



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

**TELHADO VERDE EXTENSIVO EM PRÉ-MOLDADO DE CONCRETO
EVA (ACETATO ETIL VINILA)**

Tatyane Nadja Martins de Mendonça

João Pessoa- Paraíba
Março – 2015



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

**TELHADO VERDE EXTENSIVO EM PRÉ-MOLDADO DE CONCRETO
EVA (ACETATO ETIL VINILA)**

Dissertação de mestrado apresentada a
Universidade Federal da Paraíba para a
obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Civil e Ambiental, área de concentração
Engenharia Urbana, sob a orientação do
Professor Dr. Alúcio Braz de Melo.

Tatyane Nadja Martins de Mendonça

João Pessoa- Paraíba
Março – 2015

M539t Mendonça, Tatyane Nadja Martins de.
Telhado verde extensivo em pré-moldado de concreto
EVA (Acetato Etil Vinila) / Tatyane Nadja Martins de
Mendonça.- João Pessoa, 2015.
210f.
Orientador: Aluísio Braz de Melo
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT
1. Engenharia urbana. 2. Telhado verde extensivo.
3. Resíduo de EVA. 4. Comportamento térmico. 5. Retenção -
água pluvial. 6. Blocos TEVA.

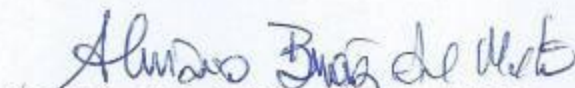
UFPB/BC

CDU: 62:711(043)

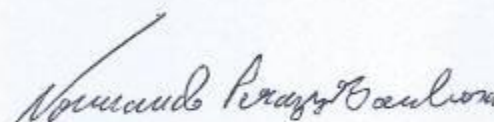
**TELHADO VERDE EXTENSIVO EM PRÉ-MOLDADO DE CONCRETO EVA
(ACETATO ETIL VINILA)**

TATYANE NADJA MARTINS DE MENDONÇA
Dissertação aprovada em 31 de março de 2015
Período letivo: 2014.2

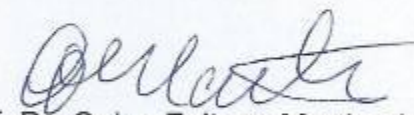
BANCA EXAMINADORA



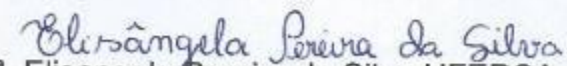
Prof. Dr. Aluisio Braz de Melo-UEPB
(Orientador)



Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa-UEPB
(Membro Interno)



Prof. Dr. Celso Feitosa Martins-UEPB
(Membro Externo)



Prof^a. Dr^a. Elisângela Pereira da Silva-UFERSA
(Membro Externo)

DEDICATÓRIA

À memória de meu pai Lenilton Martins de Mendonça por ter sido um pai presente que apoiou e acompanhou de perto o desenvolvimento pessoal e profissional de seus filhos, por ter alicerçado as nossas bases, e nos ensinado a caminhar rumo ao futuro. E por mais um excepcional motivo: ter me feito entender uma grande façanha da vida: “Tudo muda o tempo todo”, e tão só por isso, cada segundo é milagrosamente valioso.

AGRACEDIMENTOS

A Capes pelo fornecimento da Bolsa.

Ao presente orientador, prof. Aluísio Braz, pelo apoio e por ter sido um orientador dedicado e atencioso em cada etapa desse trabalho.

Ao Vitor Muniz, graduando em arquitetura, pelo apoio a esta pesquisa, inclusive por todas suas magníficas ilustrações.

Aos funcionários do LABEME pelo apoio técnico e em especial a Delby e Sebastião.

Ao Sr. Francisco e o engenheiro agrônomo, profº Fernando Viana, do CBIOTEC pelo apoio e ensinamentos na parte de plantio.

A professora Elisângela Pereira pela pronta colaboração nessa pesquisa.

Aos professores Celso Feitosa e Normando Perazzo por terem aceitado o convite de fazer parte da banca e pelas suas contribuições.

A profª. Rogéria Gaudêncio pelo apoio e motivação ao longo da trajetória acadêmica.

Ao colega de profissão prof. David Anthonny pela colaboração na revisão do texto.

Aos companheiros do Laboratório: Kaline Aranha, Caroline Gonçalves, Pablo, Emilly e Ana Beatriz pelo apoio nos trabalhos e coleguismo.

Aos meus colegas de mestrado pelos momentos de convivência e aprendizados, em especial a Felipe, Gabi e Luana.

A minha mãe pelo acompanhamento escolar ao longo de todo o ensino básico, e pelos esforços para que cada etapa fosse cumprida com excelência.

Ao meu marido Kívio “por transformar a minha vida em um lago de paz, carinho e amor” (CREÃO-DUARTE, in tese), e pela imensa ajuda e apoio, principalmente, nas etapas finais desse trabalho.

Aos meus sobrinhos Tauan e Tales, e a prima Layanne, por encherem meu coração de afeto e determinação.

A memória dos meus avôs José Rosa e José Ricardo, pelos conselhos de seguir sempre nos estudos.

Ao invés de construir para proteger-nos da natureza, a fim de proteger os nossos corpos, ou construir para proteger a natureza de nós, a fim de salvar o planeta, está-se agora começando a construir com a natureza para o mútuo benefício de “Nosso Mundo” (YEANG, 1995).

RESUMO

MENDONÇA, TATYANE NADJA MARTINS DE. **Telhado verde extensivo em pré-moldado de concreto EVA (Acetato Etil Vinila)**. 2015. 210 f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

As áreas verdes da cidade estão sendo ocupadas cada vez mais pelas edificações e impermeabilizações de pavimentos e isto implica em menor qualidade nos ambientes urbanos, uma vez que o efeito da vegetação nesses espaços vai muito além do paisagístico, sendo responsável pela purificação do ar, manutenção da umidade, equilíbrio térmico, entre outros benefícios. Diante da falta do espaço para o verde, e sabendo que os telhados constituem-se em uma porcentagem significativa das áreas impermeabilizadas, defende-se aqui a utilização dos telhados vegetados a fim de se aumentar o verde das cidades e aproveitar os seus benefícios. Uma tecnologia modular de telhado verde extensivo desenvolvida à base de um pré-moldado cimentício, que utiliza resíduo da indústria de calçado (EVA), foi investigada aqui desde sua concepção até a sua avaliação. Nos procedimentos metodológicos foram cumpridas as seguintes etapas: concepção do módulo (denominado bloco TEVA) e do molde para sua fabricação, moldagens experimentais com definição das proporções entre os materiais do compósito cimentício, simulações de sistemas de telhados verdes, instalação do sistema modular em escala real para acompanhamento do desenvolvimento vegetal, e em escala de protótipo para avaliação do comportamento térmico, comparado com quatro outros tipos de coberturas (laje exposta, telhado cerâmico, telhado de fibrocimento, telhado verde com blocos de concreto). Comparando os mesmos protótipos, também foi feita uma avaliação da água pluvial drenada pelos diferentes tipos de coberturas. Com base nos resultados pode-se concluir que o módulo idealizado para ora ser vegetado, ora ser utilizado como piso, tem geometria, resistência mecânica, leveza e permeabilidade à água satisfatórios para o tipo de telhado verde proposto. Os módulos também permitiram um bom desenvolvimento da vegetação. A avaliação térmica confirmou que o telhado verde modular com blocos TEVA promoveu um maior equilíbrio térmico e reduziu a temperatura do ar interno, quando comparado com os outros tipos de coberturas. Quanto à análise da água pluvial drenada por diferentes sistemas, o telhado verde modular com bloco TEVA também foi o que apresentou o melhor desempenho, diminuindo significativamente o volume da água escoada.

Palavras-chave: Telhado Verde extensivo; Resíduo de EVA; Comportamento térmico; Retenção de água pluvial; Blocos TEVA.

ABSTRACT

MENDONÇA, TATYANE NADJA MARTINS DE. **Extensive green roof on concrete pre-molded EVA (Ethyl Vinyl Acetate)**. 2015. 210 f. Dissertation (Master's degree)- Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental Program (PPGECAM), Federal University of Paraíba, João Pessoa, 2015.

Green areas of the city are occupied increasingly by buildings and waterproofing floors, and this implies lower quality in urban environments, since the effect of vegetation in these areas goes far beyond the landscape, it is responsible for purification air, moisture maintenance, thermal equilibrium, among other benefits. Given the lack of green space, and knowing that the roofs are in a significant percentage of impermeable areas, it is defended here the use of vegetated roofs, in order to increase the green of the cities and enjoy its benefits. An extensive green roof modular technology developed on a pre-molded cement, which uses the residue of footwear (EVA) was investigated here, from its conception to its evaluation. In the methodological procedures the following milestones have been met: module design (called block TEVA) and from mold to manufacture, experimental moldings with definition of proportions among the cementitious composite materials, green roof systems simulations, the modular system installation in real scale for plant development monitoring, and prototype scale to evaluate the thermal behavior and in four other types of coverage (exposed slab, ceramic roof, fiber cement roof, green roof with concrete blocks). Comparing the same prototypes, was also made an assessment of rainwater drained by different types of roof coverings. Based on the results it can be concluded that the module designed to be sometimes vegetated, sometimes be used as floor, has geometry, mechanical strength, lightness and water permeability suitable for the type of green roof proposed. The modules also allowed a good development of vegetation. A thermal evaluation confirmed that the green roof with TEVA modular blocks provided a better thermal balance and reduced indoor air temperature when compared with other types of coverage. The analysis of rainwater drained by different systems, modular green roof with TEVA block was also the one with the best performance, significantly reducing the volume of runoff.

Keywords: Extensive Green Roof; EVA residue; Thermal behavior; Rainwater retention; TEVA blocks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Espacialização da vegetação na cidade.	6
Figura 02: Inauguração do telhado verde no prédio do ITBC, Rua da guia, 142, no bairro do Recife/PE.	8
Figura 03: (a) Sistema modular galocha vegetado desenvolvido pela Ecotelhado; (b) Telhado verde com o sistema modular.....	15
Figura 04: Temperatura do ar interno e externo às células de teste com diferentes sistemas de cobertura.	16
Figura 05: Telhados verdes extensivos em casas na Austrália.	21
Figura 06: Telhado verde semi-intensivo na Varsóvia/Polônia.....	21
Figura 07: Telhado verde intensivo na Polônia.	22
Figura 08: Representação do sistema contínuo.	22
Figura 09: Telhado verde contínuo em uma casa em condomínio de luxo em João Pessoa, Paraíba.....	23
Figura 10: Unidade modular.....	23
Figura 11: Telhado verde modular.	24
Figura 12: Configuração do tipo aéreo.	24
Figura 13: Sistema pré-cultivado, tapete de grama.	25
Figura 14: Materiais utilizados nos telhados verdes (a) polimérico não reciclado; (b) módulo de plástico (PET) reciclado.....	26
Figura 15: Módulo composto por resíduo de EVA produzido pela Ecotelhado.....	27
Figura 16: Telhado verde da Escola Erich Heine no Rio de Janeiro.	27
Figura 17: Altura do substrato em diferentes tipos de sistemas de Telhados Verdes.	33
Figura 18: Módulo vegetável desenvolvido por Rosseti (2009), feito com resíduos de isopor.....	33
Figura 19: Modelagem preliminar do módulo vegetável.....	34
Figura 20: Solução eficaz para o escoamento da água para o módulo retangular....	35
Figura 21: Versão final de dois módulos (posições invertidas do bloco TEVA), cada um com dimensões de 35 cm x 35 cm x 13 cm (comprimento x largura x altura).	36

Figura 22: Forma metálica utilizada na confecção de pré-moldado de vedação (EVANG).	37
Figura 23: Apresentação das peças que compõem a forma projetada em madeira para moldagem do bloco TEVA.	37
Figura 24: Forma para a produção dos módulos vegetáveis, com todas as peças. (a) “Tampa” erguida parcialmente, com as “paredes mais fundo vazado” apoiada sobre o “fundo”, e (b) Apenas a peça “fundo” com os cubos, sem as “paredes com fundo vazado”	39
Figura 25: Dimensões do molde metálico, vista superior do molde (a), vista lateral (b).	40
Figura 26: a) Máquina vibro-prensa do LABEME com molde metálico do bloco TEVA instalado; b) imagem superior do molde metálico; c) imagem inferior do molde metálico.	40
Figura 27: (a) Resíduos de EVA doados em forma de retalhos e, (b) apara individual.	42
Figura 28: Etapas para o processamento do EVA: (a) corte das aparas (b) moinho de facas e (c) trituração.	43
Figura 29: (a) Moinho de facas rotativas, e (b) Agregados de EVA com diâmetro máximo característico igual a 6,3 mm.	43
Figura 30: Versão final do projeto do bloco TEVA, com dimensões de 35 cm x 35 cm x 13 cm.	45
Figura 31: Primeiras moldagens. (a) Em mesa vibratória preenchendo o molde com o compósito, (b) retirada da tampa após vibração.	46
Figura 32: Moldagem do bloco TEVA. (a) Preenchimento do material no molde, e (b) desmoldagem.	47
Figura 33: Desenhos esquemáticos do (a) molde e da (b) placa.	47
Figura 34: Moldagem do bloco de concreto na geometria TEVA.	48
Figura 35: Cura dos blocos TEVA - (a) dispostos na prateleira dentro da câmara úmida; (b) blocos TEVA imersos em tanques com água saturada em cal (na parte inferior) e blocos TEVA retirados do tanque após sete (7) dias (na parte superior). .	49
Figura 36: (a) Vista frontal de dois blocos capeados - TEVA (atrás) de concreto (frente); (b) vista lateral de dois blocos capeados – TEVA (à esquerda) e de concreto (à direita).	50

Figura 37: (a) Entrada principal do CBIOTEC/UFPB; (b) vista do horto de plantas medicinais do CBIOTEC/UFPB.	51
Figura 38: (a) Transporte dos blocos não vegetados do LABEME/CT/UFPB ao CBIOTEC/UFPB; (b) transporte dos blocos, depois de vegetados do CBIOTEC/UFPB ao LABEME/CT/UFPB.	51
Figura 39: Primeiros blocos TEVA vegetados no horto do CBIOTEC com uso de substrato próprio.	54
Figura 40: (a) Organização dos blocos sobre uma lona plástica; (b) Colocação de substrato nos espaços vazios dos blocos TEVA.	54
Figura 41: (a) Blocos com substrato pronto para receber os vegetais; (b) Recolhimento dos vegetais para replantio nos blocos.....	55
Figura 42: (a) e (b) Replante dos vegetais nos blocos TEVA.	55
Figura 43: Blocos TEVA em processo de aclimação (duas semanas).	56
Figura 44: Blocos de concreto (à esquerda) e blocos TEVA (à direita), ambos logo após receberem o replante da espécie <i>Coleus amboinicus</i> Lour. (hortelã da folha grossa).	57
Figura 45: Localização do LABEME no CT na UFPB.....	58
Figura 46: (a) execução da impermeabilização da laje; (b) instalação dos primeiros blocos TEVA vegetados dispostos na laje.....	59
Figura 47: (a) Instalando o Telhado verde do LABEME; (b) Telhado verde no LABEME instalado com blocos TEVA vegetados e blocos TEVA como piso (posição invertida).....	60
Figura 48: Arranjo dos blocos TEVA (vegetados ou invertidos) configurando o telhado verde modular do LABEME.	61
Figura 49: Vista aérea da localização do NUPPA, sombreamento em vermelho da zona industrial de mangabeira.	62
Figura 50: Planta baixa do protótipo, com porta de acesso lateral em madeira.	63
Figura 51: Corte AA do protótipo com o telhado verde com bloco TEVA.	64
Figura 52: Memorial fotográfico da execução dos protótipos.	65
Figura 53: (a) Sistema de travamento externo da porta; (b) Vista interna do protótipo com a porta fechada, com a borda em EVA utilizada para vedação internamente. ..	66

Figura 54: Vista aérea das sombras projetadas nos protótipos executados para a pesquisa. (a) Sombreamento no início da manhã; (b) Sombreamento no final da tarde.	67
Figura 55: Protótipo 01 com laje exposta (LajExp)	68
Figura 56: Protótipo 02 com telha cerâmica sobre a laje (T.Cera)	69
Figura 57: Protótipo 03 com telha de fibrocimento sobre a laje (T.Fibroc)	69
Figura 58: Protótipo 04 com telhado verde com blocos de concreto (TVconcr)	70
Figura 59: Protótipo 05 com telhado verde de blocos TEVA (TEVA)	70
Figura 60: Composição do m ² para aferição da massa do sistema vegetado (seco e saturado).	72
Figura 61: (a) Na cobertura das instalações do INPE- RN durante a calibração da Davis utilizada nas medições; (b) Davis parâmetro para a calibração em destaque.	75
Figura 62: (a) Davis instalada na área de estudo; (b) Console, registrador de dados.	75
Figura 63: Imagem interna da caixa de madeira vazada, confeccionada para proteção dos equipamentos instalados no seu interior.	76
Figura 64: (a) Construção da casa de madeira (abrigo); (b) casa de madeira instalada junto ao protótipo.	77
Figura 65: Dispositivo (Hobo) utilizado na coleta de dados de temperatura do ar interno aos protótipos.	78
Figura 66: Câmera termográfica.....	78
Figura 67: Posição dos termopares na cobertura.....	81
Figura 68: Posição do termopar nos blocos de telhado verde.....	81
Figura 69: Termopar na face interna do teto da laje.....	83
Figura 70: Posição da casa de madeira, quando em análise comparativa. Semana 05.	84
Figura 71: Sistema de coleta da água pluvial.....	85
Figura 72: Marcação da escala nos coletores utilizados para acumular a água da chuva: (a) Antes da marcação da escala; (b) após a marcação da escala.	86
Figura 73: (a) Funil adaptador; (b) todos os recipientes com os funis instalados.	86

