

Autorização concedida a Biblioteca Central da Universidade de Brasília pela autora Rejane Viegas para disponibilizar a obra, gratuitamente, de acordo com a licença conforme permissões assinaladas, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da obra, a partir desta data. A obra continua protegida por Direito Autoral e/ou por outras leis aplicáveis. Qualquer uso da obra que não o autorizado sob esta licença ou pela legislação autoral é proibido.

#### Referência

VIEGAS, Rejane et al. Análise integrada do desempenho térmico, eficiência energética e durabilidade de uma cobertura verde. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 2020, Brasília. **Anais** [...]. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2020. p. 86-97, il. Disponível em: [https://db71bb60-1500-4b22-9e56-a16a16c28315.filesusr.com/ugd/88a9ac\\_030e937358a94281af1992e301cd5e74.pdf](https://db71bb60-1500-4b22-9e56-a16a16c28315.filesusr.com/ugd/88a9ac_030e937358a94281af1992e301cd5e74.pdf). Acesso em: 08 ago. 2023.

**ÁREA TEMÁTICA: Desempenho e Durabilidade**

**ANÁLISE INTEGRADA DO DESEMPENHO TÉRMICO, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DURABILIDADE DE UMA COBERTURA VERDE**

**VIEGAS, Rejane<sup>1</sup>; OLIVEIRA, Roberta<sup>2</sup>; JUCÁ, Tatiana<sup>3</sup>; ZANONI, Vanda<sup>4</sup>; SILVA, Caio<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, rejanedoutoradounb@gmail.com, 0000-0002-1444-0125

<sup>2</sup> Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, robertab.o@hotmail.com, 0000-0001-7187-6032

<sup>3</sup> Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, jucatatiana@gmail.com, 0000-0002-2614-5836

<sup>4</sup> Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, vanda.a.g.zanoni@gmail.com, 0000-0003-2629-4214

<sup>5</sup> Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, caiosilva@unb.br, 0000-0001-8910-1841

**RESUMO**

Coberturas verdes têm sido utilizadas em projetos arquitetônicos como estratégia para promover o conforto térmico, no entanto, os resultados de desempenho térmico são pouco discutidos, assim como a funcionalidade do sistema. Desta forma, o objetivo deste artigo é analisar o desempenho térmico e o desempenho funcional de uma sala de aula do último pavimento do Instituto Federal de Brasília (IFB) -Distrito Federal (DF), que possui cobertura verde, em comparação com um sistema de cobertura sem vegetação. Utilizou-se ferramentas de simulação como o *software EnergyPlus 8.7*, o termo-higrômetro para o levantamento microclimático e a câmera termográfica (Flir C2) para medições de calor, além de uma análise da durabilidade por inspeção visual. Apesar da simulação demonstrar leve redução na temperatura do ar do ambiente sob a cobertura verde, os resultados medidos *in loco* mostram que a cobertura verde, neste caso, não influencia o desempenho térmico e a eficiência energética da sala de aula, no qual apresentou valores de temperatura do ar similares a um sistema de cobertura sem vegetação. Quanto à durabilidade dos elementos construtivos, foram encontradas manifestações patológicas relacionadas à falta de manutenção do sistema de impermeabilização e falhas no manejo da massa verde. Conclui-se que a cobertura verde não impacta no desempenho térmico do ambiente analisado, no qual mostrou-se energeticamente insuficiente, além de que, para que haja eficácia do sistema quanto à durabilidade, deve-se seguir um plano periódico de manutenção.

*Palavras-chave: durabilidade; eficiência energética; desempenho térmico; cobertura verde, edificação escolar.*

**ABSTRACT**

Green roofs have been used in architectural projects as a benefit to thermal comfort. However, the results of thermal performance are unexplored, besides the functionality of the systems that are affected. Thus, this article aims to evaluate the thermal performance and the functional performance of the green roof system. In this sense, we evaluated the classroom's roof located on the top floor of the Federal Institute of Brasília (IFB), located in Brasília - Brazil. We run building performance simulation (BPS) by EnergyPlus software (version 8.7); we developed microclimate analysis by Thermo hygrometer, and thermography camera (Model Flir C2). Additionally, the durability assessment was carried out by visual inspection. Although the simulation shows the classroom with a green roof with a light reduction of air temperature, the in-situ measures showed that the green roof did not impact the classroom's thermal performance and energy efficiency. The classroom that owns a green roof had a similar thermal performance than another one with a traditional roof. Beyond the durability, pathological manifestations were found necessary to the efficacy of the whole system, which impacts the thermal performance of the green roof directly.

*Keywords: durability; energy efficiency; thermal performance; green roof, school buildings.*

## 1. INTRODUÇÃO

Até 2050, estima-se que mais de 70 % da população global passe a situar-se nos centros das cidades [1]. Esse crescimento leva aos adensamentos urbanos e pode acarretar no aumento das ilhas de calor urbanas e o consequente aumento da temperatura do ar. A atenuação do calor extremo em climas urbanos se torna importante à medida em que as mudanças climáticas progredem e populações se expandem [2]. Sendo assim, para atenuar esses efeitos negativos utilizam-se dispositivos artificiais de resfriamento que demandam excessivo uso de energia elétrica.

