AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHADO VERDE EXTENSIVO NO CONTEXTO CLIMÁTICO DE BRASÍLIA

Fernanda Moreira (1); Marta Adriana Bustos Romero (2)
(1) Arquiteta, mestranda do Programa de Pós Graduação em Arquitetura, fernanda.arq.moreira@gmail.com,
(2) Doutora, professora titular, romero@unb.br
Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, ICC Norte, LASUS-FAU, 61 3107 7445

RESUMO
A melhoria no desempenho térmico das edificações com o uso de envoltórias verdes sejam elas aplicadas em coberturas ou fachadas tem sido tema de vários estudos em âmbito internacional e nacional. Nesta direção, este trabalho se dedica à análise térmica de uma sala de aula coberta com telhado verde extensivo, localizada no edifício Liceu Francês de Brasília por meio de simulação computacional. O software *DesignBuilder* será utilizado para a modelagem da sala de aula e a ferramenta de cálculo *EnergyPlus* versão 9.4 para as simulações térmicas. O método de análise de sensibilidade será explorado com a simulação do teto verde na condição atual em que se encontra e também um cenário que substitui a cobertura vegetada por telhado convencional de fibrocimento com acabamento natural e outro pintado de branco, com o intuito de quantificar os benefícios e/ ou prejuízos térmicos de cada alternativa de projeto. O objetivo é contribuir para o estudo sobre o uso de telhados verdes extensivos no contexto climático de Brasília.
Palavras-chave: conforto ambiental, cobertura verde, simulação computacional.

ABSTRACT
The improvement in the thermal performance of buildings using green envelopes, whether applied to roofs or facades, has been the subject of several studies at the international and national levels. In this sense, this work is dedicated to the thermal analysis of a classroom covered with an extensive green roof, located in Liceu Francês de Brasília through computer simulation. The DesignBuilder software will be used for classroom modeling and the EnergyPlus calculation tool version 9.4 for thermal simulations. The sensitivity analysis method will be explored with the simulation of the green roof in its current condition and also a scenario that replaces the vegetated roof with a fiber cement roof with a natural finish and another painted in white, in order to quantify the thermal benefits and / or losses for each project alternative. The objective is to contribute to the study on the use of extensive green roofs in the climatic context of Brasília.

Keywords: environmental comfort, green roof, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

Na perspectiva do urbanismo e da arquitetura sustentável as medidas adaptativas para diminuir o efeito ilha de calor são variadas (Romero et al, 2019), e, dentre inúmeras iniciativas, as superfícies permeáveis verdes promovem um maior resfriamento por evaporação natural, o que acontece naturalmente nas zonas rurais. Na escala do edifício, os telhados e fachadas vegetais desde a arquitetura vernacular se mostram como excelentes para aumentar o isolamento térmico tanto no verão como no inverno e as pesquisas recentes relacionam esses elementos diretamente com a economia de energia pois diminuem a demanda por resfriamento mecânico e aquecimento (COMA et al., 2014; LA ROCHE; BERARDI, 2014; CAMERON; TAYLOR; EMMETT, 2014; LUNDHOLM; WEDDLE; MACIVOR, 2014).

As coberturas são as superfícies mais expostas às intempéries e por isso, as que mais sofrem com as amplitudes térmicas. Segundo Heywood (2015), o uso de uma construção leve ou com grande massa termoacumuladora depende da zona climática e das funções da edificação. Em um clima quente e seco, a massa termorreguladora é necessária nas paredes e na cobertura, a fim de equilibrar as grandes oscilações de temperatura ao longo do dia. Como a cidade de Brasília apresenta características de clima quente e seco em grande parte do ano os tetos verdes poderiam ser uma alternativa de cobertura mais frequente nas decisões de projeto. Sobre as tipologias de tetos vegetados, Gartland (2002) descreve que o telhado verde ou teto jardim é essencialmente um jardim que cresce sobre a cobertura de uma edificação, podendo ser classificado como intensivo e extensivo conforme a complexidade dos elementos que o compõe. As coberturas extensivas são consideradas eco eficientes por contribuírem para o conforto ambiental e a eficiência energética, sem demandar grandes investimentos para a sua construção e manutenção, podendo ser alternativa viável para *retrofits* de coberturas existentes. Por isso essa tipologia foi escolhida para compor as análises do estudo.