Figura 74: Primeiras moldagens experimentais do bloco TEVA com molde de madeira.	92
Figura 75: Projeto do bloco TEVA com paredes de 3 cm e novas dimensões para os vazios internos.	92
Figura 76: Moldagens experimentais dos blocos TEVA com paredes de 3 cm, persistindo os problemas de quebras após a desmoldagem.....	93
Figura 77: Molde de madeira fixado na mesa vibratória com parafusos do tipo borboleta.	93
Figura 78: Moldagens experimentais, com persistência de blocos TEVA com paredes quebradas.	94
Figura 79: (a) Molde em madeira com os últimos ajustes incorporados, que resultou em moldagem satisfatória (b).	94
Figura 80: Bloco TEVA com 80% de EVA e 20% Areia, e traço de 1:3 (cimento: agregados).	95
Figura 81: (a) Alta capacidade de drenagem dos blocos TEVA comparado ao bloco (b) Bloco de Concreto. Fonte: Acervo Pessoal.....	96
Figura 82: Moldagens da placa TEVA na geometria desenvolvida por Santos (2013), com traço de 1:5 (cimento: agregados) com 90% EVA e 10% Areia.	98
Figura 83: Bloco TEVA (Traço 1:5 (cimento: agregado), com 90% EVA e 10% Areia, produzido com molde metálico.	98
Figura 84: Diferença aparente da água retida nos blocos de Concreto (a) e TEVA (b) no telhado verde simulado.	101
Figura 85: O Desenvolvimento dos vegetais sob diferentes condições de drenagem da água através dos blocos. (a) blocos TEVA; (b) blocos de concreto.	102
Figura 86: Aferição das massas dos blocos de Concreto (a) e TEVA (b) vegetados.	103
Figura 87: Proposta de arranjo para os três tipos de telhados verdes com uso dos blocos TEVA e placas TEVA. Fonte: Acervo Pessoal	105
Figura 88: Simulação no LABEME do sistema modular de telhado verde com uso de blocos TEVA.....	105
Figura 89: Simulação no LABEME do sistema contínuo com placas TEVA e borda com blocos TEVA.	106

Figura 90: Simulação no LABEME do sistema aéreo com blocos TEVA na borda, onde a tela é fixada.	108
Figura 91: Representação dos primeiros blocos TEVA dispostos na Laje do LABEME, para configurar o telhado verde modular.	109
Figura 92: Permeabilidade dos blocos TEVA ao sistema radicular dos vegetais transplantados nos mesmos.	110
Figura 93: Biodiversidade atraída pelo telhado verde com blocos TEVA instalados no LABEME (1ª fase de acompanhamento).	111
Figura 94: Acompanhamento do telhado verde do LABEME completo com 12 m ² (2ª fase de acompanhamento).	113
Figura 95: Acompanhamento do telhado verde com blocos TEVA no LABEME, incluindo o período de verão (2ª fase de acompanhamento).	117
Figura 96: Folha da hortelã da folha grossa com comprimento de aproximadamente 15 cm.	119
Figura 97: Rebaixamento do nível do substrato no bloco TEVA vegetado, após quatro (4) meses.	120
Figura 98: Processo de vegetação dos blocos TEVA e dos blocos de Concreto para instalação nos protótipos no NUPPA.	121
Figura 99: Telhados verdes com blocos TEVA e de concreto, instalados em protótipos no NUPPA.	122
Figura 100: Acompanhamento dos Telhados Verdes com blocos TEVA e com blocos de concreto, instalados nos protótipos no NUPPA.	124
Figura 101: Imagens termais (acima, durante aquecimento, e abaixo, durante resfriamento) dos blocos de concreto (lado esquerdo) e blocos TEVA (lado direito).	174

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Benefícios promovidos pelos telhados verdes.....	10
Tabela 02: Totalização da água medida no experimento de Baldessar (2012).	14
Tabela 03: Exemplos internacionais de políticas para a promoção os telhados verdes.....	18
Tabela 04: Categorias de telhados verdes.	20
Tabela 05: Classificação quanto à construção dos telhados verde	25
Tabela 06: Lista das espécies vegetais utilizadas na pesquisa.....	52
Tabela 07: Resumo das moldagens experimentais.....	96
Tabela 08: Resistência à compressão dos blocos TEVA e dos blocos de concreto.	100
Tabela 09: Massas (em quilograma) dos blocos de concreto e TEVA vegetados, nas condições com substrato saturado e seco.	103
Tabela 10: Comparativo entre as massas dos sistemas modulares de telhados verdes com blocos TEVA e de Concreto.....	104
Tabela 11: Espécies vegetais (destacadas em verde) que se desenvolveram bem na segunda fase de acompanhamento.	118
Tabela 12: Elementos climáticos na semana 01 de análise (22 de Dezembro a 27 de Dezembro), com destaque para o dia típico de verão selecionado.	126
Tabela 13: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com Laje exposta, no dia típico de verão selecionado (24-12-14). Em destaque as máximas e mínimas temperaturas registradas.	127
Tabela 14: Amplitudes térmicas das superfícies externas e internas do teto, parede e piso no protótipo Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado.	129
Tabela 15: Elementos climáticos na semana 09 de análise (16 de Fevereiro a 21 de Fevereiro), com destaque para o dia típico de verão selecionado.	131
Tabela 16: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (17-02-14). Em destaque as máximas e mínimas temperaturas registradas.	132
Tabela 17: Amplitude térmica das superfícies externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.	134

Tabela 18: Elementos climáticos na semana 08 de análise (09 de Fevereiro a 14 de Fevereiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.	136
Tabela 19: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com telha cerâmica sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (14-02-2015). Em destaque as máximas e mínimas temperaturas registradas.	137
Tabela 20: Amplitude térmica das superfícies externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com telhas cerâmicas sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.	139
Tabela 21: Elementos climáticos na semana 06 de análise (26 de Janeiro a 31 de Janeiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.....	141
Tabela 22: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (26-01-14). Destaque para as temperaturas máximas e mínimas registradas.....	142
Tabela 23: Amplitude térmica das superfícies externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.....	144
Tabela 24: Elementos climáticos na semana 07 de análise (02 de Janeiro a 07 de Janeiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.....	146
Tabela 25: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (07-02-15). Destaque para as temperaturas máximas e mínimas registradas.....	147
Tabela 26: Amplitude térmica das superfícies externas e internas, do teto, parede e piso, no protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.	148
Tabela 27: Elementos climáticos na semana 04 de análise (12 de Janeiro a 17 de Janeiro de 2015 - TEVA x Laje exposta), com destaque para o dia típico de verão selecionado.	152
Tabela 28: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com laje exposta, no dia típico de verão selecionado (16-01-2015). Destaque para as temperaturas máximas e mínimas registradas. Fonte: Acervo Pessoal	152
Tabela 29: Amplitude térmica das superfícies externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com laje exposta, no dia típico de verão selecionado (16-01-2015).	153

Tabela 30: Elementos climáticos na semana 03 de análise (05 de Janeiro a 11 de Janeiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.....	157
Tabela 31: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telha de fibrocimento sobre laje, no dia típico de verão selecionado (06-01-2015). Destaque para as temperaturas máximas e mínimas registradas.	157
Tabela 32: Amplitude térmica das superfícies externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (16-01-2015).....	159
Tabela 33: Elementos climáticos na semana 02 de análise (29 de Dezembro de 2014 a 04 de Janeiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado. ...	162
Tabela 34: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telha cerâmica sobre laje, no dia típico de verão selecionado (31-12-14). Destaque para as temperaturas máximas e mínimas registradas.	163
Tabela 35: Amplitude térmica das superfícies externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telha cerâmica sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (31-12-14).	164
Tabela 36: Elementos climáticos na semana 05 de análise (19 de Janeiro a 24 de Janeiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.	168
Tabela 37: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (21-01-2015). Destaque para as temperaturas máximas e mínimas registradas.	168
Tabela 38: Amplitude térmica das superfícies externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (21-01-2015).	169
Tabela 39: Quantitativos de água de chuva escoada por diferentes tipos de coberturas.	181

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Quantidade de artigos sobre telhados verdes publicados por ano.	9
Gráfico 02: Quantidade de artigos sobre telhados verdes publicados por país.....	9
Gráfico 03: Média da precipitação pluviométrica ao mês dos últimos 24 anos.	60
Gráfico 04: Curva de calibração dos protótipos, antes de iniciar as medições.....	67
Gráfico 05: Média da temperatura máxima ao mês dos últimos 24 anos.	74
Gráfico 06: Temperatura do ar externo na semana 01 de análise (22 de Dezembro a 27 de Dezembro) destaque para o dia típico de verão selecionado.....	125
Gráfico 07: temperaturas superficiais externas (teto e paredes) no protótipo com Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado.	128
Gráfico 08: Temperaturas superficiais internas e temperatura do ar interno no protótipo Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado.....	129
Gráfico 09: Comportamento térmico no protótipo Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado, a partir de vários registros de temperatura superficiais e do ar, externo e interno.	130
Gráfico 10: Temperatura do ar externo, e do ar interno no protótipo com Laje exposta.....	130
Gráfico 11: Temperatura do ar externo na semana 09 de análise (16 a 21 de fevereiro de 2015)	131
Gráfico 12: Temperaturas superficiais externas (teto e parede) no protótipo com telha de fibrocimento sobre laje, no dia típico de verão selecionado.	133
Gráfico 13: Temperaturas superficiais internas no protótipo com telhas de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.	133
Gráfico 14: Comportamento térmico no protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.....	134
Gráfico 15: Temperatura do ar externo, e do ar interno no protótipo com telhas de fibrocimento sobre a laje.	135
Gráfico 16: Temperatura do ar externo na semana 08 de análise (09 de Fevereiro a 14 de Fevereiro de 2015) destaque para o dia típico de verão selecionado.	136
Gráfico 17: Temperaturas superficiais (teto e parede) e do ar externas no protótipo com telhas cerâmicas sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.	138

Gráfico 18: Temperaturas superficiais (teto e parede) e do ar internas no protótipo com telhas cerâmicas sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.	138
Gráfico 19: Comportamento térmico no protótipo com telhas cerâmicas sobre laje, no dia típico de verão selecionado.	139
Gráfico 20: Temperatura do ar externo e da temperatura do ar interno no protótipo com cobertura de telhas cerâmicas na semana 08 de análise (09 de Fevereiro a 14 de Fevereiro de 2015).	140
Gráfico 21: Temperatura do ar externo na semana 06 de análise (26 de Janeiro a 31 de Janeiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.	141
Gráfico 22: Temperaturas do ar e superficiais externas (parede e teto) no protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.	143
Gráfico 23: Temperaturas superficiais e do ar internas no protótipo com telhado verde com blocos de concreto, no dia típico de verão selecionado.	143
Gráfico 24: Comportamento térmico no protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado, considerando todos os registros de temperatura.	145
Gráfico 25: Temperatura do ar externo, e do ar interno no protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje.	145
Gráfico 26: Temperatura do ar externo na semana 07 de análise (02 de Janeiro a 07 de Fevereiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.	146
Gráfico 27: Temperaturas superficiais e do ar externas para o protótipo com telhado verde com bloco TEVA sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.	148
Gráfico 28: Temperaturas superficiais e do ar internas no protótipo telhado verde com blocos TEVA, no dia típico de verão selecionado.	149
Gráfico 29: Comportamento térmico no protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, no dia típico de verão selecionado, com todos os registros de temperatura.	149
Gráfico 30: Temperatura do ar externo, e do ar interno no protótipo com telhado verde com blocos TEVA.	150
Gráfico 31: Temperatura do ar externo na semana 04 de análise (12 de Janeiro a 17 de Janeiro de 2015 – TEVA x Laje exposta), com destaque para o dia típico de verão selecionado.	151

Gráfico 32: Temperaturas superficiais externas dos tetos do protótipo com telhado verde com blocos TEVA, e do protótipo com Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado.	154
Gráfico 33: Temperaturas superficiais (teto) e do ar internas comparativamente entre protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e protótipo com Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado.	154
Gráfico 34: Comportamento térmico comparativo entre o protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e o protótipo com Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado.	155
Gráfico 35: Temperaturas do ar externo, e do ar interno nos protótipos com Laje exposta e com telhado verde com blocos TEVA.	156
Gráfico 36: Temperatura do ar externo na semana 03 de análise (05 de Janeiro a 11 de Janeiro de 2015 - TEVA x telha fibrocimento), com destaque para o dia típico de verão selecionado.	157
Gráfico 37: Temperaturas superficiais externas dos tetos do protótipo com telhado verde com blocos TEVA, e do protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.	159
Gráfico 38: Temperaturas superficiais internas dos tetos do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telha de fibrocimento sobre laje, no dia típico de verão selecionado.....	160
Gráfico 39: Comportamento térmico comparativo entre protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.	160
Gráfico 40: Temperatura do ar externo, e do ar interno nos protótipos, com Telhado verde com blocos TEVA e com telhas de fibrocimento sobre laje.	161
Gráfico 41: Temperatura do ar externo na semana 02 de análise (29 de Dezembro de 2014 a 04 de Janeiro de 2015 - TEVA x telha cerâmica), com destaque para o dia típico de verão selecionado.	162
Gráfico 42: Temperaturas superficiais externas dos tetos do protótipo com telhado verde com blocos TEVA, e do protótipo com telha cerâmica sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.	164
Gráfico 43: Temperaturas superficiais internas comparativas entre tetos dos protótipos com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e com telhado cerâmico sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.....	165

Gráfico 44: Comportamento térmico comparativo entre protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e protótipo com telha cerâmica sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.	165
Gráfico 45: Temperatura do ar externo, e do ar interno nos protótipos com Telhado verde com blocos TEVA, e com telhas cerâmicas sobre laje.	166
Gráfico 46: Temperatura do ar externo na semana 05 de análise (19 de Janeiro a 24 de Janeiro de 2015 - TEVA x Concreto), com destaque para o dia típico de verão selecionado.	167
Gráfico 47: Temperaturas superficiais externas dos tetos do protótipo com telhado verde com blocos TEVA, e do protótipo com telhado verde com blocos de concreto, no dia típico de verão selecionado.	170
Gráfico 48: Temperaturas superficiais internas comparativas dos tetos do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.	171
Gráfico 49: Comportamento térmico comparativo, com todos os registros de temperatura, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.	172
Gráfico 50: Temperatura do ar externo, e do ar interno nos protótipos com Telhados verdes com blocos TEVA, e com os blocos de concreto.	173
Gráfico 51: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 01 (22 de Dezembro a 27 de Dezembro de 2014).	176
Gráfico 52: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 02 (29 de Dezembro de 2014 a 03 de Janeiro de 2015).	176
Gráfico 53: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 03 (05 de Janeiro a 10 de Janeiro de 2015).	177
Gráfico 54: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 04 (12 de Janeiro a 17 de Janeiro de 2015).	177
Gráfico 55: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 05 (19 de Janeiro a 24 de Janeiro de 2015).	178
Gráfico 56: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 06 (26 de Janeiro a 31 de Janeiro de 2015).	178

Gráfico 57: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 07 (02 de Fevereiro a 07 de Fevereiro de 2015).179

Gráfico 58: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 08 (09 de Fevereiro a 14 de Fevereiro de 2015).179

Gráfico 59: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 09 (16 de Fevereiro a 21 de Fevereiro de 2015).180

Gráfico 60: Registros da água escoada por diferentes tipos de coberturas dos protótipos, em função de diferentes quantidades de precipitações pluviométricas. 182

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBIOTEC	Centro de Biotecnologia
CT	Centro de Tecnologia
EVA	Etileno acetato de vinila
Ext.	Externo (a)
Int.	Interno (a)
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
LABEME	Laboratório de Ensaaios de Materiais e Estruturas
LajExp	Laje Exposta
NUPPA	Núcleo de Pesquisa e Processamento de Alimentos
P.Ext.	Parede Externa
P.Int.	Parede Interna
Superf.	Superfície
T.	Telhado
T. Cera	Telhado Cerâmico
T. Ext.	Teto externo
T. Fibroc	Telhado de Fibrocimento
T.Int.	Teto interno
Temp.	Temperatura
TEVA	Telhado verde de EVA
TVconcr	Telhado verde de concreto
UFPB	Universidade Federal da Paraíba

