

# PROTÓTIPOS PARCIAIS DE COBERTURA VERDE PARA ESTUDO DA REDUÇÃO DA CARGA TÉRMICA INTERNA DE EDIFICAÇÃO ESCOLAR EM FLORIANÓPOLIS

**Ana Lígia Papst de Abreu (1); Felipe Góes (2); Victor Andreas Rocha Baumann (3)**

(1) Dra. Professora do Departamento Acadêmico de Construção Civil, ana.abreu@ifsc.edu.br

(2) Acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Mecatrônica, felipe.g@aluno.ifsc.edu.br

(3) Acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Civil, victor.arb@aluno.ifsc.edu.br

Instituto Federal de Santa Catarina, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Av. Mauro Ramos, 950, Florianópolis-SC, 88020-300, Tel.: (48) 3221 0560

## RESUMO

A atual cobertura do bloco de salas de aula do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACC, do Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC, precisa ser trocada. Atualmente recomenda-se que em caso de reforma na envoltória de edificações públicas busque-se obter a maior classe possível de eficiência da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Os laboratórios abaixo da cobertura do bloco do DACC apresentam elevada carga térmica devido ao ganho térmico solar durante os dias quentes e resfria-se rapidamente no período noturno, devido à cobertura de fibrocimento sem laje. O objetivo desta pesquisa é de avaliar a aplicação de cobertura verde no prédio existente do DACC com relação ao seu potencial de redução da carga térmica interna. O método deste trabalho foi dividido em duas etapas: (1) elaboração de dois protótipos parciais de coberturas verdes usando camada drenante de brita e argila expandida, para comparação das temperaturas abaixo da camada drenante; (2) medição das temperaturas internas durante um fim de semana de verão, para comparação do desempenho térmico de diferentes ambientes. Para poder averiguar o ganho térmico solar, também foram medidas as temperaturas abaixo da telha de fibrocimento existente. Os conceitos de temperatura média, amplitude térmica, atraso térmico e graus hora acima de 21°C foram usados para as comparações de um dia de medição. As temperaturas nos protótipos parciais demonstraram que em períodos quentes, a utilização de cobertura verde (com maior inércia térmica do que a telha de fibrocimento) garantiria ao ambiente interno uma distribuição da temperatura do ar sem grandes variações ao longo do dia quando comparadas com as medições de temperatura feitas abaixo da cobertura de fibrocimento. Como conclusão, recomenda-se que numa possível reforma, seja adotada o uso de coberturas verdes leves na cobertura do bloco de salas e laboratórios do DACC associado ao uso de ventilação noturna.

Palavras-chave: cobertura verde, reforma da cobertura, desempenho térmico.

## ABSTRACT

The current roof of the building the Academic Department of Civil Construction - DACC, of Federal Institute of Santa Catarina - IFSC, needs to be replaced. Nowadays, it is recommended that in case of replacement of part of the envelope of public buildings should aim the highest possible energy efficiency class of the National Energy Conservation Label (ENCE). The laboratories under the coverage of DACC building have high thermal loads due the solar heat gain during the hot days, but during the night, the internal temperature of the laboratories decreases rapidly. The objective of this research is to evaluate the implementation of green roof in existing DACC building with the aim to reduce its internal heat load. The method of this study was divided into two steps: (1) development of two partial prototypes of green roofs that have difference in the drainage layer (gravel and expanded clay), for comparison of temperatures below the drainage layer; (2) measurement of internal temperatures during a representative weekend of summer, to compare the performance of different laboratories. In order to ascertain the solar heat gain, were also measured temperatures below of the existing cement asbestos roof. The concepts of mean temperature, temperature amplitude, thermal time-lag and degree hours above 21°C were used to compare a measurement day. The measurement of the temperatures in the prototypes demonstrates that the use of green roof (higher thermal inertia than cement asbestos roof) ensures an internal temperature distribution without large variations throughout the day when compared to the temperature measurements below the asbestos cement roof. In conclusion, it is recommended that a possible reform adopt the use of green roofs on top of the DACC building with the use of natural ventilation during the night.

Keywords: green roof, replacement of roof, thermal performance.

# 1. INTRODUÇÃO

Os espaços escolares podem (e deveriam) ser formas “passivas” de ensino. Segundo Kowaltowski (2011), existe relação da aprendizagem com a qualidade da edificação escolar, e também no comportamento dos seus usuários. Nesse sentido, os benefícios de investir em uma edificação escolar sustentável vão desde servir de exemplo educacional, passando pela satisfação e sensação de conforto dos usuários, até a diminuição dos custos operacionais da edificação (U.S. Department of Energy, 2014). Desde agosto de 2014, as edificações públicas federais, incluindo as escolas, devem fazer seus projetos visando à obtenção classe “A” da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, e no caso de reforma da envoltória, a recomendação é obter a maior classe possível de eficiência (BRASIL, 2014).

No Câmpus Florianópolis do Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC encontra-se um bloco de salas e laboratórios do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACC, que precisa de manutenção na cobertura (Figura 1). Num departamento que tem cursos voltados para a área de edificações, com disciplinas relacionadas à sustentabilidade ambiental e conservação de energia, a arquitetura escolar pode servir de exemplo a ser seguido. Além disso, nas diretrizes do Plano Diretor do Campus para prédios novos, pede a previsão de coleta de água da chuva para reuso (entre outras estratégias de sustentabilidade) e integração urbana harmoniosa com o entorno.