As soluções arquitetônicas que envolvem vegetação aplicada às envoltórias das edificações ainda carecem de estudos específicos no Brasil como mostra Labaki e Montanari (2017), e, mais ainda para o contexto climático de Brasília. Ethur (2016) explorou o desempenho térmico de coberturas verdes em simulações computacionais em três cidades brasileiras, sendo uma delas Brasília com base em um modelo hipotético de 16 m². Porém, casos reais ainda foram poucos investigados, principalmente para as tipologias de tetos verdes extensivos. Nesse sentido, a aplicação dessa solução arquitetônica será investigada para avaliar seu comportamento térmico, a eficácia dos princípios bioclimáticos aplicados ao edifício e o papel dessas superfícies na promoção de resiliência térmica quando comparadas ao uso de coberturas convencionais de fibrocimento já que esta tipologia é de uso amplo na construção civil no Distrito Federal, devido principalmente ao baixo custo. Na presente pesquisa a simulação computacional é o método adotado para realizar o estudo comparativo do desempenho térmico do telhado verde, onde as predições obtidas por meio dela servem para avaliar o potencial de melhoria/ piora do desempenho térmico dos cenários compostos por teto verde e telhado convencionais de fibrocimento natural e "frio" (pintado de branco).

O edifício escolhido para o estudo é a escola Liceu Francês François Mitterrand, projetado pelos arquitetos Jean Dubus e José Luiz Tabith no ano de 2016. O telhado verde extensivo é um dos elementos mais relevantes por promover proteção da radiação solar direta sobre a cobertura além de gerar isolamento acústico. O telhado representa uma área de 3.300 m² de vegetação implantada pelo sistema de cultivo modular sobre laje, sendo uma cobertura do tipo extensiva pela fina camada de substrato orgânico. As espécies plantadas são compatíveis com o clima de Brasília. O sistema de irrigação existente auxilia a manutenção do jardim no período de seca. Para viabilizar a pesquisa quanto ao tempo necessário para formular as simulações foi escolhida apenas uma sala de aula.

2. OBJETIVO

Avaliar o desempenho térmico de um teto verde extensivo em um edifício educacional por meio de simulações computacionais bem como investigar seu impacto como solução construtiva no desempenho térmico da edificação.

3. MÉTODO

O método do trabalho está dividido em cinco etapas: caracterização do objeto de estudo, definição das variáveis de simulação, simulação no EnergyPlus, calibração do modelo computacional e análise dos resultados. Como a pesquisa encontra-se em desenvolvimento, somente as duas primeiras etapas estão descritas neste resumo expandido.

3.1. Caracterização do objeto de estudo

O estudo tem como objeto uma sala de aula coberta com teto verde extensivo no Liceu Francês François Mitterrand. O colégio oferece educação poliglota e multicultural desde o maternal até o ensino médio e tem capacidade para atender até 800 alunos. A área construída é de 12.199 m² e está localizada no Lago Sul, Brasília – DF (Figura 1a). O terreno de 15000 m² acomoda a edificação composta por cinco volumes de modo a mesclar cheios e vazios (Figura 1b). Das mais de 30 salas de aula existentes no edifício, a escolhida está ilustrada na Figura 1c, por apresentar características pertinentes à análise pretendida como será descrito à diante.



Figura 1 – a) Localização do Liceu Francês; b) Vista Geral da edificação; c) Sala de aula escolhida (número 7, contorno laranja) localizada no pavimento superior. Fonte: a) Wikimapia, 2021; b e c): Archdaily, 2020.

A sala de aula padrão definida para compor a simulação tem as dimensões 7,00 x 6,00m, pé-direito de 3,00m e está orientada à nordeste. O piso é em concreto armado, cobertura em laje plana com 20cm de espessura, com impermeabilização mecânica e o teto verde extensivo implantado sobre ela. As paredes são de bloco cerâmico de 14cm de espessura. Há três portas de madeira, sendo uma que liga o corredor à sala e as outras duas que conectam às salas vizinhas com dimensões 0,80x2,10m. As janelas estão presentes nos dois lados do ambiente e ocupam quase que toda a extensão das paredes sendo uma sequência de seis metros de comprimento voltada para a orientação sudeste (altura de 1,40m e peitoril de 1,10m, protegidas por brises metálicos) e a outra sequência, voltada para nordeste (altura de 0,60m e peitoril de 1,80m), com folhas de vidro incolor de 4mm de espessura com caixilhos metálicos. Como pode ser visto na planta baixa do pavimento superior, todas as salas de aula são envolvidas por pátios (Figura 2a) e nas extremidades de cada bloco há sanitários e, no caso do bloco que abriga a sala escolhida, há um ambiente de uso coletivo. Isso faz com que a sala (Figura 1c) não receba radiação solar direta em sua extremidade voltada para os fundos do terreno e tenha sombreamento nas laterais promovido pelos corredores (Figura 2b) e fachadas protegidas por brises. Os revestimentos das superfícies não foram considerados para simplificar o estudo (GUIMARÃES, 2012), exceto o telhado verde existente.