Sumário

RESUMO	I
ABSTRACT.....	II
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE GRÁFICOS	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XVII
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo geral	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
3.1. Em busca de cidades mais “verdes”	6
3.1.1. Efeitos da vegetação na Cidade.....	6
3.1.2. Os Telhados verdes.....	8
3.1.3. Telhados verdes com materiais reciclados ou reaproveitados	26
3.1.4. Potencial de aproveitamento do resíduo de EVA em pré-moldados cimentícios	28
4. METODOLOGIA	31
4.1. Parte Teórica.....	31
4.2. Parte experimental: Telhado verde extensivo modular com blocos TEVA.....	31
4.2.1. Telhado verde extensivo modular – proposta com pré-moldados alternativos/ bloco TEVA	31
4.2.2. Projetos do módulo/pré-moldado e dos moldes (madeira e metálico).....	32
4.2.3. Processo de produção dos blocos TEVA	40
4.2.4. Caracterização dos blocos: ensaio de resistência à compressão e absorção de água	49
4.2.5. Processo de vegetação dos blocos.....	50
4.2.6. Simulações dos sistemas de Telhado verde propostos	57
4.2.7. Instalações dos Telhado Verdes modulares com bloco TEVA.....	58
4.2.8. Planejamento das medições térmicas nos protótipos com diferentes tipos de coberturas	73
4.2.9. Planejamento das medições da água pluvial drenada pelos diferentes tipos de coberturas	84
4.2.10. Sistematização e procedimento para análise de dados	87

5.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	90
5.1.	Caracterização do bloco TEVA.....	90
5.1.1.	Caracterização dos agregados (areia e EVA).....	90
5.1.2.	Moldagens experimentais	91
5.1.3.	Resistência à compressão e Absorção dos blocos (TEVA e Concreto)	99
5.1.4.	Estimativa da carga (kg/m ²) do Telhado Verde com bloco TEVA	103
5.2.	Os sistemas de Telados verdes propostos	104
5.2.1.	O sistema modular.....	105
5.2.2.	O sistema contínuo.....	106
5.2.3.	O sistema aéreo.....	107
5.3.	Instalação e acompanhamento do telhado verde modular	108
5.3.1.	Em escala REAL: NO LABEME.....	108
5.3.2.	Em escala de PROTÓTIPO: NO NUPPA	121
5.4.	- Comportamento térmico individual em diferentes tipos de coberturas.....	125
5.4.1.	Protótipo com Laje exposta.....	125
5.4.2.	Protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje	131
5.4.3.	Protótipo com telha cerâmica sobre a laje.....	135
5.4.4.	Protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje	140
5.4.5.	Protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje	146
5.5.	Comportamento térmico comparativo em pares por diferentes coberturas de protótipos	150
5.5.1.	Telhado verde com blocos TEVA x Laje exposta	151
5.5.2.	Telhado verde com blocos TEVA x Telha fibrocimento.....	156
5.5.3.	Telhado verde com blocos TEVA x Telha cerâmico	161
5.5.4.	Telhado verde com blocos TEVA x Telhado Verde com blocos concreto.....	167
5.5.5.	Análise simultânea da temperatura do ar interno em todos os protótipos.....	175
5.6.	Comparativo do escoamento das águas pluviais em diferentes tipos coberturas ..	180
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	183
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	187
8.	APÊNDICES.....	197

1. INTRODUÇÃO

Diante das crescentes problemáticas ambientais urbanas, é necessário o desenvolvimento de técnicas e tecnologias que promovam melhorias desse ecossistema tipicamente humano. Destaca-se neste ponto a importância da construção civil na promoção de tal qualidade, tendo em vista seu impacto direto sobre a sociedade e o meio ambiente, uma vez que é um dos setores econômicos que mais emitem gases poluentes, geram resíduos e consomem energia devido, principalmente, ao uso massivo de recursos não renováveis. Por outro lado, o setor da construção civil possui amplas possibilidades de reaproveitamento de materiais residuais, descartados por outras indústrias, bem como de utilização de novas técnicas construtivas mais eficientes e não poluentes.

Segundo Kilbert (1994, apud LIMA FILHO, 2008), a construção sustentável será alcançada quando o uso de recursos for minimizado e sua reutilização, maximizada; quando forem utilizadas matérias primas renováveis ou recicláveis; quando a natureza for protegida e materiais tóxicos deixem de ser utilizados e, finalmente, apenas se o ambiente construído for erigido de acordo com todas essas condições e com a melhor qualidade possível.

Na Paraíba, a indústria calçadista, dotada de significativa força econômica no Estado, produz anualmente grandes quantidades de resíduos, retalhos que não podem ser totalmente reutilizados pela própria indústria. No caso, entre tais resíduos destacam-se as sobras de placas de Etileno Acetato de Vinila (EVA) utilizadas para a fabricação de solas e palmilhas dos calçados. Com a dificuldade de armazenar todo o volume de EVA residual, algumas das indústrias têm encaminhado atualmente seus resíduos para indústrias cimenteiras, que os utilizam como combustível para alimentar seus fornos na produção do clínquer.

Contudo, pesquisas apontam o potencial do uso desse resíduo na construção civil, destacando as vantagens do reaproveitamento do resíduo de EVA que estão relacionadas à sua baixa massa específica – pode ser utilizado como um agregado leve –, sua alta tenacidade mesmo em temperaturas baixas e elasticidade similar à da borracha. Além disso, o material está associado à facilidade de aquisição, uma vez que se trata de um resíduo encaminhado para descarte.

Sendo assim, o EVA pode substituir os agregados naturais no concreto convencional, e assim, diminuir o peso do compósito. Esta aplicação poderá até

influenciar nas vantagens térmicas do concreto (LIMA FILHO, 2008), que apresentaria isolamento superior aos concretos convencionais, entretanto, há também influência nas propriedades físicas relativas à resistência mecânica do material que seria reduzido, não podendo, portanto, o EVA ser utilizado em concretos leves estruturais (PAULA, 2011).

Paralelamente, na busca pela sustentabilidade das cidades, os telhados verdes tem se mostrado como alternativa eficiente na mitigação de alguns problemas urbanos. Dentre as potenciais vantagens ambientais possibilitadas pelo seu uso está a redução na demanda energética para resfriamento ou aquecimento de ambientes internos; mitigação de ilhas de calor urbanas; absorção e desaceleração do escoamento de águas pluviais; melhorias na qualidade do ar; reposição de terras removidas de seus locais originais; aumento da biodiversidade; criação de novos locais para recreação e agricultura; e isolamento acústico da construção (BIANCHINI; HEWAGE, 2012).

Os telhados verdes vão desde coberturas com gramas, ao desenvolvimento de árvores com instalação de lagos e playgrounds, um verdadeiro parque suspenso.

A implementação de telhados verdes é uma solução para a criação de espaços verdes, visto que temos cada vez mais perdas vegetais nas cidades, que resultam em microclimas urbanos, quentes e poluídos. Se disseminadas em uma cidade, essa prática causará impactos positivos, atuando como amenizadores de problemas decorrentes do desconforto térmico, dos gases poluentes liberados pelos veículos, enchentes, entre outros típicos problemas que ocorrem nos centros urbanos.

A qualidade de vida é um reflexo da qualidade ambiental, por isso entende-se que um ambiente doente adoece as pessoas. A insalubridade gerada é decorrente de inúmeros fatores, desde o ar poluído com gases e/ou partículas tóxicas; água e resíduos não tratados; enchentes recorrentes, entre outros. A preocupação em amenizar os impactos antrópicos no ambiente urbano é de extrema relevância, principalmente pelo fato da tendência da população se concentrar nas grandes cidades, exercendo pressões em nossos recursos naturais e energéticos. Sendo assim, negligenciar com a qualidade ambiental urbana é se responsabilizar por danos causados à maior parte da população de um país.

Estamos evoluídos tecnologicamente, porém precisamos evoluir no que se refere a uma integração com a natureza, construindo cidades sustentáveis, se

quisermos promover a manutenção dos recursos existentes para as próximas gerações.

Portanto, é necessário incentivar o uso de novas técnicas nos processos construtivos que minimizem as consequências de nossas atividades antrópicas. Algumas ideias estão sendo investigadas, e a que se propõe neste trabalho tem por fim contribuir na melhoria da qualidade ambiental urbana, através do desenvolvimento de telhados verdes apoiados em elementos pré-moldados em concreto leve, fabricados com agregados de resíduo de EVA, em substituição ao agregado natural.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a contribuição de telhado verde modular extensivo, executado com pré-moldados de concreto EVA na melhoria da qualidade do ambiente construído.

2.2. Objetivos específicos

1. Desenvolver um módulo de pré-moldado de concreto EVA (projeto e produção), com múltiplo uso de modo a ter adequação para receber vegetação e também possibilitar a execução de pisos para visitação ao telhado verde modular extensivo;
2. Verificar a compatibilidade da vegetação do telhado verde com os módulos propostos, aplicados sobre lajes de concreto em construções com escalas diferentes (real e protótipos);
3. Analisar os potenciais impactos no comportamento térmico de ambientes internos e na retenção da água da chuva do telhado verde executado com os módulos propostos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Em busca de cidades mais “verdes”

Os modelos de cidade atual baseadas no princípio mercadológico, para consumo, têm cada vez mais impactado negativamente no meio ambiente e na qualidade de vida das pessoas. Um modelo de cidade que estabeleça uma relação harmoniosa com a natureza se faz necessário para que os recursos naturais sejam mantidos.

Este capítulo discorre, principalmente, sobre uma medida que pode contribuir na reintegração das cidades ao meio natural, os telhados vegetados.

3.1.1. Efeitos da vegetação na Cidade

A vegetação nas cidades pode ser encontrada seguindo a conceituação de Buccheri-Filho e Nucci (2006) em 1- espaços livres: espaços urbanos ao ar livre podendo ser privado ou público, e desempenhar diversas funções, entre elas para fins de recreação, ecológico-ambiental, entre outros; 2- áreas verdes: é um tipo particular de espaço livre, onde o elemento foco é a vegetação; 3- cobertura vegetal: corresponde às manchas verdes vistas em fotografias aéreas da cidade. Na Figura 01, segue uma representação dos conceitos.



Figura 01: Espacialização da vegetação na cidade.

Fonte: Baseado em Buccheri-Filho e Nucci (2006), diagramação da autora.

Na representação acima, fica perceptível que nem todo espaço livre é uma área verde, mas que toda área verde corresponde a um tipo de espaço livre. E que

toda área verde é contabilizada como cobertura vegetal, mas que nem toda cobertura vegetal corresponde a uma área verde, visto que essas devem servir a população permitindo um uso e condições para recreação. Já a cobertura vegetal pode ser restrita, como reservas biológicas.

A presença de vegetação nas cidades não deve ser vista somente como elemento de ornamentação, pois a vegetação tem funções muito particulares, como, por exemplo, a de proporcionar sombra e segurar ou canalizar os ventos, tornando-se excelente condicionador térmico natural (BARBUGLI, 2004). Pesquisas comprovam que há uma correlação entre o aumento de áreas verdes e a diminuição da temperatura, pelo menos em uma escala local (BOWLER et al., 2010).

As ilhas de calor tipicamente encontradas nas cidades são decorrentes da troca de áreas verdes pela área edificada impermeabilizada, alterando o balanço energético. Corumluoglu e Asri (2015) mostraram em sua pesquisa que as ilhas de calor investigadas estiveram concentradas nas áreas industriais e regiões urbanas. Sendo assim, o planejamento das cidades preservando áreas verdes não se trata de uma questão meramente romântica, mas sobre a qualidade nas cidades em que estamos vivendo.

Além das vantagens térmicas, as plantas podem ser consideradas como sumidouros atmosféricos, Nowak et al. (2006) demonstraram em seus estudos que as árvores urbanas removem grande quantidade da poluição do ar. Deste modo, as áreas verdes são fundamentais para manter a qualidade do ar das cidades. Além disso, as áreas permeáveis são extremamente importantes no controle de enchentes, bem como no abastecimento do lençol freático.

Também há de se destacar que áreas vegetadas correspondem ao habitat de uma infinidade de animais, fungos, protozoários e bactérias, sendo assim, a redução desses espaços, impactam negativamente o equilíbrio do ecossistema.

Segundo Nucci (2001) é com base na vegetação que muitos problemas urbanos serão amenizados ou resolvidos e assim, a cobertura vegetal, tanto em termos qualitativos como quantitativos e sua distribuição espacial, no ambiente urbano, deve ser cuidadosamente considerada na avaliação de qualidade ambiental e planejamento da paisagem urbanizada.

Contudo, a cidade tem cada vez mais cedido seus espaços naturais para a edificação impermeabilizando áreas. Na cidade de New York, por exemplo, o bairro de Mid-Manhattanwest tem 94% de sua área impermeabilizada (ROSENZWEIG et

al., 2006 apud ROWE, 2011). Nesta situação, o problema parece ser o espaço indisponível para o verde. Contudo, sabendo que em uma cidade os telhados correspondem de 40% a 50% da área impermeável (DUNNETT; KINGSBURY, 2004 apud ROWE, 2011), essas áreas 'ociosas' poderiam ser mais bem aproveitadas através do cultivo de vegetação de modo a pelo menos aumentar as áreas verdes e os ganhos decorrentes disso. Apesar de ser uma solução mitigadora, deve-se destacar que um telhado verde nunca substituirá as áreas verdes naturais, uma vez que esses ecossistemas artificiais criados através da engenhosidade humana não são capazes de fechar o ciclo natural. Um bom exemplo é a colocação de Oberndorfer et al. (2007) os quais afirmam que embora os telhados verdes possam reduzir o escoamento, eles não resolvem o problema da redução da recarga de águas subterrâneas em áreas urbanas.

Mesmo assim, esses tipos de coberturas são mais interessantes do ponto de vista ecológico para a cidade como um todo do que as coberturas convencionais. A seguir os telhados verdes serão mais bem apresentados e discutidos.

3.1.2. Os Telhados verdes

O telhado verde corresponde a um tipo de cobertura das edificações, é chamado assim devido o fato de desenvolver vegetais nessas áreas, o que confere, no geral, uma cor verde (Figura 02).



Figura 02: Inauguração do telhado verde no prédio do ITBC, Rua da guia, 142, no bairro do Recife/PE.

Fonte: Acervo Pessoal

Embora, os telhados verdes em primeiro momento pareçam ser uma novidade moderna, não são. O início da história dos telhados verdes remonta ao século V, quando os jardins suspensos da babilônia foram implementados (WILLIAMS et al., 2010), mas só nos últimos 10 anos (2004 a 2014) ganhou expressão no meio científico (Gráfico 01)

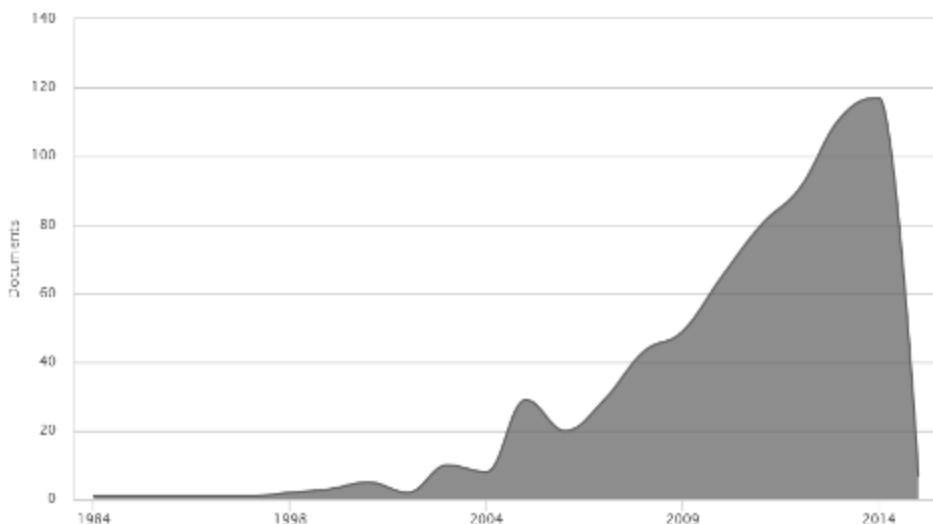


Gráfico 01: Quantidade de artigos sobre telhados verdes publicados por ano.

Fonte: Banco de dados da SCOPUS (acesso em 11 de Janeiro de 2015). Palavra da busca: “Green roofs”.

Apesar das origens remotas, a implementação dos telhados verdes modernos só foi intensificada a partir da década de 70, na Alemanha (DUNNET; KINGSBURY, 2008 apud BERARDI et al., 2014) e desde então essa tecnologia tem recebido atenção crescente em vários países (Gráfico 02).

