus reducing energy consumption. Green roofs and cold roofs are an option for reducing internal temperatures in buildings. The objective of this work was to evaluate and compare these two strategies (green roof and reflective roof) through the analysis of 3 prototypes installed in Cascavel-PR, focusing on environmental comfort. 1 prototype with a green roof, 1 prototype with fiber cement tiles with the application of white thermal paint and 1 prototype with an untreated fiber cement roof, being the witness. Type J thermocouples were used to evaluate the internal and external temperature of the prototype over 60 days. Subsequently, the data were entered into the Sisvar 5.6 software. To carry out the analysis of variance and the mean test, using the Tukey test at a 5% probability level. The recorded average temperature of the cold roof 24.59 °C and the green roof prototype 24.80 °C is the same and lower than the average temperature of the witness prototype 26.08 °C, while the humidity of the green roof brought more satisfactory results. Therefore, due to the high cost of implementing green roofs, cold roofs are an option for rural buildings.

Keywords: bioclimatic architecture, roofing systems, environmental comfort, thermal comfort, thermal conductivity.

Introdução

A aplicação do conceito de conforto à moradia teve início no século XVIII, e que esse conceito surge inicialmente ligado ao conforto térmico. (Rybczynski, 1996). Ao contar dos tempos antigos, o homem buscava proteção das intempéries climáticas, demonstrando que o conforto e as pessoas estão interligados. Em contraponto disso, nos últimos anos, devido às facilidades trazidas pela modernidade, tem crescido essa busca por conforto nas edificações, com a utilização de aparelhos de ar-condicionado, ventiladores, torneiras elétricas, cortinas automáticas, entre outros (Mascaró, 1992).

Uma construção mais sustentável depende da “seleção correta de materiais e componentes, que pode ser definida como a seleção de produtos que, combinada a um correto detalhamento de projeto, resultam em impactos ambientais menores, benefício social e viabilidade econômica” (John *et al.*, 2006).

Assim, o alto desenvolvimento tecnológico gerando novos materiais e sistemas prediais que podem tanto diminuir impactos como também podem promover um aumento de bem-estar humano e incremento no ecossistema local (Yeang, 2006).

O autor referenciado anteriormente, conclui que uma série de fatores incide na escolha de materiais e componentes de forma mais sustentável: fontes de energia renováveis na produção ou manutenção e baixa energia embutida (inclusive no transporte); alto conteúdo reciclado, maximizando futura reutilização ou reciclagem; potencial do material para ser continuamente reutilizado ou reciclado no fim de sua vida útil; baixo impacto ecológico na produção (emissão, resíduo e poluição baixos); biodegradabilidade; produção local dos materiais ou uso de materiais que não são refinados e mais próximos de seu estado natural, já que assim é gasto menos energia para utilizá-lo; baixa toxicidade para humanos e ecossistemas; método de instalação e desinstalação facilitada; ciclo de vida longo para maior durabilidade e menor uso de recursos (Yeang, 2006).

A temperatura dentro de um edifício está relacionada a fatores externos (radiação solar e variáveis climáticas) e internos (iluminação artificial, equipamentos internos, etc.) (Mascaró, 1992). Por estarem expostas à radiação solar, a cobertura tem grande impacto no desempenho térmico da edificação. Ao contrário das paredes, a cobertura fica exposta ao sol todos os dias do ano, o que ajuda a aumentar a temperatura (Aljebur, 2015).

Ao abordar o tema coberturas, o telhado verde nas construções sustentáveis passa a ser um procedimento empregado com sistema de drenagem e impermeabilização do ambiente ao qual será introduzido (Alberto *et al.*, 2020).

O telhado verde passa a ser uma possibilidade que conseguiria diminuir os efeitos nas construções, aprimorando a qualidade do ar a partir da absorção de CO₂ provocada pela vegetação que por sua vez, possibilita o refinamento do conforto térmico aos ambientes internos, com isso, o telhado passa a ser um isolante térmico (Moraes, 2013).

O calor gerado pela cobertura de uma casa térrea é responsável por mais de 50% do calor total (Loh *et al.*, 2011). No Brasil, nota-se que a maior parte das coberturas são escuras e os telhados são revestidos com telhas de fibrocimento, que são utilizadas principalmente para habitação social e galpões agrícolas, que aumentam a absorção da radiação solar e aumentam a temperatura interna (Ikematsu, 2007).

A propriedade física mais importante da cobertura é a condutividade térmica, que deve ser a mais baixa. Portanto, reduzir a transferência de calor dos materiais ao redor dos edifícios é essencial para reduzir os requisitos de resfriamento e aquecimento (Madhumathi *et al.*, 2014).

Constatou em sua tese de doutorado que a inclinação do telhado no verão tem pouco efeito sobre o fluxo de calor, e o uso de isolamento térmico sob o telhado tem um efeito melhor do que a ventilação. Também confirmou que as variáveis mais relevantes para a redução do fluxo de calor no verão são a emissividade, a resistência térmica dos materiais de cobertura e a absorção solar (Lamberts, 1988).

O principal benefício de uma cobertura verde é que devido à inércia térmica do sistema construtivo, a temperatura interna do ambiente é reduzida, havendo um atraso na transferência do fluxo de calor gerado pela radiação solar (Perussi; Vecchia, 2020). Outros benefícios incluem: redução da poluição do ar, aumento da biodiversidade, melhoria da eficiência energética (Coelho, 2019).

A pesquisa analisada a economia líquida de telhados verdes em relação aos telhados frios em um período de 50 anos, os telhados verdes sofreram perdas devido aos altos custos de instalação. A economia líquida trazida por telhados frios foi de US \$ 25/m², e as perdas econômicas ocasionadas por telhados verdes foram de US \$ 71 / m². O autor ressalta que se o proprietário do telhado está preocupado com o aquecimento global, ele deve escolher um telhado branco porque é três vezes mais eficiente que um telhado verde no resfriamento do mundo (Sproul *et al.*, 2014).