Figura 1 – Imagem da fachada leste do bloco de salas e laboratórios do DACC – IFSC, editada a partir de foto aérea com lente grande angular. Créditos: Luciano d'Avila Dodl e Hugo Carlos d'Avila Dodl

Segundo os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (BRASIL, 2010), existem critérios para classificação do nível de eficiência da envoltória pretendido, e com relação à cobertura de edificações na zona Bioclimática 3, é pré-requisito específico que em ambientes condicionados artificialmente a transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ ) não deve ultrapassar determinados valores, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1– Pré-requisito específico de valores de transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ ) para ambiente condicionados artificialmente em função do nível de eficiência envoltória pretendido para zona Bioclimática 3 (adaptado de BRASIL, 2010).

Nível de eficiência pretendido	$U_{cob}$ para ambiente condicionados artificialmente	Cores e absorvância de coberturas
Nível A	$U_{cob} < 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	Cor de absorvância solar baixa ( $\alpha < 0,50$ ), telhas cerâmicas não esmaltadas, <b>teto jardim</b> ou reservatórios de água. (grifo nosso)
Nível B	$U_{cob} < 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	Cor de absorvância solar baixa ( $\alpha < 0,50$ ), telhas cerâmicas não esmaltadas, <b>teto jardim</b> ou reservatórios de água. (grifo nosso)
Nível C e D	$U_{cob} < 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	

A utilização da cobertura verde tem como vantagens (KWOK; GRONDZIK, 2013): (a) retenção e absorção da chuva; (b) diminuição do efeito da “ilha de calor” urbana; (c) melhoria da qualidade do ar; (d) diminuição do consumo de energia na edificação (refrigeração e ou aquecimento). Complementa-se também a vantagem da diminuição do desconforto visual no entorno que poderia ser causado com o uso de coberturas refletivas. Toda cobertura ajardinada precisa de drenagem pluvial para o excedente de água, logo, este excedente de água pluvial pode ser aproveitado.

Uma das restrições ao uso de cobertura verde é a carga na estrutura. Uma das possibilidades é a adoção de Cobertura Verde Leve – CVL, que é projetada para ter peso equivalente ao peso de um telhado com estrutura de madeira e telhas cerâmicas (CARDOSO; VECCHIA, 2013). Seixas e Vecchia (2013), apresentaram as análises da distribuição espacial de temperaturas internas (superficiais na cobertura e piso e Temperatura de Bulbo Seco em 5 alturas) em uma célula teste com cobertura verde leve. A metodologia adotada para avaliação das temperaturas baseou-se nos conceitos de episódio e dia representativo do clima, presentes no estudo da climatologia dinâmica, usando para a análise as medições de um único dia. No estudo apresentado, foi avaliado o comportamento do isolamento térmico da cobertura verde leve frente ao episódio da situação de verão, dito como condição primordial para avaliação do comportamento térmico de edifícios. A avaliação foi feita com relação às diferenças de temperaturas máximas e mínimas, internas e externas, amplitude térmica e atraso térmico.

A proposta para reforma da cobertura do bloco do DACC é trocar a situação atual, telhas de fibrocimento com forro (PVC ou placa de gesso), por laje steel deck com cobertura verde leve. Com base em resultados de pesquisas anteriores com cobertura verde (CARDOSO; VECCHIA, 2013; SEIXAS; VECCHIA, 2013; PARIZOTO; LAMBERTS, 2011; FERREIRA; MORUZZI, 2007; LOHMANN, 2008), optou-se por desenvolver um protótipo parcial de teto verde.

Seixas e Vecchia (2013) demonstraram que as temperaturas na superfície da laje (parte interna de células testes) variaram em função da posição do sensor. Os sensores próximos às paredes apresentaram temperaturas superiores possivelmente, pois sofriam a interferência do ganho térmico solar advindo das paredes, enquanto os sensores localizados na parte mais central da laje apresentaram desempenho térmico semelhante entre si. Lohmann (2008) comenta do cuidado na construção dos seus dois protótipos (um com cobertura verde e outro não) com relação ao ganho de radiação solar igual, mas observou que um dos protótipos servia de barreira aos ventos intensos de Florianópolis, e com isso apresentou maior perda de calor interna. Segundo Parizoto e Lamberts (2011), a análise da temperatura interna do ar dos ambientes abaixo de uma cobertura verde não demonstram o potencial do resfriamento da cobertura verde no período quente, e que o fluxo de calor é um parâmetro mais efetivo para esta demonstração.

A proposta desta pesquisa é avaliar o desempenho térmico de dois tipos de coberturas verde, uma com camada drenante de brita e outra de argila expandida. Por isso, propôs-se um estudo simplificado, minimizando os ganhos térmicos solares e as trocas térmicas pela lateral e parte inferior dos protótipos, verificando a temperatura abaixo da camada drenante e não abaixo da laje de cobertura.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo desta pesquisa é de avaliar a aplicação de cobertura verde no prédio existente do DACC com relação ao seu potencial de redução da carga térmica interna, através de estudo em protótipos parciais.

## **3. MÉTODO**

Este trabalho foi dividido em duas grandes etapas: (1) elaboração de dois protótipos parciais de coberturas verdes usando duas camadas de drenagem diferentes, e posterior comparação das temperaturas abaixo das camadas drenantes das coberturas verdes com a temperatura abaixo da telha atual de fibrocimento de um dos laboratórios; (2) medição das temperaturas internas de 4 laboratórios do DACC, durante um fim de semana de verão, para comparação do desempenho térmico de ambientes abaixo da cobertura (com e sem aberturas), com salas em pavimento intermediário e sala térrea.