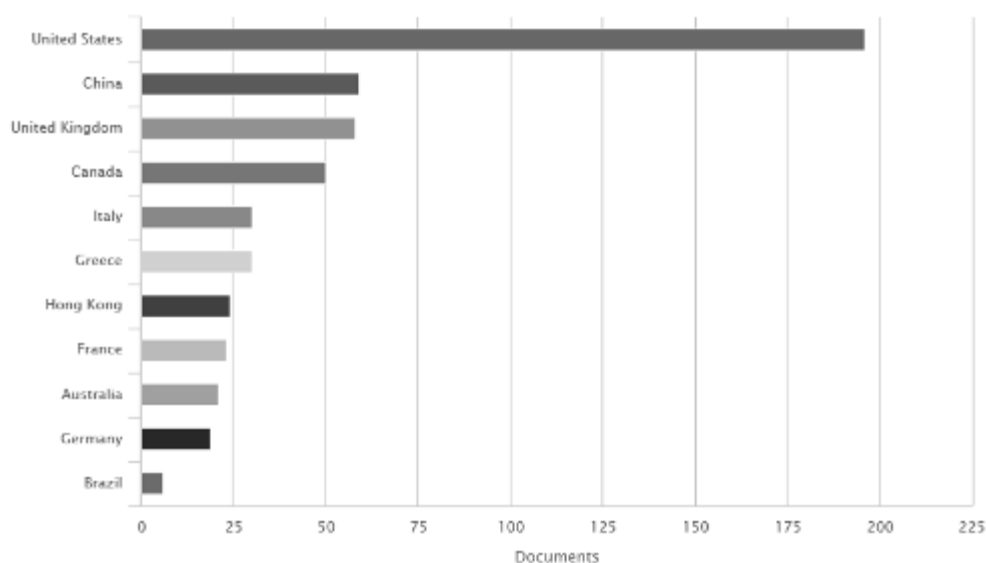


Gráfico 02: Quantidade de artigos sobre telhados verdes publicados por país.

Fonte: Banco de dados da SCOPUS (acesso em 11 de Março de 2015).

Isto porque, atualmente, diante das problemáticas urbanas ambientais, os telhados verdes têm sido apontados como uma das medidas possíveis para amenizar os impactos gerados pela urbanização aplicando os mesmos em casas, prédios residenciais e comerciais, entre outras instalações.

No Brasil, apesar do número de publicações inexpressivas diante de outros países (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), encontram-se registros de monografias e dissertações na temática, no geral, restritas as áreas de arquitetura e engenharias.

Benefícios dos telhados verdes

Sobre as vantagens da aplicação dessas coberturas em ambiente urbano, alguns autores, tais como Berardi et al. (2014), Rowe (2011), Getter e Rowe (2006), Ngan (2004), Peck (1999), Minke (2005), fizeram revisões sobre a temática e elencaram inúmeras tópicos. No quadro abaixo, Tabela 01, tem-se uma aglomeração desses benefícios, vejamos.

Tabela 01: Benefícios promovidos pelos telhados verdes.

Fonte: Berardi et al. (2014), Rowe (2011), Getter e Rowe (2006), Ngan (2004), Peck (1999), Minke, (2005). Organização da autora.

	Tópicos intitulados pelos autores referência
1. Hidrológica	Manejo das águas (BERARDI et al., 2014); Qualidade das águas pluviais escoada (ROWE, 2011); Redução da água da chuva escoada (GETTER; ROWE, 2006); Atraso da água da chuva (GETTER; ROWE, 2006); Manejo da água da chuva (NGAN, 2004); Reciclagem da água (NGAN, 2004); Manejo da água da chuva (PECK, 1999); Filtragem da água e melhoria da qualidade (PECK, 1999); Reuso da água (PECK, 1999); Redução das superfícies pavimentadas (MINKE, 2005); Regulação da umidade (MINKE, 2005); Capacidade de retenção de água (MINKE, 2005).
2. Eficiência energética	Redução no consumo de energia (BERARDI et al., 2014); Conservação de energia (GETTER; ROWE, 2006); Comportamento térmico (NGAN, 2004); Regulação da temperatura (PECK, 1999); Isolamento térmico (PECK, 1999); Regulação da Temperatura (MINKE, 2005); Isolamento Térmico (MINKE, 2005); Proteção térmica para o verão (MINKE, 2005).
3. Impactos no clima e sequestro de carbono	Efeitos nas Ilhas de Calor Urbanas (BERARDI et al., 2014); Ilhas de Calor Urbana (GETTER; ROWE, 2006); Condições Ambientais (GETTER; ROWE, 2006); Efeito Estufa (NGAN, 2004); Efeito na Ilha de Calor (NGAN, 2004); Mudanças Climáticas- Mitigação e Adaptação (PECK, 1999); Criação de microclimas (PECK, 1999); Moderação dos efeitos das Ilhas de Calor (PECK, 1999); Mudanças no dióxido de carbono e oxigênio (PECK, 1999); Produção de oxigênio e consumo de gás carbônico (MINKE, 2005); Dióxido de carbono (ROWE, 2011).
4. Biodiversidade e habitat	Preservação ecológica (BERARDI et al., 2014); Aumento da biodiversidade e fornecimento de habitat (GETTER; ROWE, 2006); Desenvolvimento das plantas (GETTER; ROWE, 2006); Composição e profundidade do substrato (GETTER; ROWE, 2006); Seleção de plantas (GETTER; ROWE, 2006); Instalação e manutenção de plantas (GETTER; ROWE, 2006);

	Biodiversidade urbana (NGAN, 2004); Preservação de habitat e biodiversidade (PECK, 1999); Espaço vital para os insetos (MINKE, 2005).
5. Poluição atmosférica	Mitigação da poluição do ar (BERARDI et al., 2014); Poluição do ar (ROWE, 2011); Mitigação da poluição do ar (GETTER; ROWE, 2006); Melhoria da qualidade do ar (NGAN, 2004); Melhoria da qualidade do ar (PECK, 1999); Limpeza do ar (MINKE, 2005); Redução da poeira em suspensão (MINKE, 2005).
6. Paisagismo	Melhoramento do valor estético (GETTER; ROWE, 2006); Valor estético (NGAN, 2004); Imagem Ambiental (NGAN, 2004); Melhoria estética (PECK); Efeito estético (MINKE, 2005); Integração com a paisagem (MINKE, 2005).
7. Atenuação de ruído	Isolamento do som e redução do ruído (BERARDI et al., 2014); Redução do barulho (ROWE, 2011); Redução de barulho (GETTER; ROWE, 2006); Atenuação do som (NGAN, 2004); Isolamento do som (PECK, 1999); Isolamento acústico (MINKE, 2005).
8. Diminuição de materiais em aterros sanitários	Aumento da vida útil das membranas dos telhados (GETTER; ROWE, 2006); Menos materiais das coberturas, para os aterros sanitários (ROWE, 2011); Proteção da membrana (NGAN, 2004); Proteção da membrana da cobertura e extensão da vida útil (PECK, 1999); Proteção da membrana impermeável, e aumento da vida útil (MINKE, 2005).
9. Benefícios socioeconômicos	Valoração (NGAN, 2004); Valor terapêutico (NGAN, 2004); Benefícios geral a saúde e a terapia horticultural (PECK, 1999); Melhoria da segurança (PECK, 1999); Recreação/espço agradável (PECK, 1999); Edifício comunidade (PECK, 1999); Benefícios econômicos (PECK, 1999); Recreação no trabalho (PECK, 1999); Efeito psicológico (MINKE, 2005); Percepção de aromas (MINKE, 2005).
10. Resistência ao fogo	Resistência ao fogo (NGAN, 2004); Proteção contra incêndio (MINKE, 2005).
11. Isolamento eletromagnético	Isolamento eletromagnético (NGAN, 2004).
12. Certificação LEED	Certificação LEED (GETTER; ROWE, 2006).

Segundo Oberndorfer et al. (2007) os benefícios dos telhados vegetados investigado até o momento cai em três categorias principais: gestão de águas pluviais, conservação de energia e prestação de habitat urbano. Desta forma, esses serão os mais aprofundados e discutidos nessa dissertação.

I. Prestação de habitat urbano

Muitas pesquisas têm apontado os telhados vegetados como uma oportunidade de novos habitat para a biodiversidade biológica das cidades. Por exemplo, Coffman e Waite (2010) apresentam dados da biodiversidade que habita telhados verdes, como insetos, aranhas e aves. Williams et al. (2015) fizeram uma revisão das publicações que investigam a diversidade biológica encontrada nas coberturas vegetadas e concluíram que os telhados verdes podem sim ajudar a conservar a biodiversidade urbana.

A formação desses novos ecossistemas através das coberturas vegetadas acaba sendo algo muito importante para a preservação da biodiversidade local, principalmente pela escassez dos espaços naturais dentro da cidade.

Em teoria, quase qualquer táxon¹ de planta pode ser utilizado para aplicações de telhados verdes, assumindo, seja adaptada à região climática, cultivadas em um substrato de profundidade adequada e dada a irrigação necessária. O stress do vento resultante da altura e forma do edifício pode afetar a seleção de plantas. A visibilidade e acessibilidade são outros critérios de seleção. Embora, *Sedum* continue a ser o gênero mais utilizado para telhados verdes, a margem para vegetação é larga e muitas possibilidades ainda têm de ser realizadas (OBERNDORFER et al., 2007).

Substrato com profundidades entre dois (2) cm e cinco (5) cm está mais sujeito a variações de temperatura, inclusive com dessecação, mas pode manter as comunidades simples de sedum-musgo. Maiores profundidades de substrato, como os de sete (7) cm a 15 cm suportam uma variedade maior de vegetais, mas também são mais hospitaleiras a ervas daninhas indesejáveis (OBERNDORFER et al., 2007).

As plantas selvagens também podem ter um papel importante nos ecossistemas de telhados verdes, pois são geralmente nativas e devem ser base da cadeia alimentar para espécies de fitófagos e polinizadores (TONIETTO et al., 2011). E, além disso, podem colonizar espontaneamente os telhados verdes e são, portanto, mantidas a se espalhar dentro da paisagem urbana, como mostra o estudo experimental de Dunnett et al. (2008), em Sheffield, Reino Unido, onde foram identificadas 35 espécies colonizadoras.

As condições climáticas, especialmente com relação à precipitação pluvial e as temperaturas extremas, podem restringir o uso de determinadas espécies ou ditar a frequência, ou ausência de irrigação nas plantas. Espécies nativas são geralmente consideradas ideais escolhas para paisagens por causa de suas adaptações locais ao clima (OBERNDORFER et al., 2007).

Köhler e Poll (2010) destacam a importância da profundidade dos substratos nas características florais dos telhados verdes e no desenvolvimento de espécies espontâneas nos telhados sem manutenção. Deste modo, vale ainda fazer o

¹ O táxon pode indicar uma unidade em qualquer nível de um sistema de classificação, seja um reino, gênero ou espécie.

destaque de que os telhados verdes são dinâmicos, e com o tempo, a vegetação é susceptível de alterar a partir da composição original (Köhler 2006).

Há pesquisas focadas em preservar a biodiversidade local, através de outro tipo de cobertura biológica, os “brownroofs”, estes são similares aos “green roofs”, com todas as camadas de uma cobertura vegetada, exceto a da vegetação, uma vez que busca deixar o substrato disponível para ser colonizado, ou seja favorece o desenvolvimento espontâneo das espécies vegetais, e de sua respectiva fauna, como se fosse um terreno baldio. Afirma-se que o objetivo dos telhados marrons é o de promover um maior valor ecológico para essa cobertura. Ishimatsu e Ito (2013) apresentam os “brownroofs” (telhados marrons) como capazes de fornecer um habitat mais natural para biodiversidade urbana do que telhados Sedum (telhados verdes extensivos), também chamado assim pela pouca variabilidade de espécies vegetais utilizadas, mais restrita no geral ao gênero Sedum.

II. Gestão de águas pluviais

No geral os trabalhos nessa perspectiva fazem a correlação entre a capacidade do sistema de telhados verdes em reter água, e seu uso em larga escala na cidade, aumentando significativamente as áreas permeáveis, diminuindo a água superficial escoada e os riscos de enchentes. Estudos com relação à qualidade da água também são frequentes.

As coberturas vegetadas diminuem o “*runoff*”, ou seja, diminuem a taxa de escoamento superficial, uma vez que inicialmente o solo e a vegetação irão saturar, para daí começar a liberar o excedente para a rede coletora urbana. Isto é importante, porque diminui a vazão nos momentos de alta precipitação, amenizando e, dependendo da quantidade de sistemas de tetos verde, até excluindo esse problema que traz prejuízos econômicos e redução na qualidade de vida da população. Mentens et al. (2006) afirmam que a relação anual precipitação-escoamento para telhados verdes é fortemente determinado pela profundidade da camada de substrato, bem como, que a retenção da água da chuva em telhados verdes é menor no inverno do que no verão. Isto porque, no verão, devido às chuvas intercaladas com dias ensolarados, o solo tem tempo de secar, através da evaporação, e com isso, manter alta capacidade de campo. Já no inverno, o solo se mantém mais úmido e dessa forma perde em capacidade de armazenamento da água.

Além da espessura do substrato, outros fatores influenciam no coeficiente de escoamento superficial, devido à inclinação, espessura do substrato e o tipo de vegetação do telhado (OHNUMA, 2008).

VanWoert et al. (2005) fizeram um comparativo entre três tipos de coberturas, e constatou uma alta retenção do precipitado na cobertura verde quando comparada com as demais, com até 82,8% de retenção para o telhado verde vegetado.

Nos estudos de DeNardo et al. (2005) os telhados verdes retêm uma média de 45% (intervalo de 19% a 98%) da chuva das sete tempestades avaliadas e atrasou o pico de escoamento por 2 h

Já Tassi et al. (2014) em estudo comparativo ao telhado convencional, constatou que foi possível reduzir, em média, 62% dos volumes escoados superficialmente com a utilização do telhado verde, além de promover o retardo no início do escoamento superficial.

Baldessar (2012) comparou três tipos de coberturas, entre elas o telhado verde e em seus resultados também encontrou que o telhado verde possui uma alta capacidade de reter a água pluvial, quando comparada com os demais tipos de coberturas analisadas (Tabela 02).

Tabela 02: Totalização da água medida no experimento de Baldessar (2012).
Fonte: Baldessar (2012)

TOTALIZAÇÃO DE ÁGUA ESCOADA - EXPERIMENTO					
período	Água escoada mm laje impermeável medido	Água escoada mm telhado de barro medido	Água escoada mm telhado verde medido	Água escoada mm telhado verde simulação software	TOTAIS
nov 2011	8,2	3,7	0,3	5,2	total mensal (em mm)
dez 2011	109,8	85,1	29,1	36,2	total mensal (em mm)
jan 2012	78,7	61,2	21,3	12,1	total mensal (em mm)
fev 2012	128,3	101,2	49,0	55,0	total mensal (em mm)
	325,0	251,2	99,6	108,5	total geral (em mm)
	100,0	77,3	30,7	33,4	total geral (em %)

Jobim (2013) fez um estudo comparativo (do metro quadrado) entre alguns sistemas de telhados verdes extensivos aplicados no Brasil, entre eles analisou a retenção pluvial em um módulo pré-fabricado desenvolvido pela empresa brasileira a Ecotelhado. Segundo o autor, essas unidades modulares possuem uma estrutura na

forma de caixa, com um composto de ETIL-VINIL-ACETATO (EVA) reciclado moído e aglomerado com cimento Portland CP-V com adição de cinzas. O módulo tem dimensões de 70 cm x 35 cm x 9 cm (comprimento x largura x altura), com oito células, dentro das quais é colocado o substrato de terra e é inserida a vegetação (Figura 03).



Figura 03: (a) Sistema modular galocha vegetado desenvolvido pela Ecotelhado; (b) Telhado verde com o sistema modular.

Fonte: Jobim (2013)

De acordo Jobim (2013), o sistema de telhado verde mais eficiente foi o sistema modular com galocha (Figura 03), com substrato com argila expandida, que reduziu, em média, 88,1% do escoamento pluvial. Para o mesmo sistema sem a argila expandida, a redução média foi de 82,8%. O sistema apresentou uma maior capacidade de armazenamento de água da chuva, e menor perda de eficiência à medida que os volumes de chuva aumentaram. Ainda segundo o mesmo autor, a alta capacidade de armazenamento do sistema também se deve a composição do módulo, uma vez que o EVA, um material poroso, é capaz de aumentar a retenção de água.

III. Conservação de energia

As pesquisas tem revelado certa inércia térmica por parte dos telhados verdes se comparado aos telhados convencionais, o equilíbrio térmico provocado pelo isolamento térmico dessas coberturas, bem como o atraso térmico, tem levado os pesquisadores a discutir sobre esse tipo de cobertura na economia de energia. Pesquisas mais recentes tem discutido sobre o “fotovoltaico-green roofs”, que são telhados verdes associados a painéis solares, sugerindo a autoeficiência energética das edificações. Uma vez que a cobertura vegetal faz uma economia de energia, e

as placas fotovoltaicas geram a energia necessária para o consumo da edificação, ou pelo menos parte dela.