Figura 2 – a) planta pavimento superior do Liceu Francês de Brasília. Em destaque, (contorno laranja) o bloco da sala de aula escolhida; b) configuração arquitetônica externa do bloco da sala de aula em estudo composta por brises e beirais generosos. Fonte: a e b) Archdaily, 2020.

O teto verde é do tipo extensivo térmico com base composta por laje e manta asfáltica (Figura 3a). A vegetação predominante é a espécie *callisia repens* plantadas por meio do cultivo modular (a peça pode ser removida com a vegetação) feito com composto orgânico de cinco centímetros de espessura. O peso da cobertura seca é de 40kg/ m² e saturada é de 80 kg/m². O sistema da irrigação é o gotejo superficial automatizado. O esquema

de drenagem da cobertura vegetal pode ser melhor entendido na Figura 3b onde todos as camadas estão ilustradas.

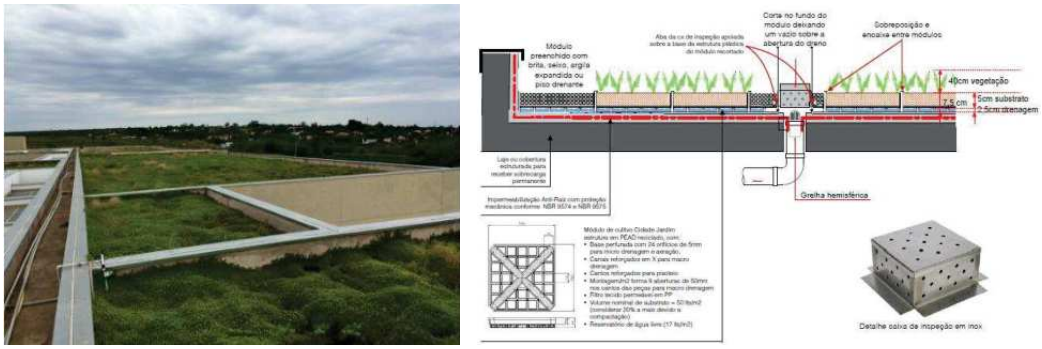


Figura 3–a) Teto verde plantado com a espécie *callisia repens*; b) Corte e detalhamento do teto verde extensivo implantado pelo sistema modular. Fonte a e b): Instituto Cidade Jardim, 2019 - Portfólio de Projetos.

Sobre o contexto climático de Brasília, a capital tem condições semelhantes às do clima tropical úmido durante o período de chuvas e às do clima tropical seco no período da seca, e devido à sua continentalidade e altitude (mais de 1000 metros) as amplitudes diárias de temperatura são consideráveis especialmente no período seco (ROMERO, 2015). A radiação solar, os ventos e o regime das chuvas são os elementos que mais influenciam no espaço construído.