### **3.1. Elaboração de protótipos parciais**

Os protótipos parciais de coberturas verdes foram desenvolvidos tendo como foco a verificação da existência de diferença no desempenho térmico em função da alteração da camada drenante: argila expandida e brita. Para isso, os dois protótipos foram construídos com as mesmas alturas de substratos de terra, e mesmo tipo de vegetação. Para simular a parte central de uma cobertura verde, sem precisar construir uma célula teste, os protótipos parciais foram construídos em caixas plásticas e tiveram: suas laterais isoladas termicamente com

placa de isopor coberta com uma manta aluminizada; a parte inferior também foi isolada com placa de isopor de 1cm de espessura. Desta forma, buscou-se avaliar principalmente os ganhos térmicos advindos da parte superior da “cobertura verde”. Os protótipos parciais de cobertura verde foram colocados ao lado do prédio do DACC, expondo-os ao mesmo microclima do prédio atual. Duas das limitações que podem mascarar as análises: (1) os protótipos não foram colocados inclinados, estando expostos à radiação solar diferenciada das coberturas atuais; (2) os protótipos foram colocados em local aberto, próximos a um laboratório para aquisição de dados, sendo que receberam duas horas a menos de radiação solar do que a cobertura do Laboratório CAD 3, mas a mesma quantidade de horas de radiação do que a cobertura do Laboratório de Topografia.

### 3.1.1. Caracterização dos protótipos “parciais”

Os protótipos foram montados em caixas plásticas de dimensão de 45 cm x 45 cm de área, e o corte esquemático (Figura 2) mostra as camadas dos dois protótipos parciais.

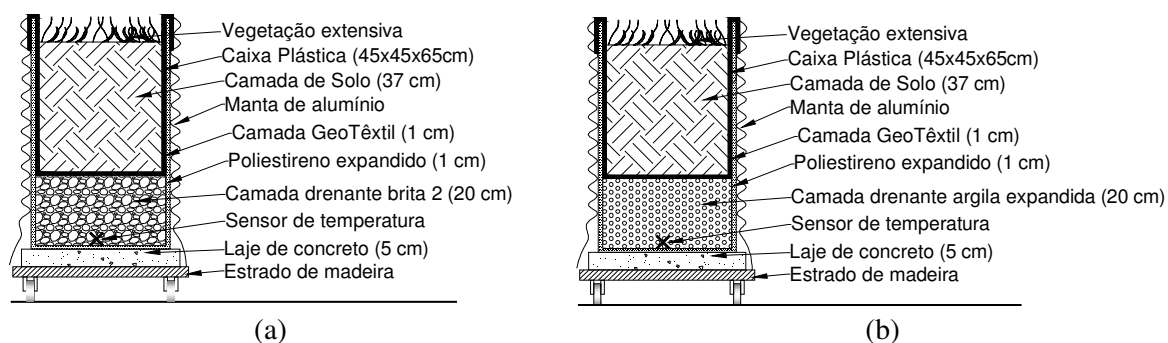


Figura 2 – Croqui esquemático dos protótipos parciais: (a) com camada drenante de brita e (b) com camada drenante de argila expandida.

Os protótipos parciais foram montados e deixados a 10 cm do chão (sobre estrado de madeira), próximos ao prédio do DACC. O protótipo foi montado dois meses antes de se iniciar o monitoramento para que a vegetação crescesse e se enraizasse. Os protótipos ficaram expostos às condições climáticas externas, e não receberam nenhum tipo de rega.

## 3.2. Desempenho térmico da situação atual

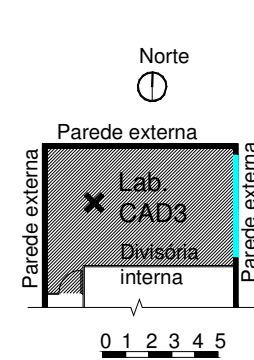
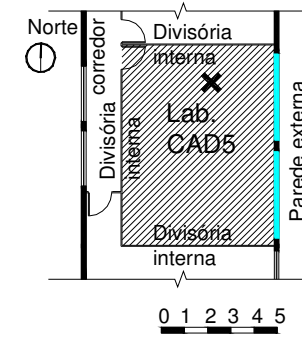
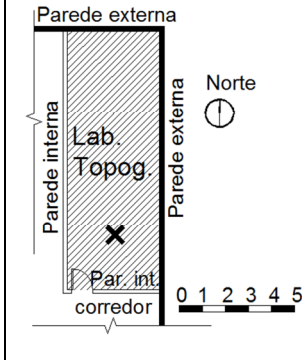
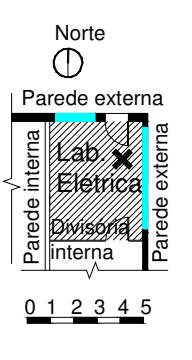
Para poder comparar o desempenho térmico dos laboratórios do prédio atual do DACC foram coletadas as temperaturas de bulbo seco (TBS). Todos os laboratórios do DACC tem a mesma orientação solar, leste, mas foram escolhidos quatro laboratórios por suas características diferenciadas de aberturas, e posicionamento com relação aos andares do prédio. A seguir é feita uma descrição e caracterização das salas analisadas, e após os critérios utilizados para comparação e análise do desempenho térmico.