Segundo Castleton et al. (2010) e Jaffal et al. (2012), os telhados verdes são altamente eficientes na redução da variação de temperatura interior, diminuindo o nível de consumo de energia no edifício, tanto em climas quentes e frios. Com este tipo de cobertura, a temperatura do ar interior de verão diminuiu em 2° C, e a demanda anual de energia foi reduzido em 6% (JAFFAL et al., 2012), segundo dados de uma aferição de um hotel em Atenas.

Segundo Del Barrio (1998) e Theodosiou (2003), durante a estação quente, os telhados verdes reduzem a quantidade de calor transferido através do telhado, diminuindo assim as demandas energéticas do edifício para arrefecimento do sistema. Nos estudos de Wong et al. (2003) foi confirmado o efeito do arrefecimento nas temperaturas do ar interno dos ambientes sob coberturas vegetadas, reduzindo, em até 4,2 ° C em comparação a ambientes sem telhado verde. Um estudo em Madrid mostrou que um telhado verde reduziu a carga de refrigeração em um edifício residencial de oito andares em 6% durante o verão (Saiz et al., 2006). Em climas quentes os telhados verdes potencialmente, reduzem a temperatura interna protegendo a camada da cobertura e evitando a influência direta da radiação solar (NIU et al., 2010; OULDBOUKHITINE et al., 2011).

Um experimento realizado em São Carlos/SP por Vecchia (2005), no período de transição primavera-verão, comparando o comportamento térmico de um telhado verde (CVL) com sistemas tradicionais de cobertura existentes (telha cerâmica, aço galvanizado, laje de concreto e fibrocimento ondulado), comprovou ser eficiente o telhado verde perante os demais (Figura 04).

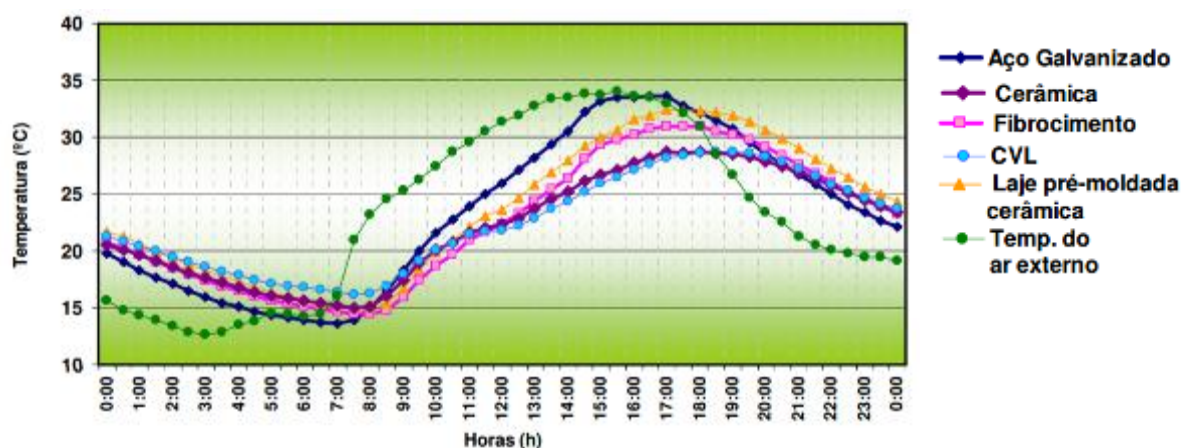


Figura 04: Temperatura do ar interno e externo às células de teste com diferentes sistemas de cobertura.

Fonte: Vecchia (2005)

Os resultados de Vecchia (2005) demonstraram ainda que o telhado verde foi o que apresentou menor amplitude térmica (9,2°C), três vezes menor que os demais sistemas, para temperaturas do ar acima de 20°.

Andrade e Roriz (2009) fizeram um estudo comparativo (no mesmo microclima dos estudos de Vecchia, 2005) entre uma cobertura vegetada e uma laje exposta e concluíram que quanto às temperaturas superficiais internas percebe-se que o melhor desempenho foi da cobertura verde, principalmente na situação de calor, no qual há uma diferença de até 16°C entre as duas coberturas, fato provocado pelo sombreamento, inércia e refrigeração evaporativa, proporcionados pela cobertura verde.

Morais (2004) também (em São Carlos/SP) fez um estudo comparativo entre lajes de coberturas com e sem vegetação, e relatou que o comportamento térmico das curvas de temperaturas do ar interno e externo a edificação do protótipo revelou expressivas diferenças entre as mesmas. A maior diferença entre as máximas temperaturas do ar interno nos dois ambientes foi de 5,1 °C. Para a autora, os valores obtidos mediante as comparações indicaram um desempenho mais satisfatório da cobertura verde, a qual se manteve mais estável e resistente às flutuações térmicas diárias, tanto no inverno quanto no verão. Indicando que a cobertura ajardinada dispõe de importante potencial de aplicação no clima considerado para melhorar a eficiência energética do ambiente construído.

Há de se fazer uma consideração aqui que os materiais que compõem o telhado verde influenciam em seu comportamento térmico, devido às diferentes resistências térmicas, Susca et al. (2011) fizeram um comparativo de três tipos de coberturas, branca, preta e telhado verde, e nesse estudo calcularam a resistência térmica para cada tipo de cobertura analisada. De modo que é compreensível que a escolha de outros sistemas de telhados verdes altere o valor da resistência do mesmo, e sua respectiva transmitância. De fato, apenas mudança na profundidade do substrato já seria suficiente e relevante para tais efeitos.

Incentivo aos telhados verdes: OS ADEPTOS

Diante dos constatados benefícios ambientais urbanos (YANG, 2008; ROWE, 2011; JAFFAL et al., 2012; NAGASEA E DUNNET, 2012 e MORGAN et al., 2013), muito países já possuem leis que incentivam a cobertura ecológica. Em

Copenhague, na Dinamarca, um projeto planeja tornar a cidade, até 2025, a primeira do mundo livre da emissão de carbono em níveis de degradação para o meio ambiente, e uma de suas medidas mitigadoras é com relação aos tetos verdes (LLC, G. 2013).

Em 2009, a cidade de Toronto, no Canadá, adotou uma norma regendo a construção de telhados verdes em novas edificações residenciais, comerciais e institucionais (TORONTO, C. of. 2014).

Na cidade de Chicago, nos Estados Unidos, desde 2001 a iniciativa realizada no telhado da prefeitura deu abertura para posteriores aplicações em outras edificações (CHICAGO, C. of. 2014). As cidades de Filadélfia e Atlanta já possuem programas de incentivo em andamento (CRUGER, R. 2009). Outras cidades norte americanas como Nova Iorque, Los Angeles, São Francisco, Portland e Washington, têm buscado programas relacionados (LLC, G. 2013). Na Tabela 03, baseada na revisão de Berardi et al. (2014), há exemplos de políticas de incentivo e de obrigatoriedade para a promoção dos telhados verdes, no âmbito internacional.

Tabela 03: Exemplos internacionais de políticas para a promoção os telhados verdes.
Fonte: Berardi et al. (2014). Tradução da autora.

Exemplos de políticas para o incentivo dos telhados verdes	
Alemanha	Munique: Obrigatório paisagismo para todos os telhados planos, com uma área de superfície > 100m ² . Esslingen: 50% do custo de telhados verdes serão ressarcidos. Darmstadt: proprietários recebem até € 5000 para o plantio de um telhado verde.
Dinamarca	Copenhague: todos os novos telhados com uma inclinação menor do que 30 ° devem conter paisagismo, desde que não haja impedimento por parte da engenharia estrutural.
Canadá	Toronto: são requeridos telhados verdes para todas as novas edificações acima de 200 m ² . A cobertura deve variar dentre 20% a 60% do espaço disponível do telhado. Vancouver, BC: todos os novos edifícios comerciais e industriais acima de 5000 m ² deve ter um telhado verde e construtor será isento das taxas de licenças de permissão.
Estados Unidos	Austin, TX: Bônus de Densidade de Telhado Verde, dá um bônus de densidade de até 0.74 m ² (8 sq/ft) para cada 0.93 m ² (1 sq/ft) de telhado verde instalado. Chicago, IL: A cidade de Chicago oferece até 50% do custo ou até US \$ 100.000 para o desenvolvimento de telhados verdes que cubram 50% ou mais do espaço na cobertura. Baltimore, MA: A Gestão de Taxa de Crédito para Águas Pluviais é de 10% do custo para as novas técnicas de manejo de águas pluviais (quantidade máxima de US \$ 10.000). Milwaukee, WI: A Iniciativa do Distrito Esgotos Metropolitano de Milwaukee oferece US \$ 5 por m ² como incentivo para aumentar a cobertura de telhado verde. Minneapolis, MN: Qualquer edifício que melhora a gestão de águas pluviais através de telhados verdes recebe um crédito de 50% nas taxas de águas pluviais.

Nashville, TN: está promovendo a instalação de telhados verdes, para fornecer uma redução de US \$ 10 nas taxas de esgoto por pé quadrado de telhado verde.

New York City, NY: dá um crédito fiscal de um ano de até US \$ 100.000 (ou US \$ 4,5 por ft²) para telhados verdes que abrangem, pelo menos, 50% do espaço disponível do telhado.

Philadelphia, PA: oferece um crédito contra o Imposto de Privilégio sobre Negócios, de 25% de todos os custos incorridos para a construção de um telhado verde de até US \$ 100.000.

Portland, OR: através do Bônus FAR, a cidade oferece um bônus em relação à área (Floor Area Ratio) bruta em seu código de construção (um extra de 3 ft² para cada metro de telhado verde podem ser construídos sem licenças adicionais). Uma concessão de reembolso de até US \$ 5 por ft² para reduzir infraestrutura de águas pluviais, com um telhado verde é possível.

Seattle, WA: a cidade oferece um bônus de taxa de área bruta (FAR) extra de 3 ft² para cada metro de telhado verde.

Washington, DC: O programa de descontos de telhado verde do Distrito financia US \$ 5 por ft² de telhado verde.

No Brasil, alguns estados e cidades já dispõem sobre projetos de lei e até mesmo leis com relação aos telhados verdes. Na cidade de São Paulo, no ano de 2009, foi aprovado um projeto de lei, de nº **115/09**, referente a instalações de telhados verdes na capital (ESTADÃO, 2012). Já no município de Goiânia/GO, em 2012 foi instituído o Programa Telhado Verde (OPÇÃO, 2012); no estado do Espírito Santo foi apresentado à Assembleia Legislativa o Projeto de Lei nº 260/2012, que defende a criação de telhados verdes em espaços urbanos (JUSCLIP¹, 2014).

No Rio de Janeiro/RJ está em vigor a lei nº 6.349, de 30 de novembro de 2012, dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação do "telhado verde" nos locais que especifica e dá outras providências (JUSCLIP², 2013).

No estado do Rio Grande do Sul já há shopping, hospitais, e muitos outros estabelecimentos comerciais e residenciais com este tipo de cobertura (informação verbal)². O estado de Santa Catarina já dispõe de lei que define a criação do Programa Estadual de incentivo à adoção de Telhados Verdes (ECOTELHADO, 2007). Em Curitiba/PR a proposta de lei que dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação do telhado verde em edificações foi aprovada pela Comissão de Legislação, Justiça e Redação no dia 27/03/2013 (DIRETO DA FONTE, 2013).

Recife/PE teve seu projeto de Lei do Executivo 67/2013 que prevê telhados verdes nos novos prédios aprovado no ano de 2014 (FREIRE, 2014).

O estado da Paraíba dispõe da lei 10.047 que trata sobre a obrigatoriedade dos telhados verdes. Esta obrigatoriedade é restrita a apenas condomínios

² DIEHL, E. J. **Telhados vivos**, Mini curso, Toni Backes, Hotel Hardman, João Pessoa, 2012.

edificados, residenciais ou não, com mais de 3 (três) unidades agrupadas verticalmente (JUSBRASIL, 2013). Na capital paraibana, João Pessoa, foi divulgado, em meados de 2013, um projeto de Lei que beneficiaria, com redução de IPTU, proprietários que tivessem instalações com tetos verdes (PBagora, 2013).

Enquanto a legislação internacional tem promovido políticas públicas de incentivo ao telhado verde, no Brasil a legislação é mais de obrigatoriedade. E este caminho não parece se o mais adequado, uma vez que parece não atrair a colaboração da população, tornando-se uma lei morta, em desuso.

Classificação dos telhados verdes

Berardi et al. (2014) organizaram uma tabela, baseando-se na literatura que diferencia um telhado verde em duas categorias, o extensivo e o telhado verde intensivo, conforme se apresenta na Tabela 04.

Tabela 04: Categorias de telhados verdes.

Fonte: Berardi et al. (2014). Tradução da autora.

Principais atributos	Extensivo	Intensivo
Espessura do meio de crescimento	Abaixo de 20 mm	Acima 200 mm
Acessibilidade	Inacessíveis (raízes frágeis)	Acessível (usado para fins de recreação)
Peso	60–150 kg/m ²	Acima de 300 kg/m ² (pode necessitar de uma estrutura reforçada)
Diversidade de plantas	Pequena (musgo, erva e grama)	Alta (gramado ou perene, arbusto e árvores)
Construção	Moderadamente fácil	Tecnicamente complexo
Irrigação	Não é frequente	Necessita de sistema de drenagem e irrigação
Manutenção	Simples	Complexa
Custo	Baixo	Alto

Já a Associação Internacional de Telhados Verdes (IGRA) classifica a tecnologia para executar telhados verdes em três tipos: extensivos, semi-intensivo e intensivo. Ela não difere muito da proposta de Berardi et al. (2014), a principal diferença entre as duas classificações é que o IGRA possui uma categoria de telhado verde intermediário, entre o extensivo e o intensivo, o chamado semi-intenso. A seguir segue um detalhamento de cada categoria.

Os extensivos (Figura 05) correspondem aos que abrigam vegetações de porte herbáceo e, sendo assim, correspondem ao tipo mais simples de telhados

verdes, com baixa manutenção e baixo carregamento sobre a laje (até 150 kg/m^2), dispensando reforço estrutural na edificação.



Figura 05: Telhados verdes extensivos em casas na Austrália.
Fonte: Wilson (2007 apud Rosseti, 2009).

Os semi-intensivos (Figura 06) são os intermediários, suportando vegetações arbustivas, comumente fazendo-se combinações entre as herbáceas e os arbustos, em um sistema que não ultrapassa a carga de 200 kg/m^2 , precisando de irrigação e de manutenção periódica (IGRA, 2014).



Figura 06: Telhado verde semi-intensivo na Varsóvia/Polônia.
Fonte: IGRA (2014)

Já os intensivos (Figura 07) correspondem aos mais complexos, gerando uma carga acima de 300 kg/m^2 , com exigência de maior manutenção, por se tratar de

vegetações de porte arbóreo e ser usada como parque jardim. Desta forma, este último tipo de telhado verde influenciará no projeto estrutural da edificação, devido ao nível de carregamento do sistema (IGRA, 2014).



Figura 07: Telhado verde intensivo na Polônia.
Fonte: LLC (2014)

Além dessa classificação, as coberturas ecológicas também podem ser diferenciadas quanto à forma de aplicação das mesmas de forma contínua, modular ou aérea, conforme categorizado por Ferreira (2007). No primeiro, os componentes do sistema tais como elementos para a drenagem, retenção de substrato, substrato e vegetação, estão dispostos em camadas de forma contínua (Figura 08).

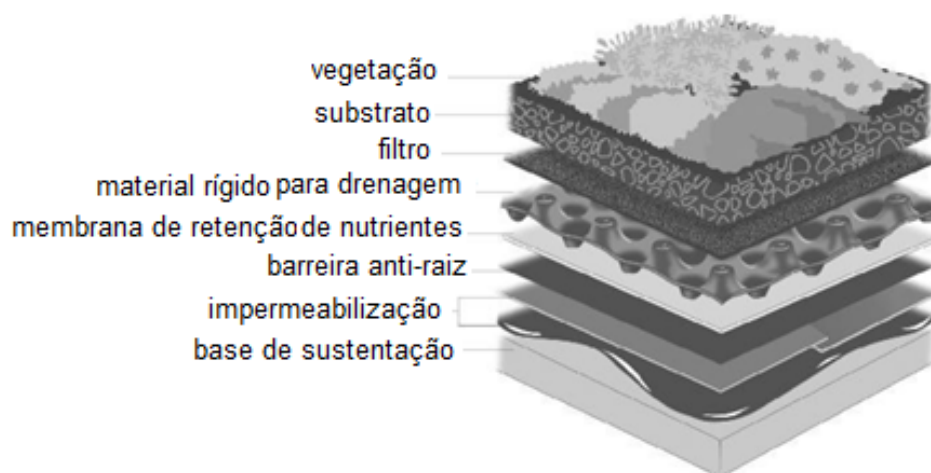


Figura 08: Representação do sistema contínuo.
Fonte: Prowell (2006). Tradução da autora.