A eficiência energética em edificações possibilita a satisfação térmica ao usuário e inclui propostas que reduzem o uso da energia elétrica [3]. Para melhorar esse cenário, diferentes estratégias vêm sendo utilizadas, como o aumento do isolamento térmico dos sistemas de cobertura por meio de coberturas verdes. O *Growing green guide* as define como uma paisagem vegetal construída a partir de várias camadas que são instaladas na superfície da cobertura, e classifica-as como extensivas ou intensivas, a depender da profundidade da camada de substrato e dos tipos de espécie de plantas, acarretando em níveis de manutenção e cargas diferentes na estrutura [4].

No entanto, ainda existem alguns questionamentos quanto ao emprego desse sistema, como é o caso da durabilidade dos seus componentes e até mesmo as manutenções necessárias ao longo da vida útil da edificação. Assim, o objetivo dessa pesquisa é analisar as condições internas do último pavimento do Instituto Federal de Brasília (IFB), sob cobertura verde, quanto ao desempenho térmico e eficiência energética em relação ao uso de condicionadores de ar. Além disso, o artigo também apresenta uma análise das condições de conservação dos componentes construtivos em contato com a cobertura verde.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Podem ser apontadas diversas vantagens da cobertura verde. Dentre elas, estão a melhoria na qualidade do ar, diminuição do efeito da ilha de calor urbana, retenção e absorção de água da chuva e diminuição do consumo de energia, além da redução do desconforto visual no entorno e a possibilidade de aproveitamento da água pluvial retida [5-7]. Tem-se também a possibilidade de prolongar a vida útil de uma superfície de cobertura, por meio de uma membrana impermeável à radiação solar, funcionando como uma proteção do sistema [4].

Neste sentido, problematiza-se a eficácia das coberturas verdes e sua demanda por manutenção, uma vez que, na maioria das vezes, precisam ser irrigadas para manterem um alto índice de área foliar, fundamental para a sua eficácia [8]. Ressalta-se que a implantação dessas estratégias deve estar associada a um objetivo no qual a mitigação da temperatura deve prevalecer, analisando as especificidades do clima [2,7]. Além disso, para a efetivação prolongada desses benefícios, deve haver um plano de manutenção para a cobertura, incluindo o sistema de impermeabilização para evitar manifestações patológicas.

Outro ponto importante a ser destacado é a durabilidade, definida na NBR 15575 [9] como a capacidade da edificação ou de seus sistemas desempenharem suas funções ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção previstas no manual de uso, operação e manutenção. Aliado a isso, está o surgimento de manifestações patológicas que podem reduzir a durabilidade da estrutura de concreto em que a cobertura verde é instalada.

Dentre alguns problemas, aponta-se a lixiviação como uma destas manifestações patológicas, decorrente da dissolução dos hidratos da pasta cimentícia em contato com umidade, os precipitando em fases solúveis, o que acarreta no aumento da porosidade do concreto e no aumento de sua vulnerabilidade à ocorrência de danos [10,11]. Nesse sentido, a estrutura deve possuir um sistema de impermeabilização que deve proteger o edifício subjacente de umidade e vazamento de água [7].

Para uma adequada qualidade dos sistemas de impermeabilização de coberturas verdes, são necessárias propriedades como resistência à penetração da raiz, efeitos mecânicos e químicos, degradação, altas cargas, tensão e envelhecimento. Assim, o projeto deve possuir a indicação de sistemas flexíveis de impermeabilização previstos na NBR 9575 [13], além da camada de proteção mecânica adequada ao uso e manejo da vegetação.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A cidade de Brasília, de clima tropical de altitude [14], tem dois períodos distintos definidos: verão chuvoso de outubro a abril e inverno seco de maio a setembro [15]. Foram analisados os meses de verão para o desempenho e eficiência energética. Em seguida, para o mês de março foram comparadas as variáveis microclimáticas, representando a estação de verão por ser o mês mais quente. O ambiente objeto de estudo pertencente ao IFB, localizado na SGAN, Quadra 610, Brasília/DF. As salas analisadas para desempenho e eficiência energética encontram-se no segundo pavimento (Figura 1). A sala de dança, com maior incidência solar por estar voltada para a fachada Norte (Figura 2 e 6), perfaz a área de 84,70 m<sup>2</sup>, pé-direito duplo de 6,40 m, com sistema de cobertura plana por laje impermeabilizada com vegetação e o barrilete, com área de 59,74 m<sup>2</sup>, pé-direito duplo de 4,15 m até o meio do ambiente e pé-direito simples de 2,15 m na área das caixas d'água. Quanto à durabilidade, foram analisadas salas do Bloco B, por apresentarem mais manifestações patológicas. Assim, a pesquisa foi dividida em três etapas: análise (I) do desempenho térmico, (II) da eficiência energética e (III) da durabilidade.