### 3.2.1. Caracterização dos laboratórios

As salas monitoradas estão marcadas na fachada da Figura 1. A Tabela 2 apresenta as diferentes configurações de localização, dimensões e características construtivas. Vale salientar que as salas permaneceram fechadas, sem ventilação. O Laboratório de Topografia tem uma peculiaridade, é todo fechado (sem janelas para o exterior), e possui um desumidificador de ar sempre ligado.

Observa-se também na Tabela 2, que os valores estimados de transmitância térmica da cobertura (“U”), não atendem aos valores de pré-requisito de transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ ) nem para o nível D de eficiência da envoltória para edificações na zona Bioclimática 3 (Tabela 1).

Tabela 2 – Características dos ambientes com as temperaturas monitoradas.

	Laboratório de CAD 3	Laboratório de CAD 5	Laboratório de Topografia	Laboratório de Elétrica
Croqui				
Dimensões	8,0m x 5,0m	7,50m x 10,m	4,10m x 11,20m	4,20m x 4,75m
Pé-direito	2,92m	3,10m	2,67m	2,73m
Localização no prédio	No canto do pavimento, abaixo da cobertura, e sala abaixo.	Meio do pavimento e em pavimento intermediário (sala abaixo e sala acima)	No canto do pavimento, abaixo da cobertura, sala abaixo.	No canto do pavimento (duas paredes externas), sala térrea, com sala acima.
Parede externa	Espessura parede = 20 cm "U" ≈ 1,92 W/m²K	Espessura parede = 18 cm "U" ≈ 2,06 W/m²K	Espessura parede = 15 cm "U" ≈ 2,24 W/m²K	Espessura parede leste = 14 cm "U" ≈ 2,49 W/m²K Espessura parede norte = 34 cm "U" ≈ 1,23 W/m²K
Cobertura	Cobertura telha fibrocimento + forro PVC "U" ≈ 2,20W/m²K		Cobertura telha fibrocimento + forro gesso acartonado "U" ≈ 2,16W/m²K	
Tipo e dimensões da janela	01 janela de abrir tipo máximo ar, com vidro 4mm de 4,45m x 1,45m	02 janelas com folhas de abrir tipo máximo ar, com vidro 4mm, de 3,90 x 1,45m cada		02 janelas com folhas de abrir tipo basculante e vidro 4mm, uma a leste com 4,43m x 1,00m, e outra a norte com 1,21 x 1,79 m (aberturas parcialmente protegidas da radiação solar devido a vegetação do entorno)
Janela com cortina?	Não	Sim	-	sim

### 3.3 Medições das temperaturas nos ambientes e nos protótipos "parciais"

Para a aquisição dos dados de temperatura foram utilizados dois modelos diferentes de aquisição de dados (data loggers) da Onset Corporation: modelo U12-008 (Figura 3) e modelo U12-011 (Figura 4). Os dados coletados foram transferidos pelo software próprio do equipamento a um computador pessoal, para posterior análise.

O sistema de aquisição de sinais, modelo U12-008, foi utilizado com 4 sensores modelo TMC50-HD (Figura 3) para medir a temperatura, com acurácia de 0,25°C na faixa de 0° a 50°C. Este sensor foi escolhido por também medir a temperatura em meio líquido. Dois sensores foram colocados na parte central dos protótipos, abaixo da camada drenante (Figura 2). Um sensor foi colocado no espaço entre o forro e a cobertura do Laboratório de Topografia.

Para medição das temperaturas nos ambientes internos, utilizou-se o modelo U12-011 de aquisição de dados. Este modelo apresenta acurácia de 0,35°C na faixa de 0° a 50°C. Estes equipamentos foram colocados sobre mesas ou bancadas, com alturas variando entre 72 e 80 cm do piso, posicionados no mínimo 2 metros das paredes que faziam divisa com o ambiente externo. Um "x" nos croquis da Tabela 2 mostram a posição

dos equipamentos de aquisição de dados. Vale lembrar que as salas permaneceram fechadas durante o período das medições.



Figura 3 – Imagem do Equipamento de aquisição de dados de temperatura, modelo U12-008 com sensor modelo TMC50-HD.  
Fonte: [www.onsetbrasil.com.br](http://www.onsetbrasil.com.br)



Figura 4 – Imagem do Equipamento de aquisição de dados de temperatura e umidade, modelo U12-011.  
Fonte: [www.onsetbrasil.com.br](http://www.onsetbrasil.com.br)

### 3.3.1. Critérios utilizados para comparação do desempenho térmico

A aquisição de dados das temperaturas (salas e nos protótipos parciais) foi feita de 5 em 5 minutos, durante os dias 07 e 08 de março de 2015, e feita a média hora a hora. Este fim de semana foi escolhido por possuir um dia com características próximas a um dia representativo do clima de verão e, ter sido um fim de semana sem aulas no sábado. Todas as salas de aula são condicionadas e o uso do ar condicionado até as 22:30min da noite anterior poderia interferir na análise do comportamento térmico do dia seguinte. Para análise deste trabalho, adotou-se o segundo dia (domingo) sem o uso de ar condicionado. Neste trabalho adotou-se o estudo simplificado apresentado por Seixas e Vecchia (2013), analisando as medições de um único dia representativo de verão. Os dados de temperatura e umidade externa que foram utilizados para comparar as características do dia medido com as características de um dia típico de verão, são dados climáticos medidos na Estação Meteorológica Didática do Curso Técnico de Meteorologia do IFSC, cerca de 150 metros distante do local de monitoramento das temperaturas dos ambientes. Neste trabalho, adotou-se a temperatura máxima medida a cada hora na estação automatizada para caracterizar a temperatura daquela hora (dado disponibilizado automaticamente). O dado de Temperatura de Bulbo Úmido (TBU) foi coletado de forma manual as 9h da manhã.