Na Figura 09, vista sobre telhado verde contínuo em uma casa em condomínio de luxo (Bosque das Orquídeas) em João Pessoa, Paraíba.



Figura 09: Telhado verde contínuo em uma casa em condomínio de luxo em João Pessoa, Paraíba.
Fonte: Acervo Pessoal.

No sistema modular os módulos correspondem a unidades independentes que desempenham as funções de retenção do substrato e de recepção da vegetação, além da função drenante, alguns possuindo até membrana anti-raiz (Figura 10).



Figura 10: Unidade modular.
Fonte: Jardim (2014)

Essas unidades são dispostas na cobertura a preenchendo (Figura 11), dando até um efeito contínuo, mas, diferente deste, consiste em um sistema prático de instalação, manutenção, além da versatilidade, uma vez que o jardim pode ser redesenhado facilmente com mudanças de posição dos módulos vegetados.



Figura 11: Telhado verde modular.
Fonte: Arco (2009)

É importante salientar que abaixo das camadas ou dos módulos vegetados, dependendo do tipo de cobertura, como por exemplo, no caso de uma laje, não é dispensada a impermeabilização da mesma e da aplicação da barreira anti-raiz, caso o módulo não tenha essas membranas incorporadas.

Por fim, as coberturas do tipo aéreas (Figura 12) são criadas a partir de plantas trepadeiras. O substrato com o sistema radicular do vegetal fica em um ponto da edificação que permite a planta se ramificar para a cobertura. Esse sistema não confere alguns benefícios como os promovidos pelos sistemas modular e contínuo. Por exemplo, em relação à capacidade de retenção da água pluvial que acaba sendo menor que os sistemas anteriormente discutidos.



Figura 12: Configuração do tipo aéreo.
Fonte: Clickobra (2014)

Os sistemas modulares, ao contrário dos aéreos, provocam um retardo no escoamento das águas das chuvas, assim como ocorre no sistema contínuo (PROWELL, 2006). Nessas situações, parte da água da chuva é absorvida pela vegetação, parte volta à atmosfera pela evapotranspiração, e outra parte fica retida no próprio solo dentro do módulo vegetado, o que contribui para reduzir o volume de água para o sistema de drenagem pública. A acumulação da água de chuva retida por certa quantidade de telhados verdes na área urbana poderá evitar as enchentes, que é um sério problema enfrentado pelas grandes cidades em épocas de precipitações intensas em curtos períodos. O fato é que, independente do sistema, todos propiciam algum tipo de benefício à edificação, alguns mais e outros menos, entendendo que quanto maior for a área vegetada e o porte das plantas, maiores serão as retenções de poluentes, da água pluvial e de ruídos.

Berardi et al. (2014) também classificam, quanto às técnicas de construção, em três os telhados verdes, sendo eles: o sistema completo, o sistema modular e os cobertores pré-cultivada. O sistema completo engloba todo o telhado, enquanto os outros dois são plantados antes de serem integrados acima do último piso, conforme apresentado na Tabela 05.

Tabela 05: Classificação quanto à construção dos telhados verde

Fonte: Berardi et al. (2014), tradução da autora.

Questão	Sistema pré-cultivado	Sistema modular	Sistema completo
Sistema	Pré-plantado	Pré-plantado	Sistema em camada
Peso	Baixo	Médio	Geralmente alto
Instalação	Simples e rápida	Simples e rápida	Complexa
Manutenção	Simples	Simples	Complexa
Custo	Baixo	Médio	Alto

O completo entende-se aqui como sinônimo de sistema contínuo, e o sistema pré-cultivado refere-se aos tapetes de gramas vegetados que podem ser dispostos, após estarem prontos, conforme se vê na Figura 13.



Figura 13: Sistema pré-cultivado, tapete de grama.

Fonte: Bindo (2010)

3.1.3. Telhados verdes com materiais reciclados ou reaproveitados

Apesar dos benefícios inerentes às instalações das coberturas vegetadas, um estudo levantou a discussão de quão verde seriam os telhados verdes (How “green” are the green roofs?), visto que as técnicas mais difundidas fazem uso de materiais poliméricos não reciclados, além disso, o trabalho apresenta estimativas de quanto tempo o telhado verde instalado com esses materiais deverá estar ativo para compensá-lo ambientalmente (BIANCHINI; HEWAGE, 2012). Por isto, deve-se realmente ser crítico na hora de apresentar os benefícios de uma cobertura vegetal, uma vez que nele tenham sido utilizados materiais que minimizem os danos ambientais, pois, neste caso, traríamos mais malefícios ao planeta do que melhorias urbanas.

Sendo assim, poder-se-ia criar ainda mais outra classificação para os telhados verdes sendo com relação a sua composição: em poliméricos não reciclados e materiais reciclados ou reaproveitados (Figura 14).

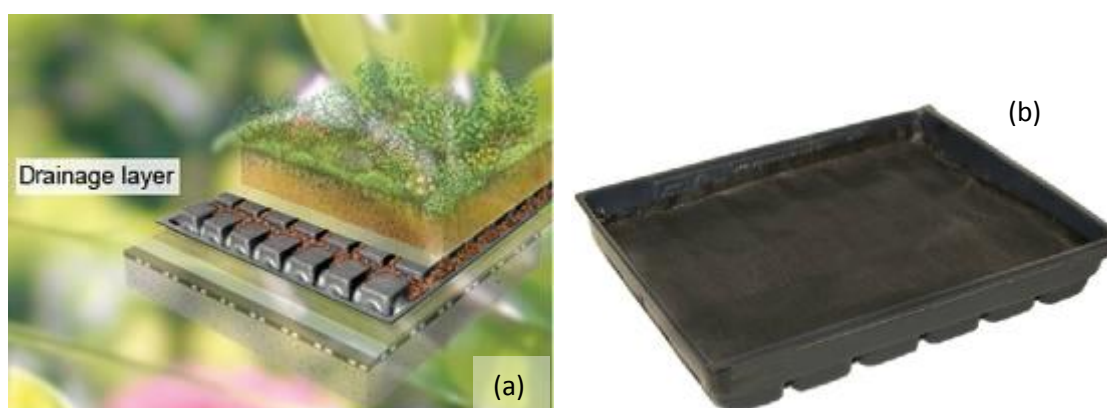


Figura 14: Materiais utilizados nos telhados verdes (a) polimérico não reciclado; (b) módulo de plástico (PET) reciclado.

Fonte: (a) ZINCO (2015); (b) JARDIM (2014).

Sendo assim, um sistema de telhado verde desenvolvido com material reciclado ou reaproveitado acaba sendo uma solução dupla do ponto de vista ambiental. Trazendo essa combinação, uma empresa brasileira desenvolveu um módulo (Figura 15) que possui em sua composição o resíduo de EVA.



Figura 15: Módulo composto por resíduo de EVA produzido pela Ecotelhado.
Fonte: Jobim, 2013.

Contudo, o produto saiu do mercado, em um curto espaço de tempo, pelos seguintes motivos “os custo com cimento, mão de obra e transporte” (informação pessoal)³, fala do presidente da empresa, em resposta ao email que lhe foi enviado perguntando o motivo da desistência do produto. Mas, antes de deixar de ser comercializado, muitas instalações de telhado verde com esse tipo de módulo foram executadas, entre eles a o telhado verde da Escola Erich Heine no Rio de Janeiro (Figura 16).



Figura 16: Telhado verde da Escola Erich Heine no Rio de Janeiro.
Fonte: SILVA (2011).

Apesar da desistência da empresa, há de se levar em consideração que a proposta de reutilizar um rejeito, que é descartado com impactos ambientais, por si só já é bastante relevante. Antecipadamente, deixa-se aqui um esclarecimento que a única similaridade do bloco TEVA desenvolvido nesta pesquisa e o bloco modular e galocha da Ecotelhado, é a reutilização do resíduo como agregado leve na

³ FEIJÓ J. M. **Pesquisa (UFPB) MÓDULO-EVA.** Mensagem recebida por joao@ecotelhado.com.br em 11 Mar. 2014.

elaboração do pré-moldado, nenhuma informação nos foi fornecida com relação ao traço, dosagem, granulometria do agregado leve, geometria, molde, ou quaisquer outras com relação à concepção e produção dos blocos. No tópico seguinte se poderá conhecer melhor este resíduo, utilizado recentemente em composição de blocos para telhados verdes, entre outras aplicações.

3.1.4. Potencial de aproveitamento do resíduo de EVA em pré-moldados cimentícios

ETIL-VINIL-ACETATO (EVA) é um copolímero de usos múltiplos em muitas aplicações, é considerado um material inerte, e não se espera que seja biodegradável (Lion d'Or, 2014). Uma de suas aplicações específicas é na indústria calçadista, sendo utilizado na confecção de placas expandidas para posterior corte de palmilhas e entressolas. Esses cortes geram grandes sobras. Estudos realizados na região sul do Brasil mostraram que os resíduos gerados pela indústria calçadista foram superiores a 200 toneladas/mês em 2001, sendo o maior volume oriundo de recortes de placas expandidas (ZATTERA et al., 2005).

Este resíduo é um material potencialmente reaproveitável para uso como agregado leve em compósitos cimentícios. De fato, várias pesquisas (GARLET, 1998; BEZERRA, 2002; PORALI FILHO, 2005; ROCHA, 2008; MELO & LIMA FILHO, 2009) têm destacado a possibilidade de usar esse material na construção civil como agregado leve na elaboração de blocos de vedação, sem função estrutural. Outros estudos têm avaliado o aproveitamento de agregado de EVA na fabricação de placas cimentícias, para aplicação em sistemas de pisos flutuantes em edifícios habitacionais multifamiliares verticais, visando atenuar os ruídos de impacto entre pisos (SANTOS, 2013; LEAL *et al.*, 2013; HAX, 2002).

O resíduo de EVA pode gerar inúmeros problemas ambientais, se não lhe for dado o destino adequado. Tratando-se de um material termofixo, ele tem limitações para ser reciclado pelos processos convencionais na própria indústria, contudo, pode ser reaproveitado. Embora já se tenha proposta à reciclagem química para os resíduos em questão (PRESTES, 2013) os processos de reaproveitamento continuam sendo importantes, visto que tais resíduos podem vir a constituir matéria prima em outros ciclos produtivos, sem maiores custos energéticos.

Desta forma, parece ser interessante buscar soluções que procurem desenvolver produtos com o reaproveitamento de resíduos gerados por indústrias locais. O presente estudo foi desenvolvido em uma região considerada polo na fabricação de calçados e, sendo assim, também polo de geração de resíduos de EVA. Nessa situação, utilizar esse resíduo como agregado combina dois ganhos ambientais: o primeiro relativo ao reaproveitamento do material que seria descartado, ao mesmo tempo em que economiza recursos naturais para a fabricação dos módulos; o segundo em relação ao desenvolvimento de uma técnica de telhados verdes com materiais produzidos na própria região, dispensando maiores custos para sua obtenção e transporte. Acrescente-se a isso as possíveis contribuições na qualidade do ambiente construído, em suas várias escalas (edificação, bairro, cidade), a partir das possibilidades de melhorias no conforto térmico, nas retenções de poluentes, da água pluvial, de ruídos, dentre outras, provenientes do amplo uso de telhado verde nas edificações.

A adição deste tipo de agregado ao concreto fornece a este composto a característica de leveza. De acordo com a norma NBR 12655 (ABNT, 2006), para serem considerados leves os agregados devem apresentar massa unitária menor ou igual a 1800 kg/m^3 . O uso de agregados leves acarreta algumas mudanças de propriedades. Entre elas, tem-se a diminuição da massa específica do concreto bem como a diminuição de sua resistência. Essas características são influenciadas pelas propriedades do agregado leve, como quantidade, tamanho e distribuição dos poros. Vale ressaltar que a relação entre massa específica e dimensão do agregado leve é inversamente proporcional, explicando a influência da granulometria sobre as propriedades do concreto relatadas anteriormente. Desse modo, a massa unitária e específica do compósito é inversamente proporcional à quantidade de agregado de EVA presente na mistura (Galert, 1998).

O resíduo utilizado nessa pesquisa vem sendo investigado desde os estudos de Garlet (1998), que avaliou o potencial de reaproveitamento de resíduo de EVA como agregado para elaboração de concreto leve e, desde então, várias aplicações para construção vem sendo estudadas.

As principais características dos copolímeros de Etileno Acetato de Vinila são as seguintes (RIBEIRO, 1995; TRIUNFO, 1994, apud GARLET, 1998):

- Excelente flexibilidade e tenacidade, mesmo a baixas temperaturas;
- Elasticidade similar a da borracha;

- Superior resistência às quebras sob tensões ambientais;
- Excelente transparência;
- Atóxico;
- Facilmente moldado por extrusão, injeção e filmagem (tubular) ou placas, podendo usar o processo de calandragem;
- Baixo preço;
- Trata-se de um material termofixo, ou seja, ao ser aquecido com determinada temperatura, modifica permanentemente sua estrutura molecular, sofrendo, neste processo, uma reação química irreversível.

Essas propriedades fazem com que esse material seja muito utilizado nas indústrias de calçados, sendo as suas sobras inerentes ao processo de fabricação.

Polari Filho (2003) afirma que a geração de resíduos no setor calçadista, especialmente de resíduos de EVA, tem aumentado bastante, sobretudo no estado da Paraíba, e a maior parte desses resíduos não servem para reutilização na própria indústria. O seu volume mensal tem demandado alternativas para um tratamento mais adequado que não seja simplesmente encaminhá-los para aterros sanitários.

Essa problemática vem despertando cada vez mais a atenção de pesquisadores, no sentido de analisarem a viabilidade de reaproveitar ou reciclar esses resíduos, nos mesmos ou em outros processos. O mesmo autor ainda afirma que o resíduo possui grande capacidade de se deformar, tem boas características acústicas e térmicas, é estável, inerte e não suscetível a fungos. Sendo assim, estaremos agregando valores ao novo produto que reutilizar esse material. Um módulo para telhados verdes extensivos utilizando esse tipo de resíduo em sua composição poderá agregar vantagens térmicas, visto que, além da vegetação absorver a radiação térmica, o próprio módulo poderá contribuir também no bloqueio de passagem de calor através da laje para o ambiente interno.

4. METODOLOGIA

A presente pesquisa foi construída a partir de um amplo levantamento bibliográfico (parte teórica) sobre as temáticas específicas aprofundadas: telhados verdes e aproveitamento de resíduos da indústria de calçados. E a partir disto, foi elaborada a parte experimental desenvolvida nesse estudo.

4.1. Parte Teórica

As temáticas específicas investigadas (o resíduo de EVA e os Telhados Verdes) tiveram como referências base artigos de periódicos. Em relação às referências nacionais as ferramentas utilizadas nesta investigação foram o Banco de Teses da Capes e o Google Acadêmico e para o levantamento de referências internacionais foram utilizados os seguintes bancos de dados: SCOPUS, PROQUEST E EBSCO.

4.2. Parte experimental: Telhado verde extensivo modular com blocos TEVA

A parte experimental consistiu desde a concepção do bloco (denominado bloco TEVA) a ser vegetado para ser usado em composição de telhados verdes modulares até a avaliação comparativa do comportamento térmico entre coberturas vegetadas feitas com esses blocos e outros diferentes tipos de coberturas, a fim de quantificar as contribuições na redução da carga térmica através das coberturas. Nesse estudo comparativo insere-se uma quantificação da água escoada por cada tipo de cobertura a fim de se avaliar os possíveis impactos do telhado verde com blocos TEVA na retenção das águas pluviais.

4.2.1. Telhado verde extensivo modular – proposta com pré-moldados alternativos/ bloco TEVA

Os telhados verdes extensivos correspondem à categoria mais simples, uma vez que faz uso de vegetais de porte herbáceo, mas apesar disso, promove benefícios ambientais, que podem vir a melhorar a qualidade ambiental das cidades.

Tecnologia local para instalação de telhados verdes é mais sustentável e mais ainda se o produto for produzido a partir de um resíduo que tenha potencial para tal aplicação. A proposta aqui foi a de desenvolver um sistema modular para telhados verdes, a partir de um resíduo local, o EVA, configurando o bloco TEVA.

4.2.2. Projetos do módulo/pré-moldado e dos moldes (madeira e metálico)

Projeto do módulo/pré-moldado (bloco TEVA)

A concepção do módulo (bloco TEVA) para o sistema de telhado proposto baseou-se no processo de pré-moldagem e, portanto, foram aproveitados os conhecimentos acumulados em estudos anteriores, realizados com o compósito cimentício com resíduos de EVA, utilizados na fabricação de blocos de vedação pré-moldados (GARLET, 1998; BEZERRA, 2002; PORALI FILHO, 2005; ROCHA, 2008; MELO & LIMA FILHO, 2009).

Para o bloco TEVA tomou-se como parâmetro importante a dimensão do módulo/pré-moldado, buscando a facilidade de seu transporte e manuseio durante a aplicação no telhado verde. Por outro lado, a preocupação com a dimensão do bloco TEVA também teve que atender ao fator limitante para acomodação do substrato, ou seja, o volume mínimo de substrato, que é a reserva nutritiva do vegetal. Desta forma, foi preciso definir as dimensões baseando-se tanto nos aspectos necessários para o desenvolvimento do vegetal, quanto nos aspectos relativos aos materiais utilizados na fabricação do pré-moldado e na sua aplicação no telhado verde.