Os materiais frios são um tipo especial de tinta com alta refletividade solar e, em comparação com os materiais de construção tradicionais, tendem a reduzir a absorção da radiação solar, limitando assim o aumento da temperatura da

superfície do telhado. Assim, a refletância solar, a emissividade térmica e a absorvância solar são um dos principais fatores que afetam a temperatura superficial dos materiais (Ganguly *et al.*, 2016).

A refletância solar e a radiação térmica são as duas propriedades principais da superfície do material que determinam a temperatura do telhado. Como a maioria dos telhados é escura, eles absorvem 90% ou mais da energia solar, portanto, quando o clima é claro e quente, o telhado pode atingir uma temperatura de 66 graus ou mais (Urban; Roth, 2019).

Os benefícios de uma cobertura fria são diversos, como a redução da temperatura do ar local e o impacto das ilhas de calor, redução da demanda de eletricidade (Urban; Roth, 2019), e menor taxa de absorção de energia solar (Levinson; Akbari, 2010). Porém, no inverno, em comparação com o verão, a posição do sol no céu é muito mais baixa, o dia é mais curto e o céu tende a ficar mais nublado, reduzindo assim a quantidade de luz solar disponível no telhado (Santamouris *et al.*, 2010).

Avaliou-se o impacto de telhados frios em edifícios rurais e suburbanos na Índia. As salas de aula com as mesmas especificações (uma com telhado branco e outra cinza) foram monitoradas por dez semanas. Os resultados mostraram que o telhado frio tem impacto significativo, devido a redução da temperatura superficial das coberturas internas e externas, diminuindo assim a temperatura interna do ar, melhorando o conforto térmico. Um dos resultados é que a temperatura interna de sala com tratamento e não tratamento foi de pelo menos 1 grau e no máximo 4 graus (Garg *et al.*, 2016).

Elaborou-se um estudo com simulação computacional, em cinco zonas climáticas na Índia e descobriu que o retorno financeiro sobre telhados frios era inferior a três anos (Bhatia *et al.*, 2011).

Portanto, este estudo tem como objetivo analisar e comparar a utilização das duas estratégias de telhado, telhado verde e telhado frio, e então examinar qual estratégia apresenta o melhor desempenho térmico. Este estudo é significativo porque nenhuma comparação foi encontrada entre os dois métodos, e a maioria dos estudos analisa apenas telhados verdes ou frios ou simulações computacionais.

Materiais e Métodos

A pesquisa foi realizada na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, localizada no campus de Cascavel-PR, latitude de 24°98' Sul, Longitude 53°45' Oeste e altitude de, aproximadamente, 750 metros em relação ao nível do mar (Figura 1). A cidade de Cascavel está localizada na região oeste do estado do Paraná e na região sul do Brasil. Cascavel tinha uma população estimada de 332.333 pessoas no ano de 2020 e se estende por 2.100,8 km², sendo polo estratégico do Mercosul e considerada a capital do Oeste do Paraná (IBGE, 2020).

Figura 1. Localização da instalação dos protótipos.



Fonte: Google Maps (2020).

O experimento foi verificado por meio dos dados coletados diariamente, em 21 de novembro de 2020 a 20 de janeiro de 2021, no período mais quente do ano devido ao solstício de verão do hemisfério sul. Através de protótipos de madeira de pinus, sendo: telhado verde, telhado de fibrocimento com tinta fria e telhado de fibrocimento sem tratamento.

A vegetação escolhida para o telhado verde foi a grama esmeralda (Figura 2), por ser muito comum nesta região, com baixo custo e vastamente utilizada para telhados verdes. A camada impermeabilizante presente no telhado verde, é habitualmente composta por uma manta asfáltica, no entanto, devido ao alto custo da aquisição, superior a mil reais, foi utilizado sacos plásticos, pelo baixo custo, para que os demais itens não vazassem para o interior do protótipo. O substrato escolhido é o arenoso, composta por uma mistura sendo uma parte de terra comum, outra de terra vegetal e outras duas de areia comum. Sendo valoroso o substrato ter esse toque arenoso, para quando estiver molhado não ficar pegajoso, uma vez que assim não se compactam com seu próprio peso, o que facilita a permeabilidade do meio (Snodgrass; Mcintyre, 2010).

Figura 2. Grama esmeralda.



Fonte: Gramas e Gramados (2020).

Dois termopares de tipo J foram instalados em cada protótipo, para a medição da temperatura. Um termopar foi utilizado para medição da temperatura de bulbo úmido, o outro foi utilizado para medição da temperatura de bulbo seco.

Para a determinação de umidade relativa do ar, foi instalado um psicrômetro aspirado.

O termopar tipo J é um sensor de temperatura simples, durável e de baixo custo, amplamente utilizado em vários processos de medição de temperatura. Eles são compostos por dois metais diferentes, e suas extremidades são unidas para formar um circuito fechado (Digel, 2021).

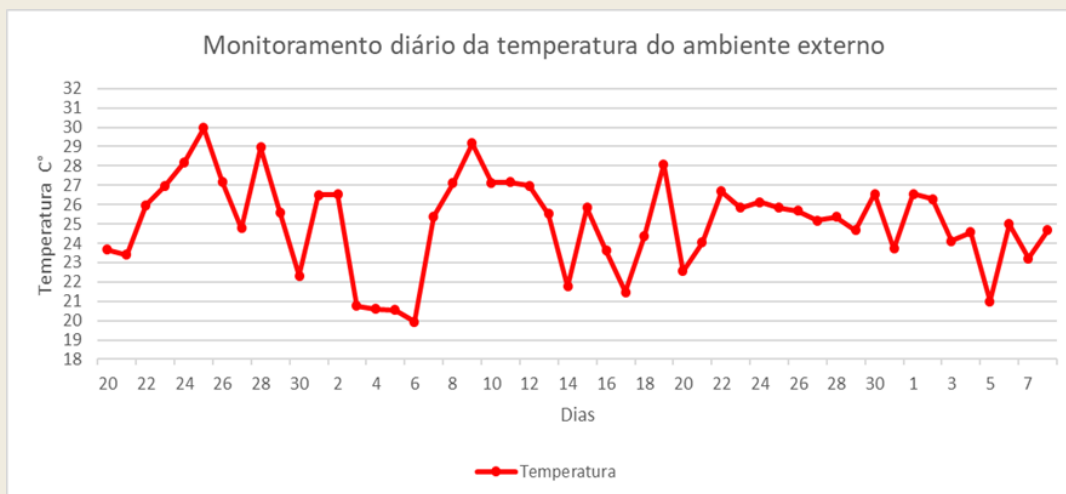
O sistema de psicrômetro aspirado consiste na instalação de dois termopares adaptados a um tubo de pvc de 75mm, sendo um sensor para a temperatura de bulbo seco, e outro adaptado a uma mecha de material higroscópio, ligado a um reservatório de água ventilado por sistema de cooler, com velocidade cerca de mais ou menos 5 m/s acionado a cada 15 minutos, conforme (Cunha; Volpe, 2014). Esses sensores são conectados ao registrador de dados Campbell Scientific CR 1000, que transmite os dados para a interface do programa registrador de dados no computador.