Como forma de comparar a tendência de desempenho térmico dos ambientes internos entre si, e com relação ao ambiente externo, fez-se uma análise qualitativa do comportamento térmico horário ao longo de um dia de verão.

Para uma comparação quantitativa, fez-se uma comparação entre as variáveis de: atraso térmico (h); amplitude térmica (diferença da temperatura máxima e temperatura mínima no dia, em °C); somatório de graus hora (dia) acima de 21°C; e atraso térmico (hora em que ocorreu a temperatura máxima externa menos a hora que ocorreu a temperatura máxima do ambiente, ou no protótipo).

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Este item apresenta primeiro as análises para caracterização do dia adotado para a análise do desempenho térmico de verão, e as análises do comportamento térmico dos ambientes e dos protótipos verdes.

### 4.1. Caracterização do período de aquisição de dados de temperatura

Segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013), as características de dia típico de verão de Florianópolis são: a temperatura máxima diária de 32,7°C; amplitude diária de 6,6°C; temperatura de bulbo úmido de 24,4°C; nebulosidade de 7 décimos.

A Figura 5 mostra a distribuição de temperatura do ar horária coletada na estação automática instalada no Campus do IFSC em Florianópolis/SC durante o período de 01 de dezembro de 2014 a 08 de março de 2015. Na mesma figura demarcou-se a temperatura de 32,7°C que é a temperatura máxima diária de um dia típico de verão para Florianópolis (ABNT, 2013). Pela distribuição de temperaturas, observa-se que o mês de janeiro apresentou vários dias com temperaturas máximas acima da máxima diária de um dia típico de verão. Por ser o mês de férias, o monitoramento começou a partir do dia 09 de fevereiro.

Após uma semana de coleta de dados, observaram-se dados de temperaturas extremamente elevados e o equipamento de aquisição de dados precisou ser trocado junto ao fabricante. Devido a estes fatos, o monitoramento das temperaturas apresentado neste artigo é referente aos dias 07 e 08 de março de 2015.

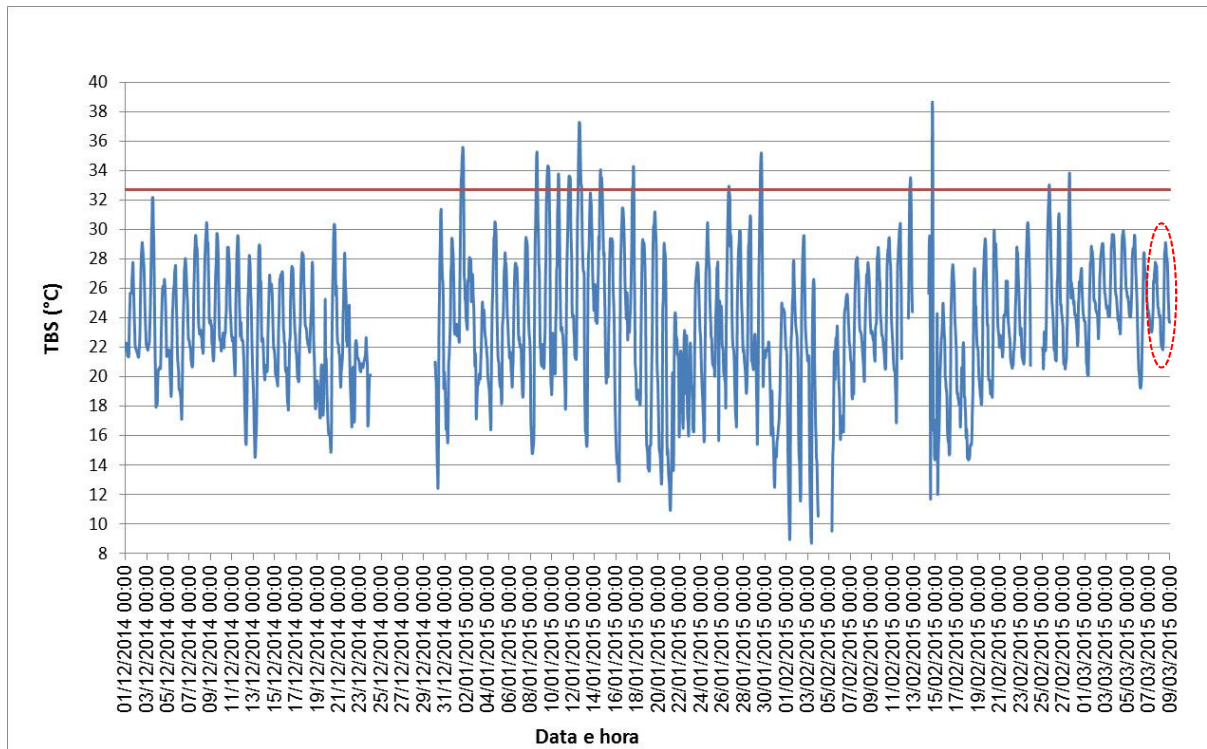


Figura 5 – Distribuição da temperatura do ar horária o período de 01/12/2014 a 08/03/2015, com delimitação da temperatura máxima diária de um dia típico de verão (32,7°C) para Florianópolis (ABNT, 2013). Fonte de dados brutos: Laboratório de Meteorologia do IFSC Campus Florianópolis.