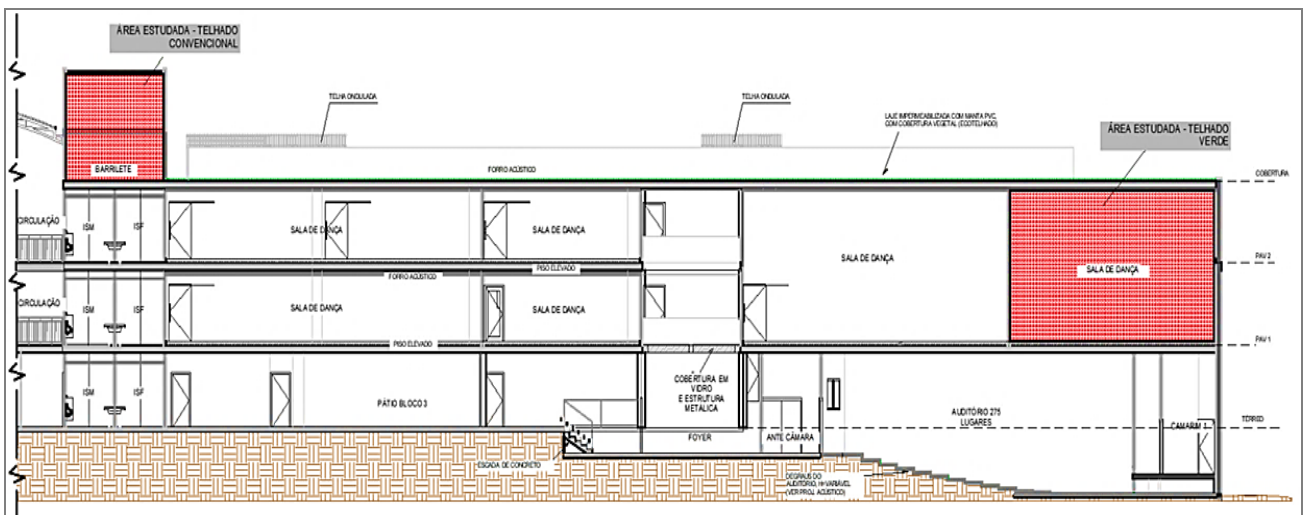


Figura 1 – Corte esquemático - destaque para os ambientes com telhado convencional e cobertura verde

#### 3.1 Desempenho térmico

A análise do desempenho térmico foi baseada nos parâmetros estabelecidos na NBR 15575 [9] que prevê a comparação entre as temperaturas internas e externas, ou entre a temperatura interna e a temperatura caracterizada como dia típico, onde a interna deve ser menor. A temperatura do dia típico de verão para a cidade de Brasília, localizada na zona bioclimática 4, é de 31,2° C [9], embora alguns autores tenham apresentado questionamentos com relação às fronteiras consideradas [16-23]. A NBR 15575 [9] prevê requisitos mínimos para edificações residenciais, mas optou-se pela sua utilização como referência, visto que deve ser um requisito básico para qualquer edificação a temperatura interna de um ambiente ser menor que a temperatura externa.

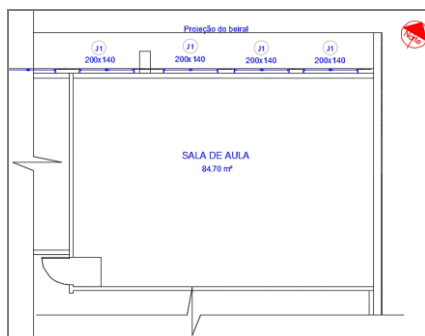


Figura 2 - Planta baixa da sala de dança

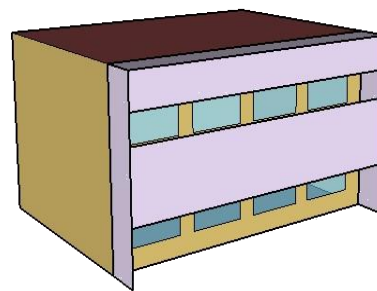


Figura 3 - Simulação da sala de dança

Após a verificação de projeto arquitetônico e inspeção *in loco*, para a simulação (Figura 3) temos:

- Paredes: argamassa externa e interna de 2,5 cm e bloco cerâmico 9x14x24, sendo a fachada noroeste em cor azul e as demais faces brancas;
- Janelas: vidro liso comum 3 mm;
- Laje de piso (teto do 1º pavimento): piso cerâmico, contrapiso de 2 cm, laje nervurada de 15 cm com EPS e forro de gesso;
- Laje de cobertura: contrapiso de 2 cm, laje nervurada de 15 cm com EPS e forro de gesso;
- Cobertura verde: camada vegetal de 30 cm, solo argiloso com 10 cm e concreto celular de 15 cm para camada drenante.
- Elementos de sombreamento: brises fixos existentes na fachada noroeste.

Para a cobertura verde, associou-se as camadas referentes a laje de cobertura e a parte coberta com vegetação, com a consideração de uma laje impermeabilizada exposta para fins de comparação. As propriedades térmicas para a cobertura verde advém do manual *Input Output Reference* do programa *EnergyPlus* [24], para o concreto celular os dados de Marinovski [25] e as demais retiradas da biblioteca do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações [26] e NBR 15220 [27]. Como simplificação, comparou-se apenas as temperaturas externa e interna de uma sala específica, considerando as trocas térmicas pelas paredes externas das fachadas noroeste e nordeste, sendo as demais paredes e o piso como adiabáticos.