A faixa de conforto a ser considerada foi baseada na norma 16401/08, com temperaturas internas entre 22,5°C a 25,5°C (para umidade relativa de 65%), e 23,0°C a 26,0°C (para umidade relativa de 35%).

Resultados e Discussão

Considerando os 60 dias completos da coleta de dados, verifica-se a partir da Figura 3 o monitoramento diário durante os 60 dias analisados da temperatura do ambiente externo (°C) registrado na Cidade de Cascavel, Paraná, sendo que a média da temperatura ambiente foi de 25,08 graus Celsius durante esse período.

Figura 3. Gráfico com o monitoramento diário da temperatura do ambiente externo no período de 60 dias.



Na Figura 4 pode ser observado os dados obtidos usando um psicrômetro aspirado para controlar a umidade relativa do ar interna dos telhados. A UR apresentada pela cobertura sem tratamento ficou a mesma da cobertura fria, enquanto a cobertura verde apresenta diferentes níveis de umidade. Conforme demonstrado na Tabela 1, isso pode ser confirmado na análise de variância por meio do teste de Tukey a 5% de significância.

Figura 4. Gráfico com a umidade relativa do ar (UR) para os telhados analisados, obtidos através das temperaturas do bulbo seco e bulbo úmido.

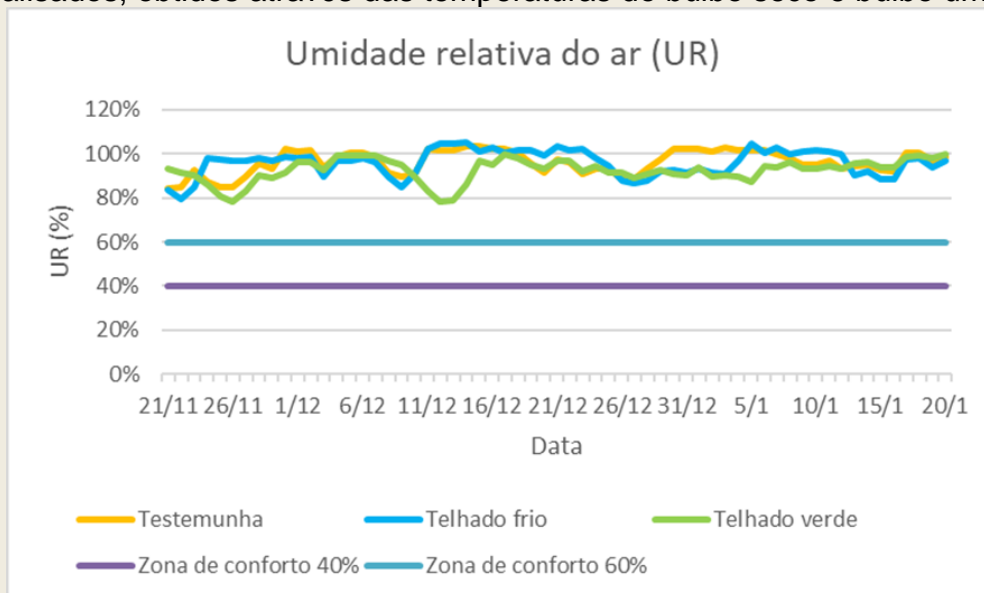


Tabela 1. Temperatura média interna (°C) para testemunha, telhado verde e telhado frio e média da Umidade Relativa do ar (%).

Tratamento	Bulbo Seco (°C)	Umidade Relativa (%)
Testemunha	26,08 b	96 a
Telhado frio	24,59 a	96 a
Telhado verde	24,80 a	92 b

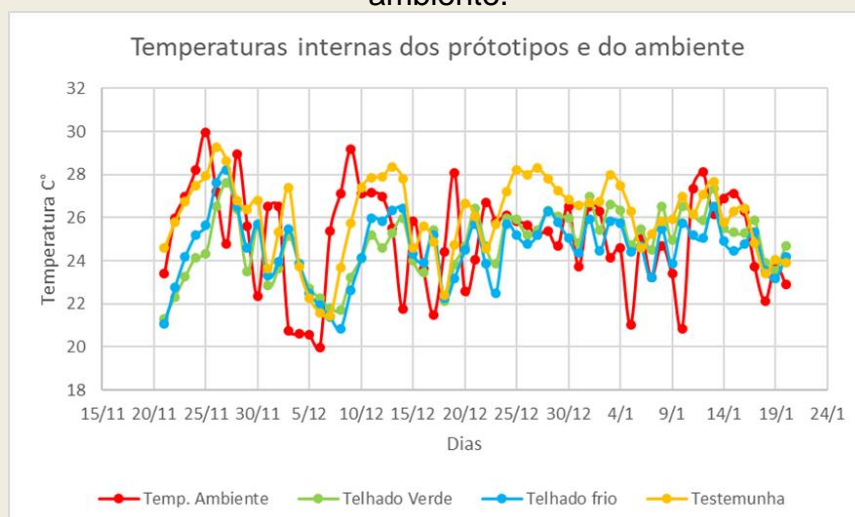
Teste Tukey a 5% de significância da média de temperatura registrada do período avaliado e da média da Umidade Relativa do ar. Letras diferentes na coluna, indicam diferenças significativas ao nível de 5% de significância.