Não houve mudanças bruscas (entrada de frente fria, por exemplo) no comportamento térmico do dia 07 para o dia 08 de março de 2015. Por isso, adotou-se o segundo dia (domingo) para todas as análises. A amplitude térmica do dia 08 de março foi de 7,3°C, 0,7°C acima da amplitude de dia típico de verão para Florianópolis. A nebulosidade foi de 5 décimos (2 décimos acima do dia típico), TBU foi de 21,6°C (2,8°C abaixo da TBU típica de verão). A temperatura média diária do ambiente externo foi de 25,1°C.

#### 4.2. Comportamento térmico qualitativo

Para caracterizar o comportamento térmico dos ambientes internos monitorados frente à temperatura externa, a Figura 6 apresenta o gráfico de distribuição da Temperatura de Bulbo Seco (TBS) interna e horária nos laboratórios, comparada com a TBS externa e a temperatura medida entre a telha e o forro do Laboratório de Topografia, durante os dois dias do fim de semana. Neste mesmo período, é apresentada na Figura 7 a distribuição de temperatura medida abaixo da camada drenante nos protótipos parciais de cobertura verde, comparados com a temperatura externa e a temperatura no forro do Laboratório de Topografia.

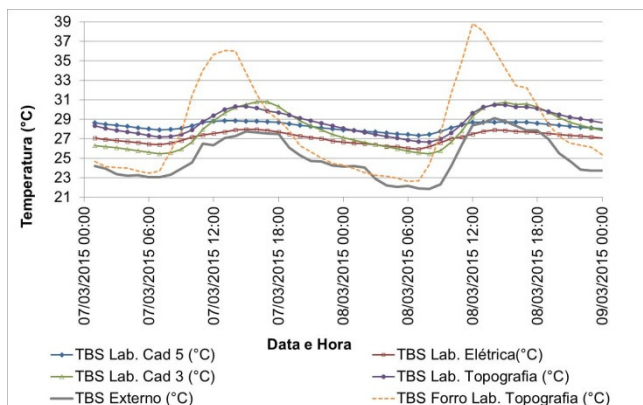


Figura 6 – Distribuição horária da TBS interna, TBS externa e TBS abaixo da telha do Laboratório de Topografia, durante o dia 07 e 08 de março de 2015.

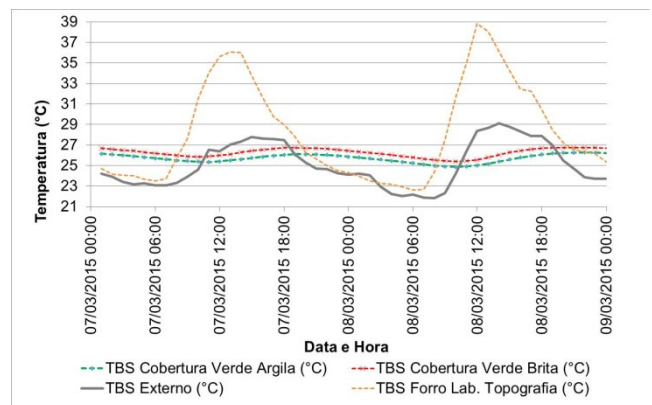


Figura 7 – Distribuição horária da TBS externa, TBS abaixo da telha do Laboratório de Topografia, e TBS abaixo da camada drenante dos protótipos parciais durante o dia 07 e 08 de março de 2015.

Através de uma análise de comportamento térmico qualitativa, observa-se pela Figura 6 que nos laboratórios que ficam abaixo da cobertura, a temperatura interna horária acompanha a variação da temperatura externa, mas a temperatura interna se mantém acima da externa. O Laboratório de Topografia apresentou temperaturas internas inferiores ao Laboratório de CAD 3, pois recebe menos radiação solar já que o próprio prédio sombreia o Laboratório de Topografia a partir das 15h, e este não possui parede externa orientada a oeste.

Mantendo-se todas as limitações de comparação (protótipo parcial x ambiente real), pode-se verificar na Figura 7 que as temperaturas medidas abaixo das camadas drenantes dos protótipos parciais de coberturas verdes mantiveram-se com pouca variação térmica se comparadas às temperatura medidas entre a telha de fibrocimento e o forro do Laboratório de Topografia. A temperatura abaixo da telha é fortemente influenciada pelo ganho térmico solar durante o dia e chega próximo à temperatura externa nos horários noturnos. As temperaturas medidas nos protótipos parciais variaram pouco e as temperaturas medidas no protótipo com drenagem de argila expandida mantiveram-se abaixo das temperaturas do protótipo com drenagem de brita.

### 4.3. Comportamento térmico quantitativo

Para uma análise quantitativa, a Tabela 3 apresenta valores de temperaturas máximas e mínimas medidas, e os valores calculados de temperatura média e amplitude térmica diária. Os valores referem-se somente ao dia 08 de março de 2014. As mesmas análises das temperaturas foram feitas para os protótipos parciais de cobertura verde, mas estes estão em destaque na Tabela 3 pois são dados de referência comparativa, não podendo servir de comparação absoluta.