Para uma avaliação coerente, foram analisadas as 8760 horas correspondentes a um ano, e não apenas para um dia específico, conforme recomendado por Sorgato *et al.* [13] e Zanoni [28], com o recorte escolhido para os meses do verão já definidos. Para a simulação utilizou-se o *software EnergyPlus* 8.7, que avalia a capacidade da envoltória de isolar a energia interna e confronta a condutividade térmica, densidade e calor específico do material. Em concomitância com o *software* supracitado, foi utilizado o plug-in *Euclid* 0.9.3 para a modelagem no *SketchUp* 2017.

### 3.2 Eficiência Energética

Para a análise da eficiência da edificação foram levantadas variáveis climáticas como: temperatura do ar, velocidade do ar e umidade do ar, através de um sensor calibrado (Figura 4), concomitante a imagens com dados de temperaturas de superfícies dos sistemas de vedação da envoltória e interno, capturadas por câmera termográfica (Figura 5). O equipamento possibilita detalhamentos como à imagem infravermelha em tempo real, com uma resolução de imagem térmica não diluída, onde se reconhece as superfícies térmicas de um sistema construtivo.



Figura 4 – Termo-higro-anemômetro [29]



Figura 5 – Câmera termográfica [30]

### 3.3 Durabilidade

A análise de durabilidade foi realizada por inspeção predial, possibilitando identificar os danos e suas causas, conforme recomendações de Gomide, Fagundes Neto e Gullo [31]. Destaca-se ainda que as inspeções se deram por análises não-destrutivas nos sistemas aparentes, pois não foi permitido realizar ensaios que causassem prejuízos na edificação. Para análise das manifestações patológicas, foi definido o terceiro pavimento do bloco B (Figura 7) por ter sido entregue pela construtora há dez anos, desta forma, é a cobertura mais antiga do complexo. Em ambos os locais há cobertura verde, classificadas como extensivas [4].

A inspeção predial ocorreu em janeiro de 2020, período chuvoso na região centro-oeste, em que foram usados câmera fotográfica Canon com aproximação de 35 mm, trena de 5 m, lanterna e fissurômetro.



Figura 6 – Fachada NE/NO – sala de dança



Figura 7 – Fachada do Bloco B - cobertura verde

## 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1. Desempenho térmico

A Figura 8 mostra o gráfico obtido com a simulação térmica para o período estipulado. Nota-se que as temperaturas internas da sala tanto para o sistema de cobertura verde quanto para laje impermeabilizada encontram-se acima da temperatura externa e da temperatura do dia típico (Tabela 1), portanto, o desempenho mínimo não estaria atendido para nenhum sistema de acordo com a NBR 15575 [9]. Embora as coberturas verdes sejam utilizadas com o propósito de proporcionar uma temperatura interna menor que a externa, isso não ocorreu, possivelmente em decorrência do posicionamento crítico do ambiente em estudo, que necessitaria de outras estratégias bioclimáticas em conjunto como a presença de um isolante térmico na cobertura, ou ventilação natural cruzada por meio das esquadrias. Entretanto, nota-se uma atenuação da temperatura interna em torno de 1° em quase todos os meses do verão proporcionada pela cobertura verde.

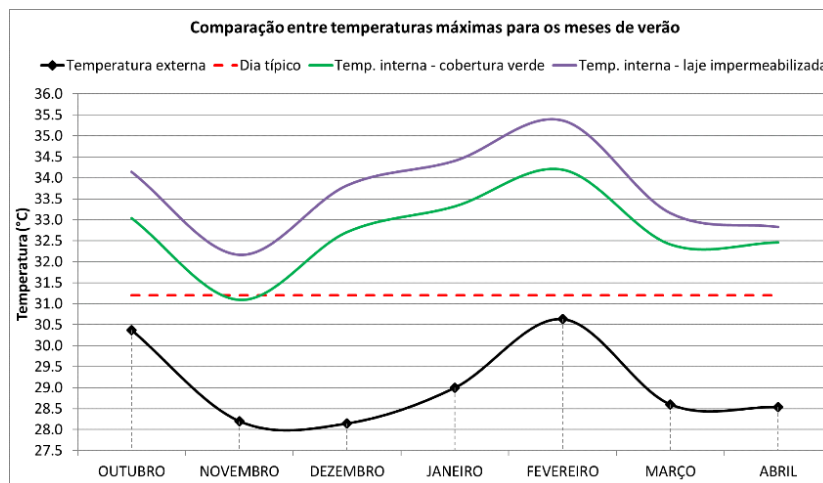


Figura 8 – Resultados da simulação térmica

Na Tabela 1, tem-se as temperaturas máximas obtidas em cada mês da simulação e a diferença entre elas, para uma análise quanto a atenuação da temperatura interna proporcionada por cada sistema.

Tabela 1 – Comparação entre as temperaturas obtidas por simulação

Meses de verão	Temp. Externa (°C) (A)	Temp. Interna (°C) Cobertura verde (B)	Temp. Interna (°C) Laje impermeabilizada (C)
OUT	30,38	33,03	34,14
NOV	28,20	31,09	32,17
DEZ	28,14	32,70	33,82
JAN	29,00	33,32	34,40
FEV	30,63	34,19	35,37
MAR	28,60	32,41	33,16
ABR	28,54	32,46	32,83

#### 4.2. Eficiência energética

A Tabela 2 compara as temperaturas e as demais variáveis relacionadas para a cobertura com sistema construtivo com laje impermeabilizada sem vegetação e por cobertura verde.