Em relação à umidade, pode-se constatar que a umidade dos componentes da cobertura verde é sempre superior à registrada na cobertura tradicional. O mesmo comportamento foi obtido nas pesquisas realizadas, anteriormente no Rio de Janeiro (Feitosa; Wilkinson, 2018) e na cidade de São Paulo Limeira (Frizon *et al.*, 2018).

Juntamente às formas de análise de dados apresentadas anteriormente, o teste Tukey expressamente utilizado para verificar qualquer diferença entre duas médias, com resultados precisos (Oliveira, 2008).

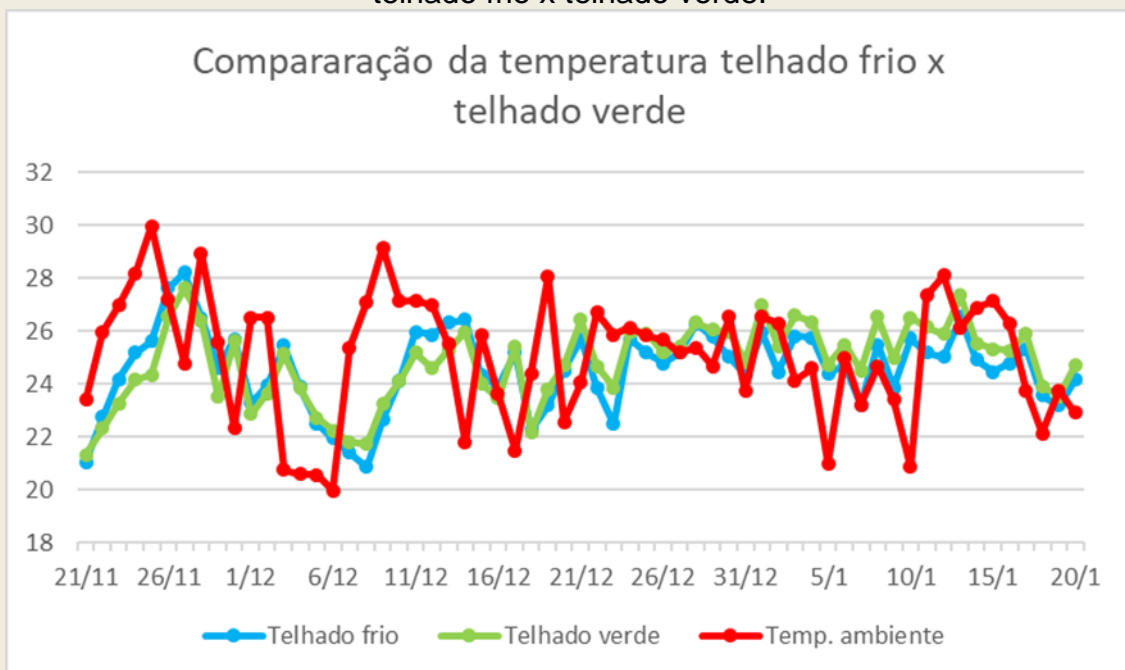
Na Figura 3 pode ser observado o gráfico com variação da temperatura ambiente e temperatura interna do telhado verde, frio e testemunha. Em vários dias, o gráfico do telhado sem tratamento apresentou uma temperatura maior que a própria temperatura ambiente e do telhado verde e frio.

Figura 5. Gráfico com o monitoramento das temperaturas internas e do ambiente.



Observa-se uma comparação das temperaturas entre o telhado frio e o verde na Figura 6, nessa análise, percebe-se que praticamente os dois tratamentos tiveram os mesmos resultados, e que houve uma diferença na diminuição ou aumento de temperatura em relação a temperatura ambiente. No dia mais quente do período analisado, 25 de novembro, os dois tratamentos apresentaram temperaturas menores que da temperatura ambiente. E no dia mais frio, 06 de dezembro, temperaturas maiores, confirmando a que os telhados armazenam calor nos dias mais frios.

Figura 6. Gráfico com o monitoramento das temperaturas internas do protótipo telhado frio x telhado verde.



A comparação do Δt ($\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna do protótipo}$) para os três protótipos durante todos os dias avaliados apresentou que o telhado sem tratamento ficou 1°C mais quente que a temperatura média externa do período, no qual a temperatura externa teve média de $25,08^\circ\text{C}$ e a do protótipo testemunha de $26,08^\circ\text{C}$ (Tabela 2).

Tabela 2. Temperatura média interna (°C) para testemunha, telhado verde e telhado frio e média da Umidade Relativa do ar (%).