Tabela 3– Dados de temperaturas média, máxima, mínima, amplitude, graus hora e atraso térmico para caracterização do comportamento térmico dos ambientes e dos protótipos parciais de cobertura verde.

	TBS (°C)				Graus hora > 21°C (°C.h)	Atraso térmico (h)
	média	máxima	mínima	amplitude		
Ambiente externo	25,1	29,1	21,8	7,3	97,7	-
Laboratório Cad 3	28,1	30,8	25,5	5,3	169,3	1
Laboratório Cad 5	28,1	28,7	27,3	1,4	171,2	1
Laboratório Elétrica	27,0	27,9	25,9	2,0	144,9	1
Laboratório Topografia	28,6	30,5	26,6	3,9	183,1	0
Forro Laboratório Topografia	28,5	38,8	22,6	16,2	179,0	-2
Protótipo parcial de cobertura verde com camada de Argila	25,6	26,3	24,9	1,4	110,2	8
Protótipo parcial de cobertura verde com camada de Brita	26,1	26,8	25,4	1,4	123,6	7

A temperatura média dos ambientes internos foi entre 3°C e 3,5°C acima da temperatura média externa, exceto no Laboratório de Elétrica, onde a temperatura média foi somente 1,9°C acima da temperatura externa.

A amplitude térmica diária ajuda a caracterizar melhor os ambientes internos que estão abaixo da cobertura de fibrocimento, pois as duas maiores amplitudes, 5,3°C e 3,9°C, ocorreram respectivamente no Laboratório de CAD 3 e no Laboratório de Topografia. O Laboratório de Elétrica, que teve a menor média dos ambientes, apresentou amplitude térmica (2,0°C) maior que o Laboratório de CAD 5 (1,4°C), mas sua temperatura máxima interna foi 0,8°C inferior ao Laboratório de CAD 5. No caso do Laboratório de Elétrica, o contato com solo, e o pouco ganho térmico solar, garantem este melhor comportamento térmico.

A medição da temperatura no vão do forro do Laboratório de Topografia permite verificar que na média, a temperatura foi equivalente aos ambientes internos, mas sua temperatura máxima foi 9,7°C acima da temperatura externa e 8,3°C acima da temperatura máxima interna do laboratório. Isto demonstra o ganho térmico solar e sua transferência de calor para o ambiente interno devido ao elevado valor de transmitância térmica da cobertura atual. Não foi possível monitorar a temperatura entre o forro e a cobertura do Laboratório de CAD 3 o qual apresentou maior valor de temperatura máxima interna, mas possivelmente uma aquisição de dados de temperatura abaixo da telha deste laboratório apresentaria valores superiores, pois



recebe mais radiação solar durante o dia do que o Laboratório de Topografia que, por estar a leste e um andar abaixo do Laboratório CAD 3, fica sombreado pela volumetria da edificação.

Com relação à temperatura mínima, o ambiente interno que apresentou o menor valor (25,5°C) foi o Laboratório CAD 3, que para condições de verão é excelente. Comparando a temperatura mínima no forro do Laboratório de Topografia, com a temperatura externa, encontra-se que a diferença foi apenas 0,8°C superior. Isto demonstra que no período noturno, sem ganho térmico solar, o alto valor de transmitância térmica faz com que se perca o calor interno para o ambiente externo, o que é ideal nos períodos quentes, mas não é o ideal para os períodos frios em Florianópolis.

O método de graus hora pode ser usado simplificadamente para comparar a necessidade térmica de resfriamento, considerando na presente análise o valor de referência de 21°C. O que se observa na Tabela 3 é que o menor valor absoluto de graus hora acima de 21°C foi do ambiente externo (97,7°C.h), e que os ambientes internos apresentaram valores entre 48% e 87% superiores. Pela análise do método de graus hora, o que chama atenção é que o Laboratório de CAD 5, que está no meio da edificação e somente com uma parede em contato com o ambiente externo, apresentou valor 1,9°C.h superior ao Laboratório de CAD 3 que apresenta três paredes expostas ao ambiente externo e está abaixo de uma cobertura de fibrocimento com forro de PVC. Isto demonstra que mesmo os ambientes com menor contato da envoltória com o ambiente externo poderiam se beneficiar do resfriamento noturno.

Mesmo que a temperatura medida no forro do Laboratório de Topografia tenha sofrido a influência da radiação solar, e ter apresentado uma distribuição de temperaturas ao longo do dia superior ao interno do Laboratório de Topografia, no somatório de graus hora, o total no ambiente do forro foi 4,1°C.h inferior ao somatório de graus hora interno do laboratório.

Como comentado anteriormente, as medições de temperatura feitas abaixo da camada drenante nos protótipos parciais servem de referência para comparação relativa. Verificou-se nos protótipos parciais que a amplitude térmica foi muito inferior a amplitude térmica do ar que fica entre a telha de fibrocimento e o forro (Figura 7 e Tabela 3).