Tabela 2 – Levantamento das variáveis climáticas e superficiais

Variável	Cobertura com laje impermeabilizada	Cobertura Verde	Unid.
Temp. ext. cobertura	34,6	27,5	° C
Temp. inferior cobertura	27,8	27,7	° C
Temp. interna ambiente	26,6	30,2	° C
Temp. externa ambiente	31,9	31,8	° C
Temp. superficial piso	24,4	29,9	° C
Temp. superf. parede interna NE	26,4	27,5	° C
Temp. superf. parede interna NO	23,7	26	° C
Temp. superf. parede externa NE	31,3	29	° C
Temp. superf. parede externa NO	27,4	27,4	° C
Velocidade do ar interna	0,00	0,00	m/s
Velocidade do ar externa	0,00	0,00	m/s
Umidade do ar interna	75,6	63,7	%
Umidade do ar externa	56	56	%

Analisando a Tabela 2 tem-se:

- Na Figura 9, a temperatura superficial externa da cobertura de laje sem vegetação se apresentou superior em relação ao sistema de cobertura verde, por possuir uma laje impermeabilizada exposta.

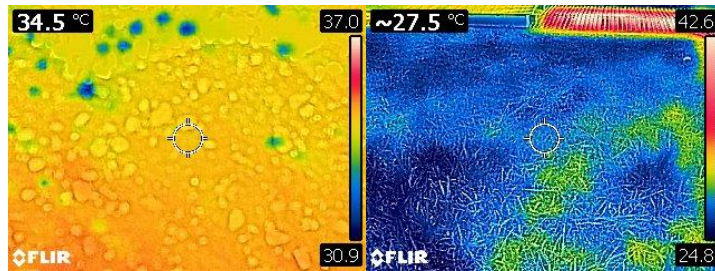


Figura 9 – Temp. externa cobertura com laje impermeabilizada x cobertura verde

- A temperatura superficial interna da cobertura de laje sem vegetação se apresentou superior apenas 0,1° C (Figura 10A), sendo que não possui forro (Figura 10B). Onde há a cobertura verde, possui forro de gesso (Figura 10C e 10D).

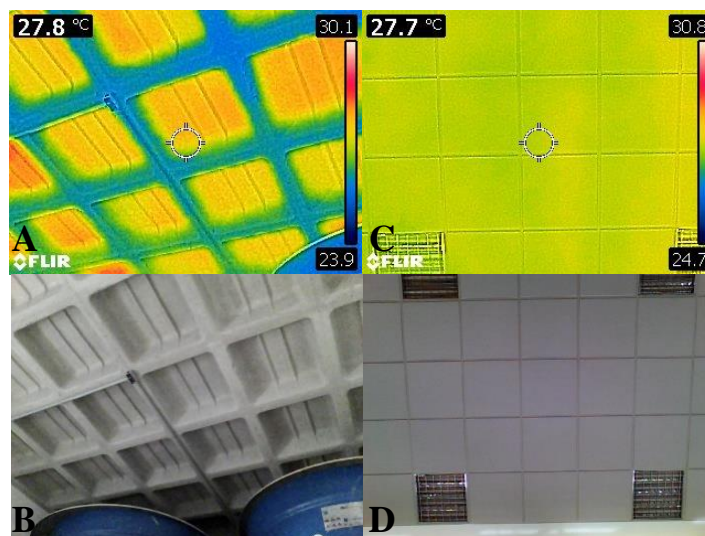


Figura 10 – (A) Temp. interna cobertura com laje impermeabilizada; (B) Temp. interna cobertura verde; (C) Face interna cobertura com laje impermeabilizada; (D) Face interna cobertura verde c/ forro de isopor

- A temperatura interna do ar da cobertura com laje impermeabilizada se apresentou 3,6° C abaixo da temperatura da cobertura verde, já externa houve uma diferença de 0,1° C por não ter influência dos sistemas de cobertura.
- A temperatura da superfície de piso da cobertura com laje impermeabilizada composta apenas por contrapiso (Figura 11B) se apresentou 2,5° C abaixo (Figura 11A) da temperatura de piso da cobertura verde (Figura 11C), que tem acabamento em piso de madeira (Figura 11D).