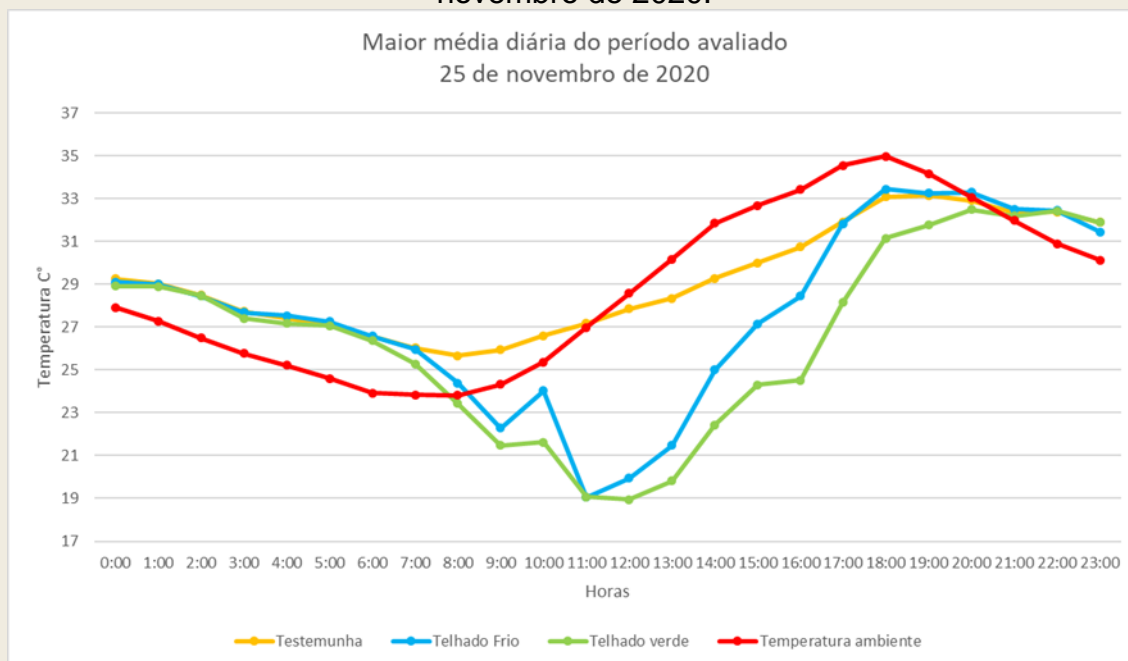
Tratamento	Bulbo Seco (°C)	Umidade Relativa (%)
Testemunha	26,08 b	96 a
Telhado frio	24,59 a	96 a
Telhado verde	24,80 a	92 b

Teste Tukey a 5% de significância da média de temperatura registrada do período avaliado e da média da Umidade Relativa do ar. Letras diferentes na coluna, indicam diferenças significativas ao nível de 5% de significância.

Comportamento térmico da maior média registrada do período avaliado

A maior média térmica registrada durante o período avaliado foi no dia 25 de novembro de 2020, com 28,83 graus. Na Figura 7 pode ser observado as variações de temperatura ao longo do dia dos 3 protótipos e da temperatura ambiente.

Figura 7. Gráfico da maior média registrada do período avaliado, 25 de novembro de 2020.



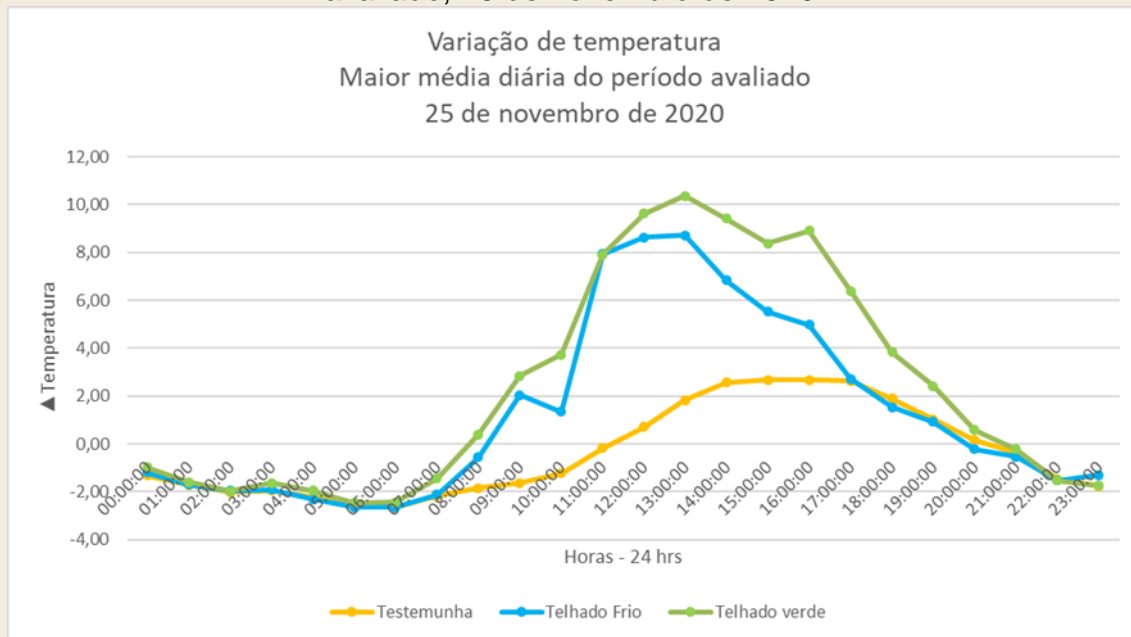
A média da temperatura externa foi de 28,83°C. A média da temperatura interna do telhado sem tratamento foi de 29,20°C (fora da zona de conforto, segundo a norma 16401/08). A média da temperatura interna do telhado frio foi de 27,56°C (fora da zona de conforto, segundo a norma 16401/08) e a média da temperatura interna do telhado verde foi de 26,46°C (fora da zona de conforto, segundo a norma 16401/08).

Todos os protótipos apresentaram médias fora da zona de conforto segundo a norma 16401/08. Se analisarmos por horário, no período das 10h às 14h da tarde, horário que o telhado mais recebe radiação solar, o telhado frio e telhado verde apresentaram dados dentro da zona de conforto, enquanto a temperatura externa estava fora da zona de conforto.

Para verificar a contribuição na diminuição da temperatura de cada protótipo, conforme observado na figura 06, tem-se o $\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna}$ de cada protótipo, percebe-se que o telhado verde chegou a apresentar uma variação média de temperatura de 10,37°C, às 13h da tarde. Às 17h, hora mais quente do dia com 28,16°C, a variação média de temperatura chegou a quase 7°C de diferença. Às horas da manhã, o protótipo do telhado frio, apresentou a mesma variação de temperatura que o telhado verde, com 7,92°C de diferença da temperatura ambiente.

O horário que teve a maior amplitude térmica dos dois telhados com tratamento, as 13h da tarde, o telhado frio apresentou 8,71°C e o telhado verde 10,37°C conforme citado anteriormente, nem dois graus de diferença. Ou seja, a amplitude térmica dos dois foi quase a mesma, conforme confirmado no teste Tukey a 5% de significância, mas a média da umidade relativa do ar do telhado frio foi a mesma do telhado sem tratamento, já o telhado verde foi diferente dos dois.