Duas referências foram importantes para a definição da altura total do bloco TEVA, considerando a altura mínima na parte a ser vegetada, isto é, o volume mínimo para o substrato. Para essa altura de modo a garantir o desenvolvimento do vegetal o IGRA (2014) especifica, para o sistema de telhado verde do tipo extensivo, uma altura de seis (6) cm a 20 cm, entendendo que esta altura deverá compreender a altura do sistema desde a impermeabilização até o ápice dos vegetais. “Para a Technology (2008) especifica-se uma altura, que varia de 3” a 7” (de 7,62 cm a 17,78 cm) (Figura 17). Baseando-se nestes parâmetros foi adotada uma altura para o substrato igual a 10 cm, que atende ambas as especificações.

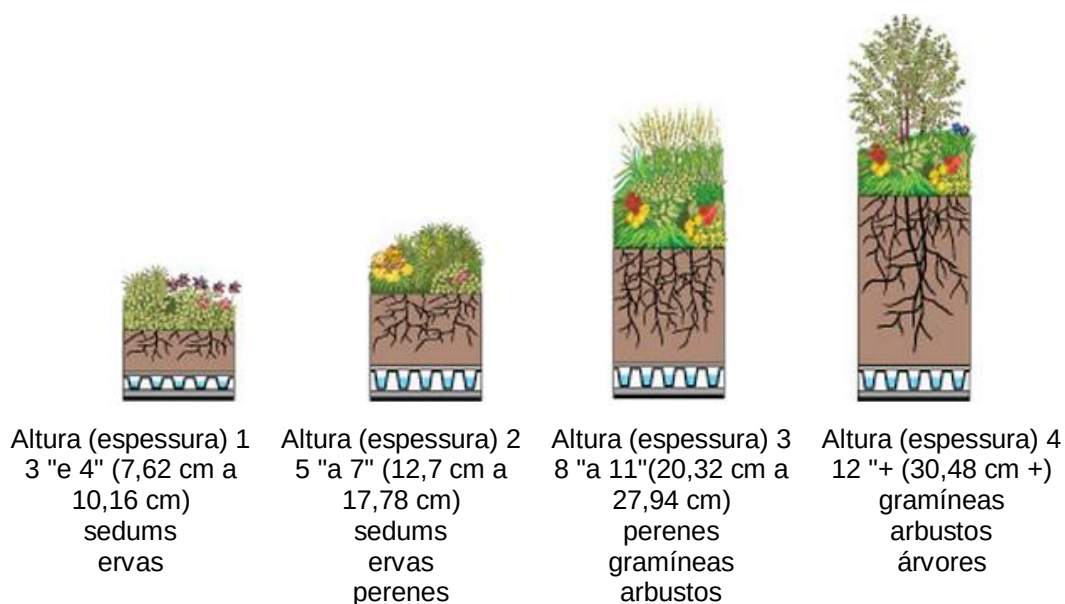


Figura 17: Altura do substrato em diferentes tipos de sistemas de Telhados Verdes.
Fonte: Technology (2008), tradução da autora.

O trabalho desenvolvido por Rosseti (2009), que produziu blocos vegetáveis de concreto com agregado de isopor (EPS) (Figura 18), foi tomado como a referência mais próxima ao estudo com o bloco TEVA proposto. Seu módulo com dimensões principais iguais a 67 cm x 32 cm (comprimento e largura) consistia em um bloco dotado de dez vazios quadrangulares (com pequena altura, destinados ao plantio da vegetação), sendo as paredes divisórias com dois (2) cm de espessura. A base do módulo tem também dois (2) cm de espessura.



Figura 18: Módulo vegetal desenvolvido por Rosseti (2009), feito com resíduos de isopor.
Fonte: Rosseti (2009).

Portanto, considerando as especificidades do material utilizado (compósito cimentício com resíduos de EVA) e a altura para o substrato, conforme definição anterior (10 cm), as dimensões principais inicialmente adotadas para o bloco TEVA

foram as seguintes: 68 cm x 35 cm x 15 (comprimento x largura x altura), com paredes com dois (2) cm de espessura. Nessa etapa, pensou-se o bloco TEVA como um módulo com 8 (oito) vazios correspondentes às partes vegetáveis, sendo estes vazios com as seguintes dimensões 14,5 cm x 14,5 cm x 10 cm (comprimento x largura x altura) (Figura 19).

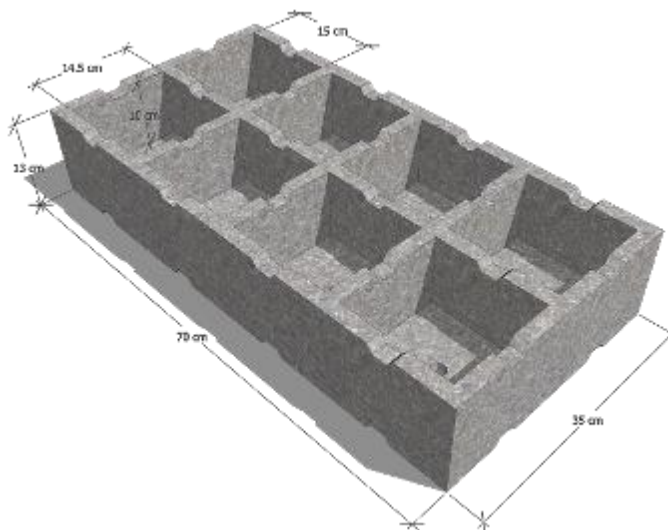


Figura 19: Modelagem preliminar do módulo vegetal.

Fonte: Acervo Próprio (com desenho feito através do programa SketchUp versão 8.0).

Nesse primeiro desenho já se percebia a necessidade de criar facilidades para a drenagem da água através do bloco TEVA, bem como entre a sua base inferior e a sua base de sustentação. Eventuais problemas nesse escoamento da água poderiam prejudicar as plantas, através do afogamento das raízes, ou até mesmo o apodrecimento das mesmas, dependendo da pluviosidade do período.

Não se sabia o quanto permeável era o concreto-EVA (compósito cimentício com resíduos de EVA) a ser utilizado na moldagem do bloco TEVA, mas, acreditava-se que seria necessário criar orifícios na base dos módulos, por onde a água pudesse sair e aliado a isso um mecanismo para que ela fluísse sem dificuldades por baixo do módulo, seja em posição para ser vegetado, seja em posição invertida (para ser usado com a função de passeio), até escoar para a calha ou dreno do telhado verde.

Para além dessas preocupações, buscava-se encontrar uma alternativa que permitisse o escoamento da água de forma independente à forma como os módulos fossem instalados no telhado verde. Dessa forma, pensou-se que não deveria haver dimensões diferentes entre largura e comprimento do módulo e, assim, não haveria uma orientação rígida para a disposição dos blocos durante o assentamento,

evitando problemas decorrentes de instalações descuidadas. Portanto, o módulo quadrado passou a ser mais interessante comparado ao retangular originalmente pensado.

Vários desenhos foram feitos num processo de aprimoramento contínuo do bloco TEVA (APÊNDICE A) com incorporações de detalhes no seu desenho. Por exemplo, a partir das definições estabelecidas se fez a previsão, em sua base inferior externa, de reentrâncias rasas de seção trapezoidal alinhadas com as paredes do módulo. Esse desenho se mostrava teoricamente eficaz para o escoamento da água sob os blocos TEVA independentemente da posição em que fossem instalados. Outras alterações foram sendo incorporadas, mas sem mudar a ideia central.

Ainda considerando o módulo retangular (68 cm x 35 cm x 15 – comprimento x largura x altura), foi modificada a disposição das reentrâncias rasas de seção trapezoidal, vistas como baixo relevo longitudinais e transversais, para que se encontrassem exatamente no centro de cada vazio (parte do módulo a ser vegetado), onde também foi projetado o orifício para a drenagem da água excedente no interior do substrato (Figura 20). Além disso, foi adotado o uso das reentrâncias na parte superior das paredes do bloco TEVA, sendo este também projetado em formato de um prisma trapezoidal (Figura 20) de base maior igual a 3,5 cm, base menor igual a dois (2) cm e altura igual a um (1) cm, afim de que quando disposto em posição invertida, a água pudesse ser também facilmente escoada através deles.

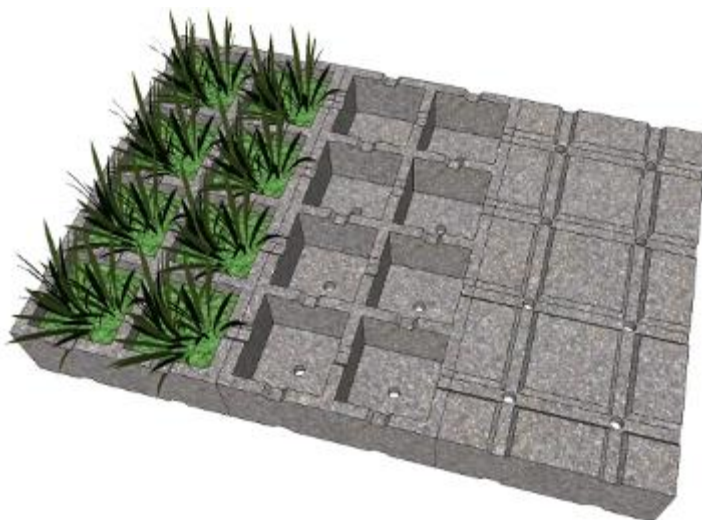


Figura 20: Solução eficaz para o escoamento da água para o módulo retangular (68 cm x 35 cm x 15 – comprimento x largura x altura).

Fonte: Acervo Próprio. (com desenho feito através do programa SketchUp versão 8.0)

Finalmente, optou-se por reduzir o dimensionamento dos módulos (Figura 21) para um formato quadrangular – 35 cm x 35 cm x 13 cm – facilitando o processo de desmoldagem. O bloco retangular seria muito alongado, favorecendo ao surgimento de fissuras, ou mesmo rupturas parciais, durante a manipulação do bloco. Optou-se também em reduzir a altura total do bloco TEVA para 13 cm, mantendo em 10 cm a altura interna do espaço a ser vegetado. Além disso, o bloco TEVA com o formato quadrado, com menores dimensões, certamente teria menor massa, o que a facilitaria o manuseio com transporte e manipulação do bloco, esteja ele vegetado ou não.



Figura 21: Versão final de dois módulos (posições invertidas do bloco TEVA), cada um com dimensões de 35 cm x 35 cm x 13 cm (comprimento x largura x altura).
Fonte: Acervo Próprio (com desenho feito através do programa SketchUp versão 8.0).

Definido o projeto do bloco TEVA, partiu-se então para o projeto do molde, que inicialmente foi testado com forma de madeira baseando-se num processo de moldagem artesanal. Posteriormente, foi confeccionado um molde metálico apropriado para a moldagem na máquina vibro-prensa existente em laboratório.

Projetos dos moldes (madeira e metálico)

No desenvolvimento inicial do molde para produzir o bloco TEVA, visando à redução de custo, foi testado um protótipo utilizando molde em madeira. Para isso, foi adotado como referência o mesmo processo de confecção e desmoldagem para outro pré-moldado (bloco de vedação – EVANG) desenvolvido com concreto com resíduos de EVA (PIMENTEL, 2005). Tal processo, conhecido como tombamento do molde após o seu preenchimento com o concreto EVA, é artesanal e procura atingir a maior rapidez e facilidade na desmoldagem do bloco proposto (Figura 22). Nesse

processo de desformagem há a retirada de peças, que fazem parte do molde, numa sequência específica.



Figura 22: Forma metálica utilizada na confecção de pré-moldado de vedação (EVANG).
Fonte: Pimentel (2005)

Inspirado no molde metálico adotado para o bloco EVANG (PIMENTEL, 2005), se projetou o molde em madeira para o bloco TEVA, baseado em três componentes (Figura 23).

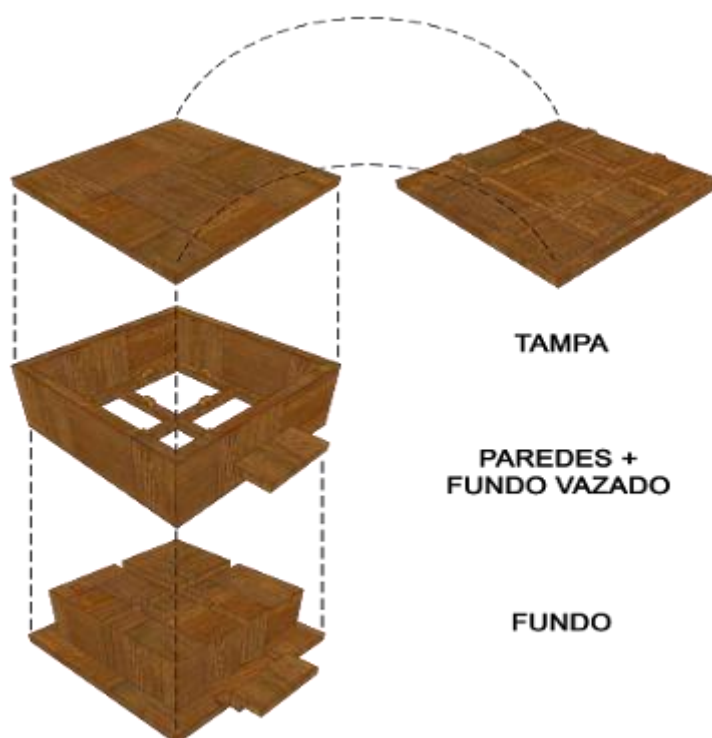


Figura 23: Apresentação das peças que compõem a forma projetada em madeira para moldagem do bloco TEVA.

Fonte: Acervo Próprio (com desenho feito através do programa SketchUp versão 8.0).

O primeiro, que ficou conhecido como a "tampa", continha saliências destinadas à moldagem da parte inferior dos blocos, ou seja, as reentrâncias para o

escoamento da água, quando em posição vegetável. A segunda peça, ou peça principal, com paredes associada ao fundo vazado (paredes + fundo vazado), seria a última parte a ser retirada, já que conteria o módulo como um todo, pois era no fundo vazado onde se apoiariam as paredes do bloco, também com pequenas saliências para moldar as reentrâncias (rasgos) da parte superior das paredes do bloco. Além disso, havia quatro recortes internos (fundo vazado), por onde se encaixava a terceira peça. Esta seria constituída de quatro cubos ocos (base: 14,5 cm x 14,5 cm; e altura: 10 cm), destinados à moldagem dos vazios do bloco TEVA (parte a ser vegetada).

No projeto original do molde em madeira do bloco TEVA continha, ainda, saindo do centro de cada um desses cubos ocos, um pino cilíndrico que chegaria até à tampa da forma, de modo a criar os orifícios projetados para o escoamento da água. Porém, antes mesmo da confecção da forma, notou-se que os pinos seriam demasiadamente frágeis, e logo se romperiam após algumas moldagens consecutivas. Assim, decidiu-se que os orifícios seriam criados após a moldagem completa dos blocos, com uma furadeira, o que de fato foi desnecessário, em função dos blocos TEVA, posteriormente se mostrarem bastante permeáveis.

A sequência de retirada das peças da forma em madeira proposta durante a desmoldagem do bloco TEVA foi a seguinte: 1) Retirada da tampa, e substituição da mesma por uma base em madeira (denominada de base escrava); 2) Tombamento do conjunto, de modo a deixar o "fundo" (peça com os cubos de madeira) voltado para cima; 3) Retirada do fundo; e, por fim, 4) Retirada do corpo principal (parede + fundo vazado). As abas localizadas nas laterais das peças do fundo e das paredes foram criadas com o intuito de facilitar a desformagem.

Depois de definido o molde de madeira, o mesmo foi fabricado em compensado naval, revestido internamente com fórmica branca, a fim de reduzir o atrito entre o material e essas faces durante as desmoldagens, e também proteger a própria madeira do contato direto com a água, podendo ampliar a sua vida útil (Figura 24).