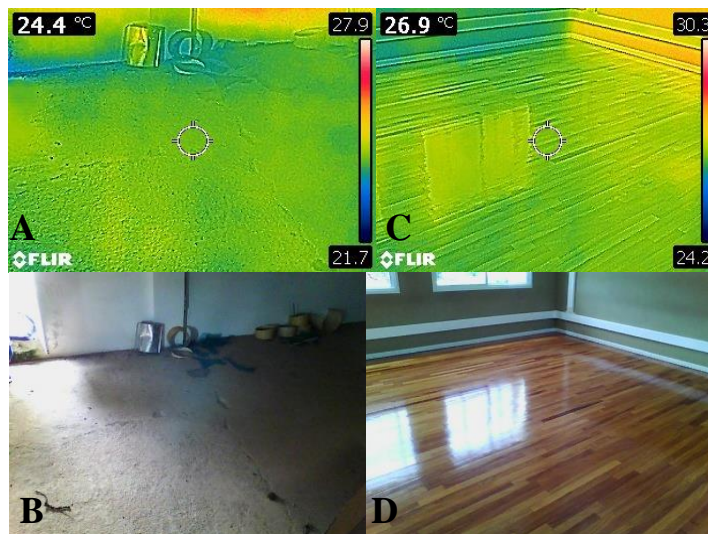


Figura 11 – (A) Temp. superf. piso cobertura com laje impermeabilizada; (B) Piso cobertura com laje impermeabilizada; (C) Temp. superf. de piso cobertura verde; (D) Piso de madeira cobertura verde

- As velocidades do ar encontradas foram de 0,0 m/s para ambas as coberturas. Porém, estudos determinaram limites de temperaturas aceitáveis relacionados com a velocidade do ar: de 26 °C a 32 °C variando a velocidade do ar entre 0,4 m a 2,0 m/s [32].
- Quanto à umidade do ar interna das coberturas, a de laje impermeabilizada sem vegetação foi menor pela existência de caixas d'água, que tornam o ambiente mais úmido.

### 4.3. Durabilidade

Por meio de inspeção visual foi possível detectar algumas manifestações patológicas nas salas de aula do Bloco B que ficam sob a cobertura verde (Figura 12).

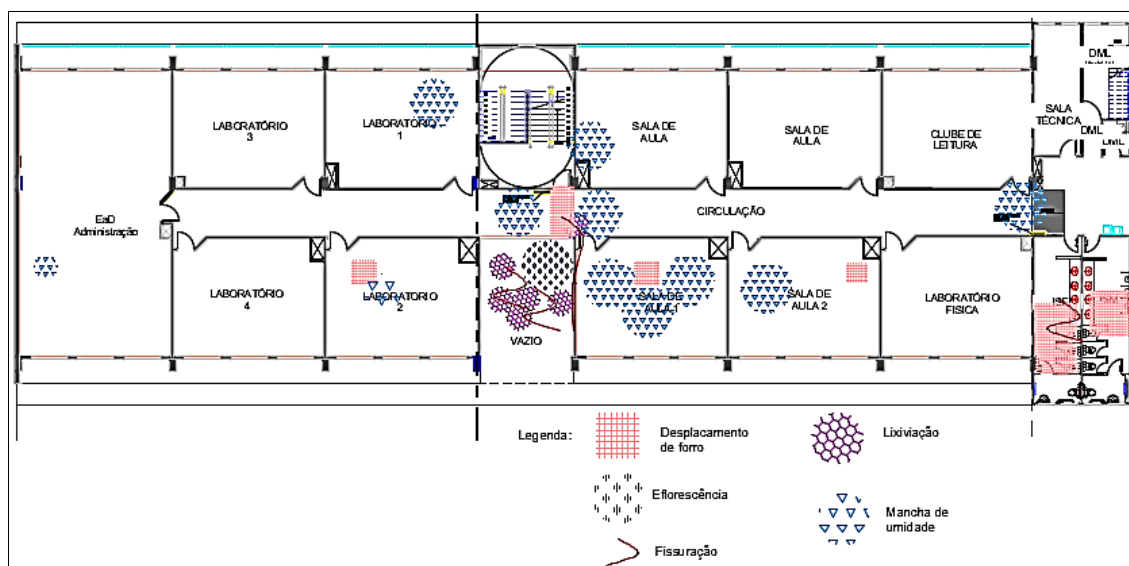


Figura 12 – Croqui do mapeamento das manifestações patológicas do último pavimento - Bloco B

Parte das manifestações patológicas ocorreu por falta de manutenção adequada (Figuras 13 e 14). Os reparos das fissuras da sala de aula 1 e na área com o pé-direito duplo não tem aderência técnica às boas práticas executivas, tendo em vista que receberam apenas reparo da camada impermeabilizante, contrariando a NBR 9574 [33] que prevê o tratamento da fissura antes da realização da impermeabilização (Figura 12).



Figura 13 – Retirada do substrato e camada vegetal da área para reparo das fissuras.



Figura 14 – Aplicação de faixa de material impermeabilizante sobre as fissuras da camada de proteção mecânica

A equipe de manutenção não recebeu o Manual de Manutenção, Uso e Operação com as instruções da construtora de como realizar manutenções periódicas para manter o desempenho do edifício em níveis aceitáveis. Assim, realizam apenas manutenções corretivas, como foi o caso da perda de estanqueidade da cobertura verde. O fato de as manchas de umidade ocorrerem sistematicamente próximas às instalações elétricas (Figura 15), acontece como consequência da redução da seção de concreto para passagem de eletrodutos e caixas elétricas, ocasionando fissuras nos elementos estruturais. Tem-se também o reparo do forro (Figura 16) com material aplicado na face inferior da laje, permitindo assim, que o elemento estrutural permanecesse em contato com a água na face superior, proporcionando a percolação desta em outro ponto. Ademais, desde a entrega do bloco B, fizeram uso de assistência técnica para correção dos problemas de umidade. Isso indica que houve falha de projeto, pois a construção ocorreu sem projeto executivo de impermeabilização e da cobertura verde. Constatou-se que a empresa que construiu o empreendimento realizou os serviços de forma empírica, sem respaldo em projeto executivo que trouxesse informações complementares completas, detalhes construtivos e indicação de metodologia executiva.