Figura 8. Gráfico da variação de temperatura da maior média diária do período avaliado, 25 de novembro de 2020.



O Δt do telhado testemunha ($\Delta t = \text{temp. ambiente} - \text{temp. interna do telhado testemunha}$) apresentou variação média de $-0,40^\circ\text{C}$ a temperatura externa do ambiente no dia mais quente do período avaliado, 25/11/2020, ou seja, ficou $0,40^\circ\text{C}$ mais quente o ambiente externo (Tabela 3). Enquanto o telhado frio e o telhado verde apresentaram variações térmicas médias de $1,27^\circ\text{C}$ e $2,36^\circ\text{C}$ consequentemente, ou seja, ficaram $1,27^\circ\text{C}$ e $2,36^\circ\text{C}$ mais frios que o ambiente externo, confirmado no teste Tukey, que os dois tratamentos não diferem entre si, apenas do protótipo testemunha.

Durante a elaboração deste trabalho, comparou o telhado verde com o telhado convencional e encontrou resultados similares, mas com uma amplitude térmica maior, de $4,49^\circ\text{C}$ para a cidade de Cascavel-PR (Souza, 2016). Na Itália, observou que a temperatura interna diferia em até $3,5^\circ\text{C}$ em comparação com a camada de cobertura verde. Os valores exibidos são semelhantes aos obtidos neste trabalho (Gagliano *et al.*, 2015).

O fato ocorre devido o telhado verde possuir camadas de isolamento que desaceleram o fluxo de calor através da cobertura, assim, menor energia térmica é transferida do exterior para o interior da edificação (Rosseti *et al.*, 2013).

Tabela 3. Temperatura média interna (°C) para testemunha, telhado verde e telhado frio e média da Umidade Relativa do ar (%) do dia mais quente do período avaliado.

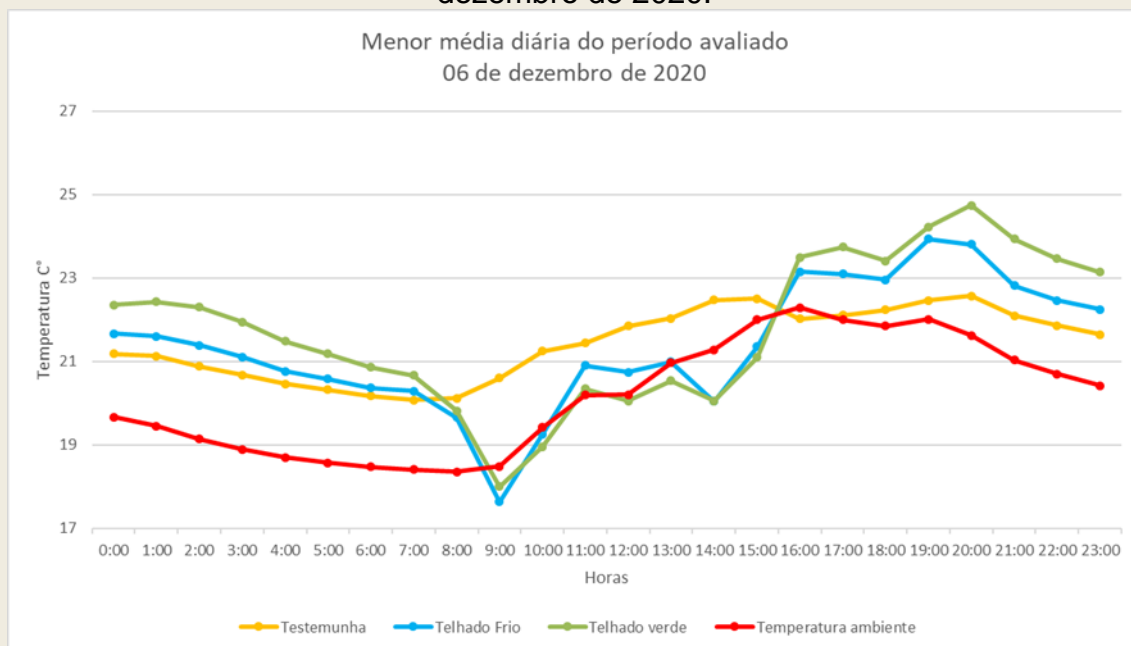
Tratamento	Bulbo Seco (°C)	Umidade Relativa (%)
Testemunha	29,20 a	85 a
Telhado frio	27,56 b	90 a
Telhado verde	26,46 b	77 b

Teste Tukey a 5% de significância da maior média de temperatura registrada do período avaliado e da média da Umidade Relativa do ar. Letras diferentes na coluna, indicam diferenças significativas ao nível de 5% de significância.

Comportamento térmico da menor média registrada do período avaliado

A menor média de temperatura registrada no período avaliado foi no dia 06 de dezembro de 2020, sendo 20,17°C, na Figura 9 é possível verificar o registro da temperatura diária. Das 9h as 16h da tarde, a temperatura do protótipo testemunha foi superior que a temperatura ambiente e aos demais protótipos, chegando em uma variação de até 2 graus de temperatura as 9h da manhã.

Figura 9. Gráfico da menor média registrada do período avaliado, 06 de dezembro de 2020.



A média da temperatura externa foi de 20,17°C. A média da temperatura interna do telhado sem tratamento foi de 21,42°C (fora da zona de conforto, segundo a norma 16401/08). A média da temperatura interna do telhado frio foi de 21,37°C (fora da zona de conforto, segundo a norma 16401/08). A média da temperatura interna do telhado verde foi de 21,76°C (fora da zona de conforto, segundo a norma 16401/08).

Através do teste Tukey realizado, a 5% de significância, aponta que os três tratamentos não se diferenciaram entre si, no dia mais frio do período avaliado, conforme apresentado na Tabela 4.