3.2. Definição das variáveis de simulação.

Pretende-se realizar medições de temperatura interna na sala de aula escolhida para obter os dados para calibração do modelo computacional. A escolha de apenas uma sala tem por objetivo simplificar a análise de desempenho térmico do telhado verde. Posteriormente, será criada uma modelagem da sala com o software *DesignBuilder* e uma simulação térmica no modelo com o *Energy Plus*, versão 9.4. A análise de sensibilidade é o método para a alternância das variáveis com o intuito de verificar a influência de cada uma delas no desempenho apresentado. A primeira simulação considera a sala em sua condição original de construção (teto verde extensivo com isolamento térmico) e as outras irão contemplar as modificações no tipo de cobertura: telha de fibrocimento sem pintura e com pintura branca. Lopes, (2020) demonstra que o próprio *Design Builder*, uma vez determinadas as variáveis para a análise de sensibilidade no modelo de simulação, fornece coeficientes de regressão padronizados (SRC), determinação (adjusted R^2) e probabilidade (p-value) resultantes de regressão linear. O mesmo autor afirma que os valores fornecidos pelo software dão a interpretação estatística da qualidade do modelo em descrever a variável dependente em estudo a partir do coeficiente de determinação. Assim, para cada análise realizada se tem um valor indicativo do quanto os dados de saída de simulação são afetados por variações nos parâmetros de entrada. Serão simulados todos os dias do ano com o uso de um arquivo climático tipo TRY (*Typical Reference Year*) compilado pela ASHRAE-IWEC disponível no *DesignBuilder*. Os resultados de temperatura interna da zona térmica são em intervalos horários. A sala de aula é ventilada naturalmente e serão consideradas 5 renovações de ar por hora. Não há sistema de ar condicionado a ser considerado na simulação (condição original do projeto). O sistema de iluminação artificial é do tipo lâmpada LED tubular de 18W. Sobre os aparelhos elétricos, tem-se um projetor com consumo médio de energia de 260 W. Deste modo, o ambiente será considerado com ocupação de sala de aula e um valor de 0,3767 pessoas por m² (ASHARE 55) com metabolismo de 70 W/ m² (atividade sedentária). Considerou-se a ocupação da sala de aula nos períodos de 07:00 as 19:00, com uso das lâmpadas entre as 07:00 e as 09:00 e das 17:00 as 19:00. O projetor foi considerado ligado das 08:00 as 12:00 e das 14:00 as 18:00. Os parâmetros físicos dos materiais utilizados estão listados abaixo e para os que não estavam disponíveis nas referências consultadas foi utilizado os valores do *software* (*default*):

Tabela 1- Dados físicos dos materiais da envoltória dos modelos (DORNELLES, 2021; Weber et al, 2017; NBR 15220-2, 2005).

Material	Bloco Cerâmico 14 cm	Concreto	Aço	Telha fibrocimento natural	Telha fibrocimento com pintura branca
Rugosidade	Rugoso	Rugoso	Liso	Médio	Médio

Espessura [m]	0,015	0,08	0,03	0,04	0,04
Condutividade [W/mK]	0,9	1,75	55	0,05	1,05
Densidade [Kg/m³]	3732	2400	7800	0,00	0,00
Calor específico [J/Kg/K]	920	1000	460	0,00	0,00
Absortância térmica	0,9	0,9	0,9	0,00	0,00
Absortância solar	0,7	0,7	0,7	0.46	0,07
Absortância visível	0,7	0,7	0,7	0,46	0.04

Tabela 2 - Parâmetros físicos do vidro da janela (NBR 15220-2, 2005).

Espessura [m]	0,04
Transmitância solar	0,837
Refletância solar frontal	0,075
Refletância solar posterior	0,075
Transmitância visível	0,898
Refletância visível frontal	0,081
Refletância visível posterior	0,081
Transmitância infravermelha	0
Emissividade hemisférica infravermelha frontal	0,84
Emissividade hemisférica infravermelha posterior	0,84
Condutividade	0,9

Tabela 3 – Dados físicos das camadas utilizadas no telhado verde (Beyer, 2008; Silva 2014)

Material	Camada filtro	Camada drenante	Barreira impermeável
Rugosidade	Liso	Liso	Liso
Espessura [m]	0,05	0,06	0,07
Condutividade [W/m.K]	0,06	0,08	0,17
Densidade [kg/m³]	160	800	1200
Calor específico [J./kg. K	2500	920	920
Absortância térmica	0,9	0,9	0,9
Absortância solar	0,2	0,2	0,2
Absortância visível	0,2	0,2	0,2

Tabela 4 - Parâmetros gerais da vegetação e do substrato do telhado verde (Silva 2014)

Altura da vegetação [m]	0,05	Rugosidade do solo	Rugoso
Índice de massa foliar – IAF	1	Condutibilidade do solo seco [W/m.K]	1
Espessura do solo [m]	0,05	Densidade do solo seco [kg/m³]	1500
Refletividade da Folha	0,25	Calor específico do solo seco [J/kg. K]	1900
Emissividade da folha	0,95	Absortância térmica	0,9
Resistência estomática mínima [s/m]	180	Absortância solar	0,8
		Absortância visível	0,8

	Teor de umidade de saturação	0,3
	Teor de umidade residual	0,01
	Teor de umidade inicial	0,1
	Método de cálculo de difusão de umidade	Simples