Figura 15 – Mancha de umidade forro e deslocamento ocorridos na sala 1.



Figura 16 – Reparo com material impermeável pela face inferior da laje.

As manifestações patológicas identificadas nos elementos estruturais que suportam a laje de cobertura, decorrentes da umidade inerente à utilização da cobertura verde, ocasionam a percolação de água pela porosidade da peça, alterando a estabilidade química dos hidratos da pasta. Desta forma, as peças apresentam em primeiro estágio manchas de eflorescências. Esse fator afetou o desempenho higrotérmico do elemento estrutural que permite que calor/frio e umidade passem por meio das fissuras e porosidade e influenciem a sensação térmica do local danificado.

No segundo estágio, em que a percolação de água continua gradativa, seja pelas fissuras existentes ou pela porosidade capilar existente no material, ocorre o transporte das fases mais solúveis, como o hidróxido de cálcio (CH) para a superfície, ocasionando manchas no forro até deslocar.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo discutiu três pontos chave envolvendo a cobertura verde: desempenho térmico, eficiência energética e durabilidade do sistema. Do ponto de vista da durabilidade, as manifestações patológicas encontradas em decorrência da cobertura verde são agravadas por falta de especificação técnica de projeto, como a planta de cobertura, na qual especifica a camada impermeabilizante como “manta PVC” sem o adequado detalhamento como a identificação da espessura, alturas das vedações verticais e transpasse entre as fiadas. Além disso, a inexistência de um manual de manutenção preventiva é um fator limitante para a durabilidade da cobertura verde, de sua estrutura e demais sistemas vinculados que afetam o comportamento higrotérmico da laje de cobertura, permitindo a passagem do fluxo de calor e umidade por meio das fissuras e porosidade.

Ressalta-se que o volume das águas pluviais e sua drenagem devem ser considerados no projeto e no plano de manutenção, a fim de se evitar problemas ocasionados pela umidade que, conforme exposto anteriormente, é o principal agente de degradação de edificações, além de um detalhamento completo do sistema de impermeabilização projetado.

Do ponto de vista térmico, a simulação computacional desenvolvida apresenta dados da cobertura verde que são considerados benéficos ao sistema. Os resultados demonstram leve atenuação da temperatura interna em torno de 1°C em todos os meses analisados em relação a laje impermeabilizada. No entanto, essa diminuição ainda é baixa para este sistema de cobertura, frustrando a expectativa dos pesquisadores. Constatou-se que mesmo não sendo uma edificação residencial, o parâmetro de comparação entre temperatura externa e interna da NBR 15575 é coerente para análise de desempenho térmico. Nesse caso, observou-se que não foi alcançado sequer o nível mínimo em que a temperatura interna deveria ser menor que a externa ou que a do dia típico, pois a análise das temperaturas máximas internas, foram maiores que as externas e um dia típico da cidade de Brasília. Destaca-se, contudo, a urgente demanda por uma normatização específica para edificações escolares, sobretudo para ambientes que adotam coberturas verdes.

Embora os resultados da simulação computacional para os meses de verão tenham apresentado temperatura interna acima da externa e o levantamento *in loco* - para o mês de março também no verão - ter demonstrado temperaturas internas e de superfícies do sistema de cobertura plana com laje impermeabilizada menores que a da cobertura verde, acredita-se que o sistema de coberturas verdes ainda possam cumprir seu papel quanto ao desempenho térmico e eficiência energética desde que sejam associadas a outras estratégias bioclimáticas, como um isolante térmico na cobertura ou ventilação natural cruzada por meio das esquadrias. Em consequência deste mau uso, há a necessidade do uso de condicionadores de ar para proporcionar conforto do ambiente, resultando em uma edificação energeticamente ineficiente.

Por fim, para que os resultados da pesquisa sejam válidos, a cobertura verde deve se manter irrigada e com alto índice de área foliar para que os seus benefícios sejam melhor observados. Este fato está diretamente ligado com a manutenção em favor da durabilidade do sistema, que se mostrou deficiente. Destaca-se como limitações da pesquisa o fato de não ter sido feito um monitoramento por um período mais longo, assim como também a simulação restrita à sala de interesse e não ao edifício como um todo, além da inspeção predial ter sido apenas visual por restrições do edifício.