Figura 10. Gráfico da variação de temperatura da menor média diária do período avaliado, 06 de dezembro de 2020.

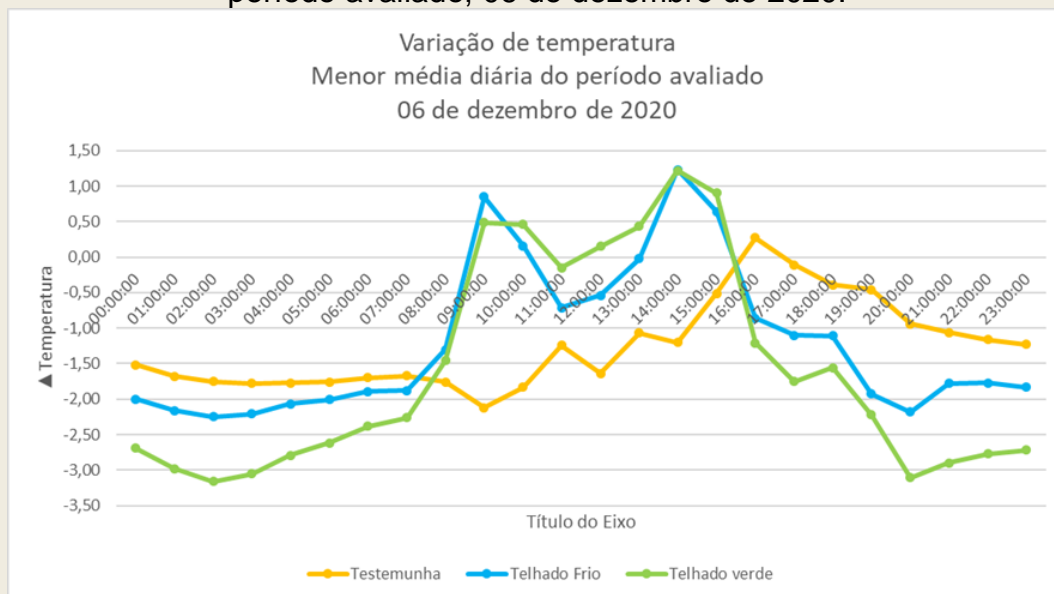


Tabela 4. Temperatura média interna (°C) para testemunha, telhado verde e telhado frio e média da Umidade Relativa do ar (%) do dia com a menor temperatura do período avaliado.

Tratamento	Bulbo seco (°C)	Umidade Relativa (%)
Testemunha	21,42 a	98 a
Telhado frio	21,37 a	98 a
Telhado verde	21,76 a	96 b

Teste Tukey a 5% de significância da menor média de temperatura registrada do período avaliado e da média da Umidade Relativa do ar. Letras diferentes na coluna, indicam diferenças significativas ao nível de 5% de significância.

Pelo teste de Tukey, foi possível verificar que o telhado frio apresentou a mesma média de temperatura do telhado verde. Resultados similares foram encontrados na simulação computacional para telhados frios e verdes para a cidade de Belém do Pará, quanto ao acúmulo de energia ao longo do dia, o telhado frio e verde não obtiveram diferença média significativa (Ethur, 2016).

Os resultados do telhado sem nenhum tratamento demonstraram diferenças térmicas mais elevadas em relação aos que tinham algum tratamento. Nos estudos simulados computacionalmente, os telhados com telha sanduíche que não possuíam tinta reflexiva, apresentaram pior desempenho se comparados aos que possuíam revestimento branco, verificaram ainda através das simulações que a tinta reflexiva é a melhor opção para todas as regiões climáticas brasileiras, em exceção para a cidade de Curitiba (Galindo, 2015). Os telhados frios oferecem a vantagem de serem de 3 a 10 vezes melhor em questão de refletir a luz solar do que os telhados sem pintura (Cubi; Zibin, 2015).

Ainda em estudos computacionais executados, comparou-se, o telhado verde versus telha de fibrocimento para a cidade de Florianópolis, e os resultados obtidos foram que o telhado verde ficou com custo aproximado três vezes maior que o telhado convencional e todas as taxas de retorno ficaram negativas, ficando inviável economicamente sua instalação (Kock *et al.*, 2021).

Os materiais reflexivos aplicados nos telhados dos edifícios refletem a energia solar ao longo do ano, o que pode ser desvantajoso no inverno, porque refletem o calor necessário. No entanto, no inverno, em comparação com o verão, os dias são mais curtos e os céus costumam estar mais nublados do que no verão, a quantidade de luz solar disponível para um telhado então é menor.

Para uma solução mais econômica e rápida, o telhado frio é uma opção, principalmente em galpões agrícolas já existentes, onde a estrutura da edificação não aguentaria o peso do telhado verde ou os custos seriam elevados, comparados a aplicação da tinta. Assim constatado que onde os telhados verdes, por mais que durem o dobro que os telhados frios, tiveram perda econômica devido aos altos custos de instalação, cerca de 71 dólares por metro quadrado ao longo de 50 anos, já os frios uma economia líquida de 25 dólares por metro quadrado (Sproul *et al.*, 2014).

Conclusão

A temperatura do protótipo do telhado frio e telhado verde não apresentaram diferença significativa a 5% de significância no teste Tukey. Já a testemunha apresentou diferença significativa, mostrando temperaturas superiores muitas vezes até da temperatura externa.

O telhado verde apresentou níveis mais próximos da zona de conforto (entre 40 e 60%), sendo a melhor opção para ficar dentro da zona de conforto térmico. O telhado frio e a testemunha não apresentaram diferença significativa.

Referências

ALJEBUR, R. K. A. The effect of various types of building roof materials on the cooling load. Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering University Tun Hussein Onn Malaysia, 2015.

BHATIA, A; MATHUR, J; GARG, V. Calibrated simulation for estimating energy savings by the use of cool roof in five Indian climatic zones. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v. 3, p. 1-14, 2011. <https://doi.org/10.1063/1.3582768>.