4. RESULTADOS ESPERADOS

A expectativa é demonstrar que mesmo os tetos verdes extensivos com suas finas camadas de substrato propiciam um amortecimento térmico melhor que a cobertura de fibrocimento seja na versão telha natural ou pintada de branco. Também se espera que, no cenário com cobertura verde, os valores de temperatura interna sejam menores para os horários de maior radiação solar e também para os períodos do ano de elevada amplitude térmica em Brasília. Outra intenção é demonstrar que para o contexto climático da capital, o padrão de ocupação também representa uma influência grande sobre o desempenho térmico de salas de aula para além das preocupações com os materiais que compõe a envoltória de edificação. E por fim, o estudo pretende colaborar com as produções acadêmicas que exploram o recurso da simulação computacional na investigação das soluções passivas de projeto bioclimático e sua contribuição na tomada de decisão dos profissionais e atendimentos às normas de eficiência termo energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

BEYER, P. O. Condutividade térmica equivalente do ecotelhado. Porto Alegre, 2008.

CAMERON, R. W. F.; TAYLOR, J. E.; EMMETT, M. R. What's 'cool' in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. Building and Environment, v. 73, p. 198–207, mar. 2014.

COMA, J. et al. Green roofs as passive system for energy savings in buildings during the cooling period: use of rubber crumbs as drainage layer. Energy Efficiency, v. 7, n. 5, p. 841–849, 8 abr. 2014.

DORNELLES, Kelen Almeida. Biblioteca de absortância de telhas [recurso eletrônico] base de dados para análise de desempenho termoenergético de edifícios. São Carlos: IAU/USP, 2021.

ETHUR, Dias Adriano. O desempenho térmico de uma cobertura verde em simulações computacionais em três cidades brasileiras. 2016. 192p. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Sc.

GARTLAND, L. Ilhas de calor. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2010

GUIMARÃES, R. P. Comportamento térmico do ambiente construído: influência do pé-direito e de materiais das paredes envoltórias. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

HEYWOOD, Huw. 101 regras básicas para uma arquitetura de baixo consumo energético. São Paulo, Gustavo Gili, 2015.

LA ROCHE, P.; BERARDI, U. Comfort and energy savings with active green roofs. Energy and Buildings, v. 82, p. 492–504, out. 2014.

Liceu Francês François Mitterrand / Jean Dubus + José Luiz Tabith" 26 Jun 2019. ArchDaily Brasil. Acessado em 20 de março de 2021. <https://www.archdaily.com.br/br/919735/liceu-frances-francois-mitterrand-jt-arquitetura-plus-jean-dubus> ISSN 0719-8906.

LOPES, A.F.O. Da Simulação ao Projeto: avaliação de conforto térmico em ambiente escolar padronizado. 2020, 152 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

LUNDHOLM, J. T.; WEDDLE, B. M.; MACIVOR, J. S. Snow depth and vegetation type affect green roof thermal performance in winter. Energy and Buildings, v. 84, p. 299–307, Dezembro 2014. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.093.

MENEZES, M. F. S.; TEIXEIRA, C.F.B. Avaliação do desempenho térmico de telhado verde na cidade de Aracaju-Se. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais…,2019.

MONTANARI, Ketlin Bruna; LABAKI, Lucila Chebel. Comportamento térmico de ambientes internos sob a influência de envoltórias verdes. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 8, n. 3, p. 181-193, set. 2017. ISSN 1980-6809. Disponível em:<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650241>. Acesso em: 20 jan. 2018. doi:http://dx.doi.org/10.20396/parc.v8i3.8650241.

ROMERO, M. A. B.; BAPTISTA, G. M. de M.; LIMA, E. A. de; WERNECK, D. R.; VIANNA, E. O.; SALES, G. de L.. Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas. 1. ed. Brasília: Universidade de Brasília, 2019. v. 1. 151p. Disponível em: http://repositorio.unb.br/handle/10482/34661.

ROMERO, M.A.B. A arquitetura bioclimática no espaço público. Brasília. Editora Universidade de Brasília, 4ª impressão, 2015.

SILVA, M. F. R. Simulação energética de coberturas verdes. 2014, 139 p. Dissertação. (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2014.

WEBER, F.S.; Melo, A.P.; Marinoski, D.; Lamberts, R. Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus. Florianópolis: LabEEE, 2017. 52p.