## REFERÊNCIAS

- [1] RUPP, R. F., VÁSQUEZ, N. G., LAMBERTS, R. (2015). **A review of human thermal comfort in the built environment.** Energy and Buildings, 105, 178–205, 2015.
- [2] NORTON, B. A. et al. **Planning for cooler cities:** A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. Landscape and Urban Planning, 134, 127-138, 2015.
- [3] VIEGAS, R. M. **Aceitabilidade e preferência térmica em praças de alimentação de hipermercados em região de clima tropical úmido.** 2017. 117f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2017.
- [4] GROWING GREEN GUIDE. **A guide to green roofs, walls and facades in Melbourne and Victoria, Australia.** National Library of Australia Cataloguing-in-Publication data, 2014.
- [5] KWOK, A.G.; GRONZIK, W.T. **Manual de Arquitetura Ecológica.** 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- [6] ABREU, A.L.P.; GÓES, F.; BAUMANN, V.A.R. Protótipos parciais de cobertura verde para estudo da redução da carga térmica interna de edificação escolar em Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2015, Campinas. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015.
- [7] TALEGHANI, M. (2018). **Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies- A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 2011-2018.
- [8] 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, 103, 682–703, 2014.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 - 1: **Edificações habitacionais - Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013.
- [10] OLLIVIER, J. P.; VICHOT, A. **Durabilidade do concreto – bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente.** 1 ed. IBRACON, 2014, 615 p.
- [11] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto - Microestrutura, propriedades e materiais.** 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.
- [12] MORAKINYO, T. E. et al. **Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study.** Energy and Buildings, 145, 226-237, 2017.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575: **Impermeabilização - Seleção e projeto.** Rio de Janeiro, 2010.
- [14] ROMERO, M. A. B. **Arquitetura bioclimática do espaço público.** Brasília: Universidade de Brasília, 2001.
- [15] BRAGA, D. K.; AMORIM, C. N. D. Conforto térmico em edifícios residenciais do plano piloto de Brasília. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL E X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, p.18-21, 2004, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2004.
- [16] SORGATO, M. J. et al. **Nota Técnica Referente à Avaliação Para a Norma de Desempenho NBR 15575 em Consulta Pública.** Florianópolis: LABEEE, 2012.
- [17] FERREIRA, C. C.; PEREIRA, I. M. Avaliação de desempenho térmico de habitação de interesse social de acordo com a NBR 15575, para as diversas zonas bioclimáticas. IN: XIV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, p. 3590-3595, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2012.

- [18] SILVA, A. S. et al. **Incerteza do Método de Simulação da NBR 15575-1 Para a Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2014.
- [19] SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do Método de Simulação de Desempenho Térmico da Norma NBR 15575. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., Brasília, 2013. **Anais...** Brasília: ANTAC, 2013.
- [20] SOARES, M. M.; SILVA, A. C. S. B. Avaliação dos Parâmetros de Desempenho Térmico da NBR 15575 Para as Zonas Bioclimáticas 1, 2 e 3 Para Habitações Térreas de Interesse Social no Método Simplificado. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 15, Pelotas, 2013. **Anais...** Pelotas, 2013.
- [21] ZANONI, V.; SANCHEZ, J.M.; BAUER, E. Estudo comparativo entre os dias típicos e a série 2001-2013 de dados horários climáticos. In: 1º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos, Campinas, 2017. **Anais...** Campinas: TECSIC, 2017.
- [22] OLIVEIRA, R. B.; SALOMAO, M. C. F. Avaliação do dia típico da ABNT NBR 15575:2013 para a análise de desempenho térmico de edificações. In: Mostra Científica da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Uberlândia, Uberlândia, 2018. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2018.
- [23] OLIVEIRA, R. B.; ALVES, C. R. Desempenho térmico de uma HIS com paredes de concreto em Uberlândia-MG: uma comparação entre resultados obtidos e requisitos existentes. In: 2º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos, São Paulo, 2019. **Anais...** São Paulo: TECSIC, 2019.
- [24] ENERGYPLUS. **The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output**. US Department of Energy. 2013.
- [25] MARINOSKI, D. L. **Relatório de avaliação de propriedades térmicas de paredes de alvenaria de vedação em blocos de concreto celular autoclavado**. Florianópolis: LabEEE, 2015. 8p.
- [26] WEBER, F. S. et al. **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: LabEEE, 2017. 52p.
- [27] 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.
- [28] ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrótérmico de fachadas em Brasília**. 2015. 293 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (UNB), Brasília, 2015.
- [29] INSTRUTHERM. **Termo-higro-anemômetro-luxímetro digital portátil mod. Thal-300**. Instrumentos de Medição Ltda. São Paulo. Disponível em: [https://www.instrutherm.net.br/termo-higro-anem-luximetromod-thal-300-digital-escala0-4-a-30-0-m-s.html#product\\_tabs\\_manual](https://www.instrutherm.net.br/termo-higro-anem-luximetromod-thal-300-digital-escala0-4-a-30-0-m-s.html#product_tabs_manual). Acesso em: 25/02/2020.
- [30] FLIR **Câmera termográfica compacta Flir C2**. FLIR Systems, Inc. Wilsonville, OR. Disponível em: <https://prod.flir.com.br/products/c2/>. Acesso em: 25/02/2020.
- [31] GOMIDE, T.L.F.; FAGUNDES NETO, J. C. P.; GULLO, M. A. **Normas técnicas para Engenharia Diagnóstica em Edificações**, 2 ed. PINI, 2015.
- [32] CÂNDIDO, C.; R.D.; DEAR, R.D.; LAMBERTS, R. **Combined thermal acceptability and air movement assessments in a hot humid climate**. Build. Environ. v. 46, p. 379-385, fev. 2011.
- [33] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9574: **Execução de impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2008.