COELHO, K. S. D. Avaliação de um sistema modular de cobertura verde: comportamento térmico, hídrico e acústico. Mestrado (Dissertação) - Universidade de Coimbra, Portugal, 2019.

CUBI, E; ZIBIN, N. F.; THOMPSON, S. J.; BERGERSON, J. Sustainability of Rooftop Technologies in cold climates. Comparative Life cycle assessment of White roofs, green roofs, and photovoltaic panels. *Journal of Industrial Ecology*, v. 20, n. 2. p. 249-262, 2015. <https://doi.org/doi/pdf/10.1111/jiec.12269>.

CUNHA, A. R.; VOLPE, C. A. Medidas Automatizadas de psicrômetro de termopar aspirado versus não aspirado. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n. 2, p. 271-280, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200010>.

DIGEL. Termopar tipo J. Disponível em:
<<https://www.digel.com.br/produto/473/kit-termopar-tipo-j>> Acesso em:
18.fev.2021.

ETHUR, A. D. O desempenho térmico de uma cobertura verde em simulações computacionais em três cidades brasileiras. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

FEITOSA, R. C.; WILKINSON, S. J. Attenuating heat stress through green roof and green wall retrofit. *Building and Environment*, v. 140, p. 11-22, 2018. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2018.05.034>.

FRIZON, A. J.; LÁZARO, P. H. B.; EMPER, E. D.; CANERAS, . B. Telhados verdes como alternativa para construções sustentáveis. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 13, n.5, p. 620-629, Edição Especial, 2018. <https://doi.org/10.18378/rvads.v13i5.6197>.

GAGLIANO, A.; DETOMMASO, M.; NOCERA, F.; EVOLA, G. A multi-criteria methodology for comparing the energy and environmental behavior of cool, green and traditional roofs. *Building and Environment*, v. 90, p. 71-81, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.043>.

GALINDO, A. S. Eficiência energética de telhados no Brasil. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Programa de pós-graduação em engenharia Mecânica, Recife, 2015.

GANGULY, A; CHOWDHURY, D; NEOGI, S. Performance of Building Roofs on Energy Efficiency – A Review. *Energy Procedia. School of Energy Studies*, v. 90, p. 200-208, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.186>.

GARG, V.; KOTHARAR, R.; SATHAYE, J.; RALLAPALLI, H.; KULARNI, N.; REDDY, N.; RAO, P.; SARKAR, A. Assessment of the Impact of Cool Roofs in Rural Buildings in India. *Energy and Buildings*, v. 114 p. 156-63, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.043>.

IBGE. Cascavel. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/cascavel.html>> Acesso em: 04. out. 2020

IKEMATSU, P. Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2007.

KOCK, R. V; THEISS, V; PARIZOTTO, S. F. Análise econômica financeira do emprego de cobertura vegetada em edifícios públicos. *Navus*, v. 11 p. 1-17, 2021.

LAMBERTS, R. Heat transfer through roofs of low cost Brazilian house. 156 f. These (Doctor of Philosophy) – University of Leeds, 1988.

LEVINSON, R; AKBARI, H. Potential benefits of cool roofs on commercial buildings: Conserving energy, saving Money, and reducing emission of greenhouse gases and air pollutants. *Energy Efficiency*, v. 3, n. 1, p. 53-109, 2010. <https://doi.org/10.1007/s12053-008-9038-2>.

LOH, K. et al. Outdoor Paint Ageing of Brazilian Paints - Part II, Correlation between results of accelerated and outdoor paint ageing of Brazilian paints - Part one. 12thDBMC International conference on durability of building materials and components. Porto, Portugal, April (2011).

MADHUMATHI, A. RADHAKRISHNAN, S. PRIYA, R., SH. Sustainable Roofs for Warm Humid Climates -A Case Study in Residential Buildings in Madurai,

Tamilnadu, India. *World Applied Sciences*, v. 32, n. 6, p. 1167-1180, 2014.
<https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2014.32.06.1261>.

MASCARÓ, J. L; MASCARÓ, L. E. R. Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios. Porto Alegre: Editora Sagra Luzzatto, 1992.

OLIVEIRA, D. P.; AGOPYAN, V. Critérios de sustentabilidade para seleção de materiais e componentes: uma perspectiva de países em desenvolvimento. Puc, 2006.

PERUSSI, R; VECCHIA, F. A. S. Análise do comportamento térmico de um sistema de cobertura verde utilizando plataformas de teste. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 7, n. 4, p. 225-236, 2016.
<https://doi.org/10.20396/parc.v7i4.8647932>.

ROSSETI, K. A. C; DURANTE, L.C; CALLEJAS, I. J. A.; NOGUEIRA, M. C. J; NOGUEIRA, J. S. Abordagens sistêmicas dos efeitos da implantação de telhados vegetados. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and humanities research medium*, v. 4, n. 1, p. 55-77.

RYBCZYNSKI, W. *Casa: Pequena História de Uma Idéia*. Rio de Janeiro: Record, 1996.

SANTAMOURIS, M; SYNNEFA, A; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar energy*, v. 85, n. 12. p. 3085-3102, 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.023>.

SNODGRASS, E. C; MCINTYPRE, L. *The Green roof Manual. A professional guide to design installation, and Maintenance*. Timber Press: Inc., 2010.

SOUZA, C, R, B. Telhado verde e sua contribuição para a redução da temperatura ambiente em construções para Cascavel/PR. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Oeste do Paraná, Programa de pós-graduação Scritto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura, Cascavel, 2016.

SPROUL, J. WAN, M. P. MANDEL, B. H. ROSENFELD, A. H. Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States. *Energy Build.* v. 71. p. 20-27, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.058>.

URBAN, B; ROTH, K. Guidelines for Selecting Cool Roofs. Washington, DC: U.S. Department of Energy, Building Technologies program. v. 12. 2010. Disponível em: https://heatiland.lbl.gov/sites/default/files/coolroofguide_0.pdf. Acesso em: 27 set. 2019.

YEANG, K. Ecodesign: a manual for ecological design. Londres: Willey Academy, 2006.