Comparando os protótipos parciais entre si, observa-se que o protótipo com camada drenante de argila expandida apresentou temperaturas em torno de 0,5°C inferiores ao protótipo parcial com brita. Além disso, para a análise de um dia, o somatório de graus hora acima de 21°C foi 13,4°C inferior no protótipo parcial com argila expandida.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho iniciou a partir: (1) da recomendação de que em caso de reforma da envoltória de edificações públicas busque-se obter a maior classe possível de eficiência da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE); e (2) da necessidade de reformar a cobertura do bloco de laboratórios e salas de aula do DACC do IFSC. O acionamento dos condicionadores de ar nos laboratórios abaixo da cobertura de fibrocimento é predominante durante o ano, mesmo nos períodos com temperaturas amenas. Buscou-se então, aferir a situação atual e avaliar a possibilidade de redução da carga térmica interna nos laboratórios a partir de um estudo *in loco*.

Como visto em trabalhos feitos em ambientes reais (PARIZOTO; LAMBERTS, 2011) e em células (CARDOSO; VECHIA, 2013), as coberturas verdes auxiliam na melhora do comportamento térmico dos ambientes internos. O Plano Diretor do Campus Florianópolis do IFSC prevê que prédios novos tenham uma integração harmoniosa com o entorno. As coberturas verdes, se comparadas com coberturas refletivas, impactam menos e não causam desconforto visual.

A partir das medições de temperaturas feitas num dia de verão em quatro laboratórios (fechados) do DACC, observou-se que as temperaturas internas dos ambientes abaixo da cobertura atual de fibrocimento acompanham mais próximo a flutuação da temperatura externa do que os ambientes no meio da edificação. Mas a carga térmica total do dia (somatório de graus hora acima de 21°C) no Laboratório CAD3, que tem três paredes externas e fica abaixo da cobertura, conseguiu ser inferior ao somatório de graus hora de um outro laboratório que fica no meio da edificação. A diminuição da temperatura no período noturno no Laboratório de CAD3 é o que contribuiu para este valor 1,9°C.h inferior. Sugere-se que, independente da localização dos laboratórios, preveja-se a utilização de resfriamento noturno (insuflamento de ar), quando as temperaturas externas apresentam valores inferiores aos da temperatura interna.

Com a proposta de construção de “protótipos parciais” de coberturas verdes conseguiu-se verificar qualitativamente sob as mesmas condições micro climáticas o melhor desempenho do comportamento das temperaturas abaixo da camada drenante da cobertura verde, frente ao comportamento térmico do ambiente abaixo da atual telha de fibrocimento. A comparação de dois tipos diferentes de camada drenante, brita e

argila expandida, mostrou que o protótipo com argila expandida manteve-se com temperatura em média 0,5°C abaixo da temperatura medida na camada de brita.

Desta forma, sugere-se: (1) a utilização de cobertura verde leve na reforma da cobertura do prédio de laboratórios e salas de aula do DACC, como forma de reduzir a carga térmica interna nos períodos quentes; (2) utilização de camada drenante de argila expandida; (3) uso de insuflamento de ar externo no período noturno, e ou quando as temperaturas externas estiverem inferiores a temperatura interna.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-**: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- BRASIL. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. **Instrução Normativa nº 2, de 4 de junho de 2014**. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Disponível em: <[http://siabi.trt4.jus.br/biblioteca/direito/legislacao/atos/federais/int\\_mpog\\_slti\\_2014\\_2.pdf](http://siabi.trt4.jus.br/biblioteca/direito/legislacao/atos/federais/int_mpog_slti_2014_2.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2015.
- \_\_\_\_\_. INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia. **Portaria n. 372 de 17 de setembro de 2010**. Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2015.
- CARDOSO, G. T.; VECCHIA, F. Thermal Behavior of Green Roofs Applied to Tropical Climate. **Journal of Construction Engineering**, v.1, n.1, p. 1-7, jan. 2013.
- FERREIRA, C. A.; MORUZZI, R.B. **Considerações sobre a aplicação do telhado verde para a captação de água da chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis**. IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Campo Grande: UFPR, 2007. p. 1027-1036.
- KÖHLER et all. Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics: Far beyond the aesthetics. **Environmental Management and Health**, 2002. vol. 13 p. 382-391. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/0956-6163.htm>>. Acesso em: 24 mar. 2015.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- KWOK, A.G.; GRONZIK, W.T. **Manual de Arquitetura Ecológica**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- LOHMANN, Alberto. **Desempenho higrotérmico de cobertura vegetal inclinada em dois protótipos construídos na região de Florianópolis**. Florianópolis. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- PARIZOTO, S.; LAMBERTS, R. Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. **Energy and Buildings**. v.43, n.7, p. 719-729, jul. 2011.
- SEIXAS, G.T. C.; VECCHIA, F. **Distribuição espacial de temperaturas internas em uma cobertura verde leve para o clima tropical brasileiro**. IX Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura. Maringá: ENTECA, 2013. p. 1-11.
- TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar Editora, 2005. 180p.
- U.S. Department of Energy. **Guide to operating and maintaining Energy Smart Schools**. Disponível em: <[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/energysmartschools/ess\\_o-and-m-guide.pdf](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/energysmartschools/ess_o-and-m-guide.pdf)>. Acesso em: 05 abr. 2014.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelas bolsas acadêmicas, ao IFSC pelos recursos financeiros disponibilizados ao projeto, a Camila Ferreira pelos cálculos de transmitância térmica das paredes e coberturas, e aos bolsistas e ao professor responsável pela Estação Meteorológica Didática do Curso Técnico de Meteorologia do IFSC pela disponibilização dos dados meteorológicos.