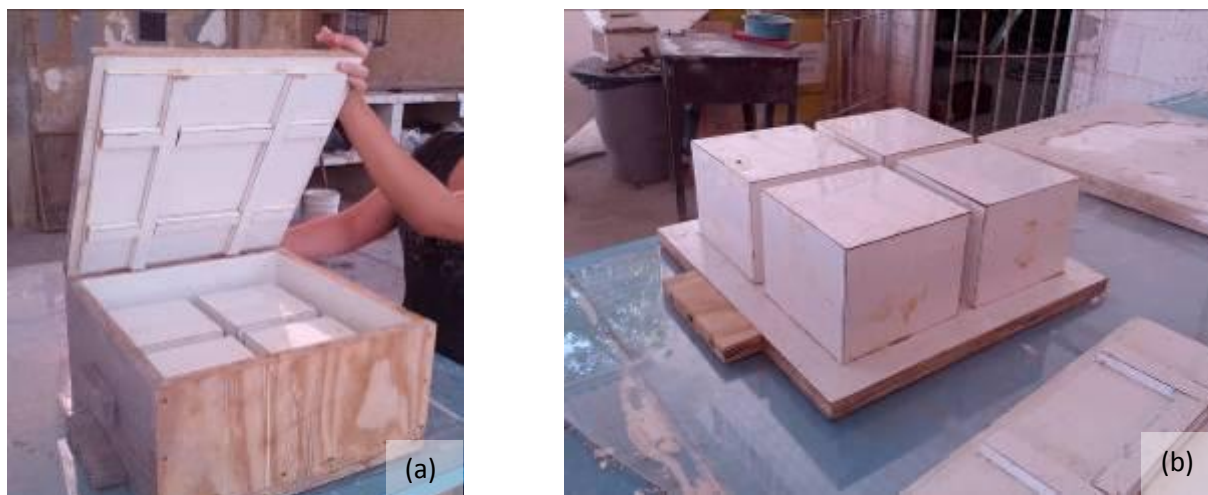


Figura 24: Forma para a produção dos módulos vegetáveis, com todas as peças. (a) “Tampa” erguida parcialmente, com as “paredes mais fundo vazado” apoiada sobre o “fundo”, e (b) Apenas a peça “fundo” com os cubos, sem as “paredes com fundo vazado”.

Fonte: Acervo Próprio.

A fase seguinte correspondeu às moldagens e o próprio teste do molde em madeira. Ao longo do processo de moldagens foram feitos alguns ajustes no molde, de modo a corrigir alguns problemas identificados, como, por exemplo, a instalação de abas mais firmes para facilitar a manipulação das partes do molde durante o processo de desmoldagem, visto que, aquelas previstas no primeiro molde, que se vê na imagem acima, logo se quebraram nas primeiras moldagens. Outro ajuste importante no molde em madeira foi redefinir a espessura das paredes do bloco TEVA, que passaram a ter três (3) cm, visando garantir as moldagens sem quebras parciais do componente.

Após os testes iniciais com os moldes em madeira, considerados como protótipos, partiu-se para a confecção do molde metálico apropriado para a moldagem na máquina vibro-prensa, existente em laboratório. Nesse processo de transição entre molde em madeira e metálico houve necessidade de outros ajustes dimensionais para a devida adequação do molde às dimensões da máquina vibro-prensa.

Em função do espaço disponível na máquina vibro-prensa para receber novos moldes, o molde metálico projetado para o bloco TEVA teve que ser redimensionado (Figura 25), passando a ter as seguintes dimensões: 30 cm x 30 cm x 13 cm (comprimento x largura x altura). As paredes do bloco permaneceram com espessura de três (3) cm, sendo reduzidas as áreas das bases dos vazios a receberem o substrato e a vegetação, que passaram a ter 10,5 cm x 10,5 cm.

Contudo, a altura desses espaços (destinados ao substrato e à vegetação) permaneceu com 10 cm.

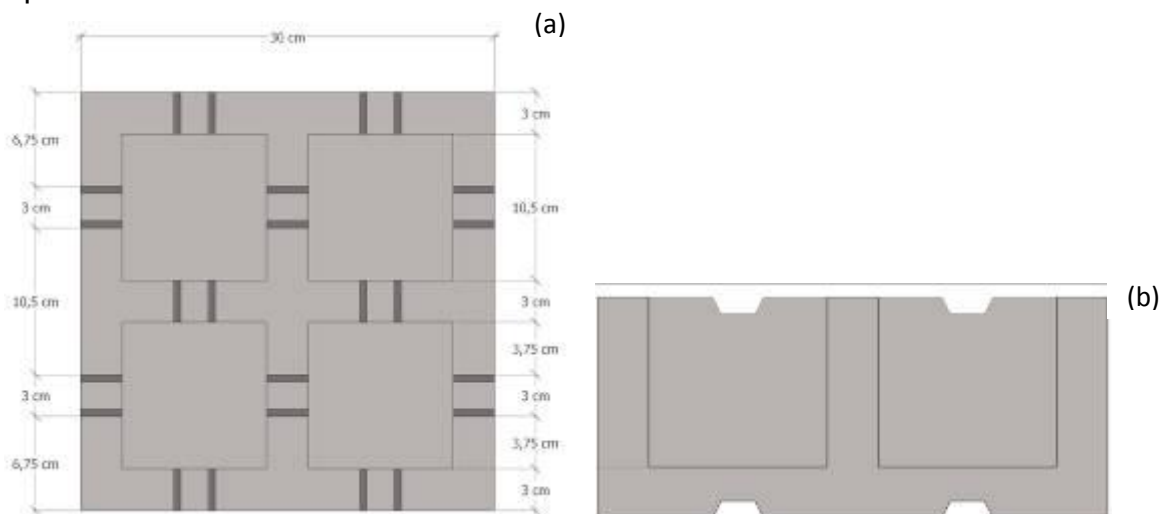


Figura 25: Dimensões do molde metálico, vista superior do molde (a), vista lateral (b).
Fonte: Acervo Próprio.

Nas imagens da Figura 26 pode-se ver o molde metálico (em chapa de aço) instalado na máquina vibro-prensa, para a produção do bloco TEVA.

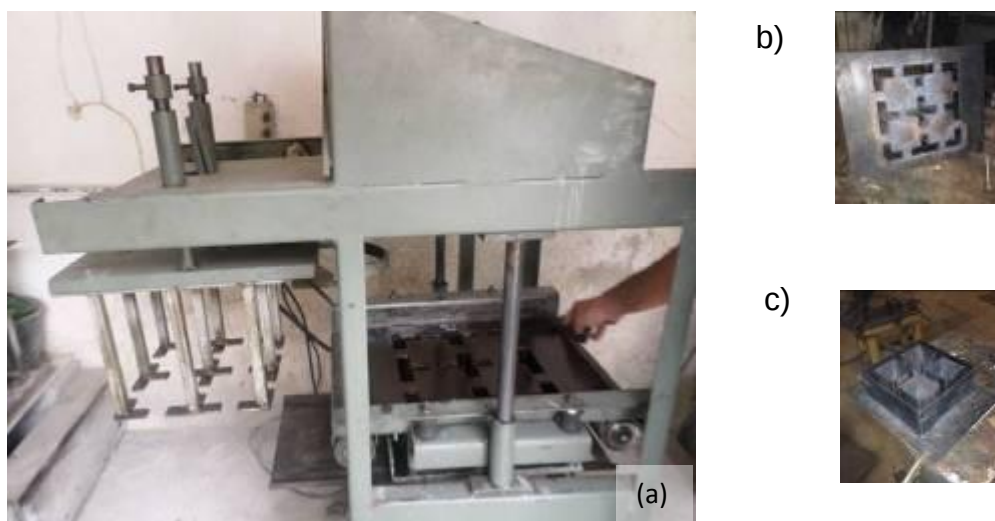


Figura 26: a) Máquina vibro-prensa do LABEME com molde metálico do bloco TEVA instalado; b) imagem superior do molde metálico; c) imagem inferior do molde metálico.
Fonte: Acervo Próprio.

4.2.3. Processo de produção dos blocos TEVA

Os testes iniciais da execução dos blocos TEVA foram realizados com os moldes de madeira, utilizando concreto leve a partir do aproveitamento dos resíduos de EVA (resíduos da indústria de calçados) substituindo parcialmente os agregados naturais. O próprio processo de produção dos blocos TEVA foi parte importante do

desenvolvimento do projeto do componente, visando um modo prático de execução de telhados verdes, bem como viabilizando as avaliações que a presente pesquisa se propôs.

Materiais utilizados

A composição ordinária do concreto consiste em uma mistura de cimento, água, agregado miúdo (areia) e graúdo, geralmente brita ou pedra. No caso específico desta pesquisa, para a produção do bloco TEVA foi substituído o agregado graúdo convencional por EVA triturado, mas todos os demais materiais foram mantidos. No caso, a areia utilizada foi obtida no comércio local, sendo sua origem de rio da região. Destaca-se que o cimento escolhido para a produção dos blocos TEVA foi o cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), que é mais adequado para a produção de artefatos de concreto pré-moldados, quando se deseja acelerar o ganho de resistência mecânica e agilizar a produção, com menor tempo de cura dos componentes. Durante as moldagens foi utilizada a água potável disponível no laboratório (LABEME-CT-UFPB).

Antes da definição da dosagem do concreto com EVA a ser utilizado na moldagem dos blocos TEVA foram necessários estudos de caracterização dos agregados utilizados, miúdo (areia) e graúdo (EVA). Entre os ensaios, foram determinantes o de granulometria e de massa unitária, com base nas normas da ABNT NBR NM 248/2003 (Agregados – Determinação da composição granulométrica) e NBR NM 45/2006 (Agregados – Determinação da massa unitária e volume de vazios).

Um novo ensaio de massa unitária para o agregado de EVA sempre foi feito a cada novo lote de resíduos de EVA, entendendo-se aqui por lote o material resultante após a etapa de trituração do resíduo e estocagem do agregado no próprio LABEME, apesar de que todo o resíduo de EVA utilizado na pesquisa foi fornecido por uma única indústria de calçados, numa única data. De modo que ao total para o EVA o ensaio de massa unitária se repetiu por oito (8) vezes, durante todas as moldagens realizadas, e para areia utilizada foram feitos dois ensaios de massa unitária. Já com relação ao ensaio de granulometria foram feitos dois para cada agregado. Os ensaios de granulometria com EVA foram feitos com uma série

de sete peneiras de série normal e uma intermediária (APÊNDICE B), empilhados em ordem crescente de aberturas de malha, da base para o topo, incluindo um fundo. Para cada ensaio (em datas diferentes) foram utilizados 200g de EVA agitados mecanicamente por 1 minuto sobre o conjunto de peneiras. Determinou-se a dimensão máxima característica (abertura nominal na qual o agregado apresenta uma porcentagem de massa retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5%). Nos ensaios de granulometria com areia utilizou-se 1kg do material, conforme orienta a norma da ABNT (NBR NM 248), agitado mecanicamente por 1 minuto, em um conjunto de peneiras de série normal (APÊNDICE C).

O resíduo de EVA- Origem e processamento

Os resíduos de EVA foram fornecidos por uma indústria de calçados do Estado da Paraíba. Eles mesmos fizeram a entrega do resíduo, sem nenhum tipo de custo para o projeto, visto que a empresa já se desfaz do resíduo entregando-o a uma indústria de cimento local. O resíduo de EVA foi entregue em forma de retalhos, como observado na Figura 27.

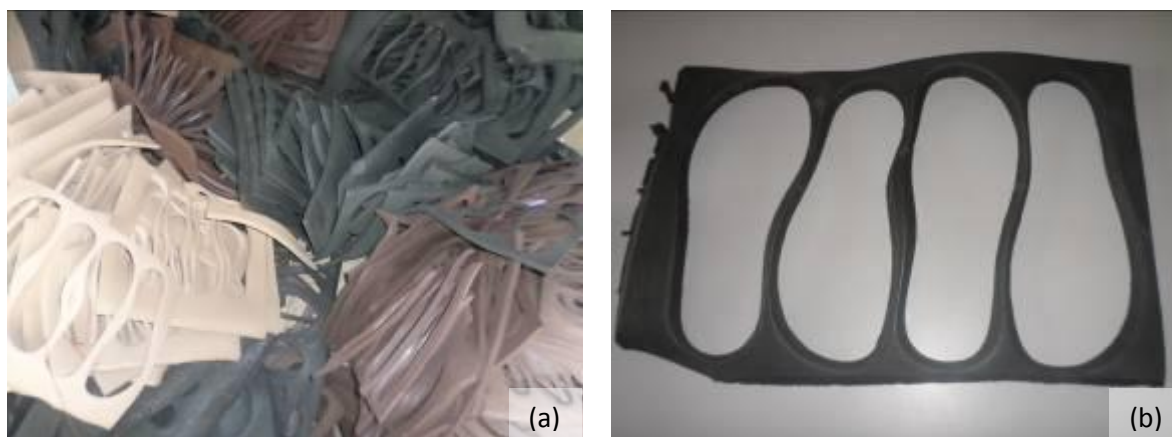


Figura 27: (a) Resíduos de EVA doados em forma de retalhos e, (b) apara individual.
Fonte: Acervo Próprio.

Esses retalhos foram inicialmente cortados, com tesoura básica, em partes menores que pudessem alimentar a abertura do moinho de facas rotativas (modelo P1001/PRIMOTÉCNICA- Figura 28). Esse foi o equipamento utilizado em laboratório para o único beneficiamento realizado com o resíduo de EVA para gerar os agregados leves de EVA.

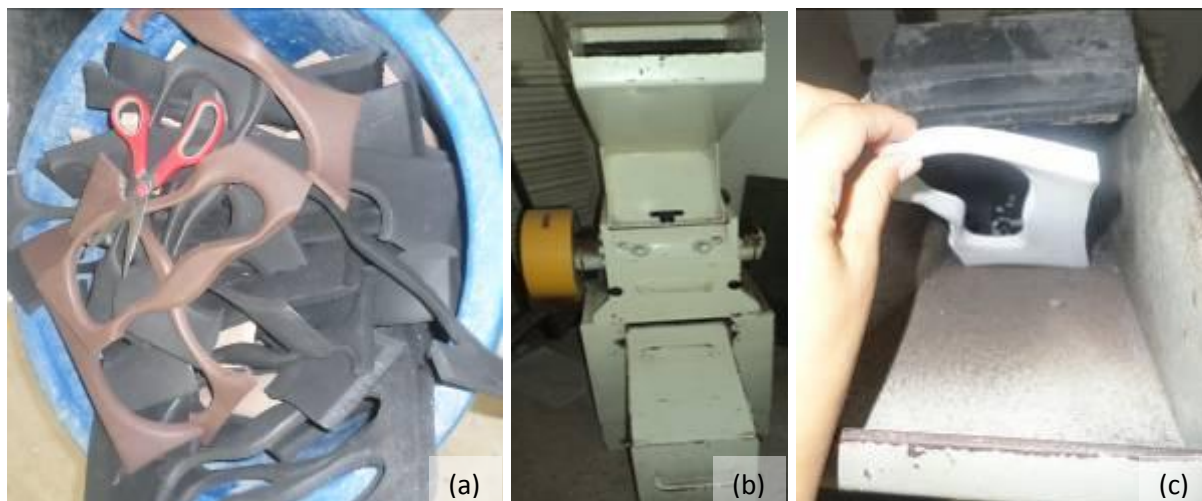


Figura 28: Etapas para o processamento do EVA: (a) corte das aparas (b) moinho de facas e (c) trituração.

Fonte: Acervo Próprio.

A peneira utilizada no moinho de facas (de abertura igual 6,3 mm) gera um agregado leve de EVA com dimensão máxima característica igual a 6,3 mm (Figura 29), que corresponde à abertura nominal da peneira, na qual o agregado apresenta como resultado no ensaio de granulometria uma porcentagem de massa retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% (ABNT NBR NM 248/2003).

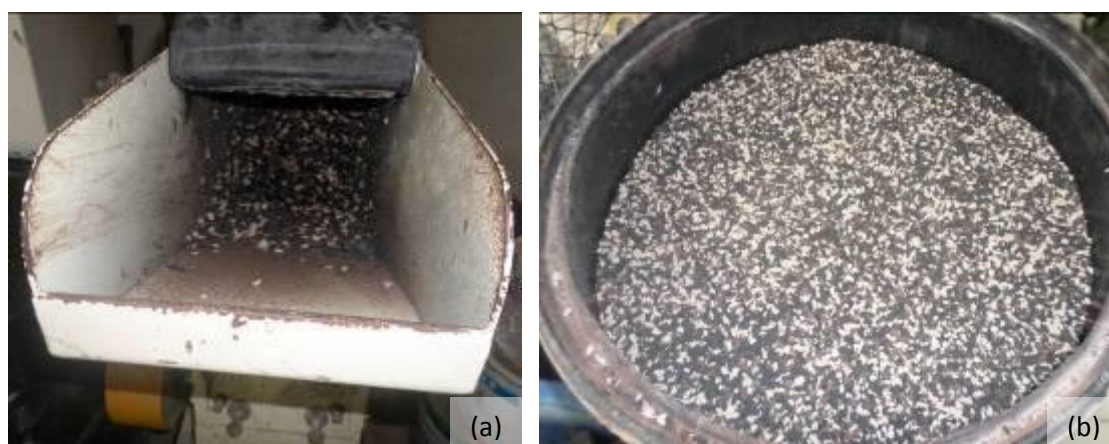


Figura 29: (a) Moinho de facas rotativas, e (b) Agregados de EVA com diâmetro máximo característico igual a 6,3 mm.

Fonte: Acervo Próprio.

Essa granulometria do agregado de EVA utilizado foi considerada adequada para a moldagem dos blocos TEVA, tendo em conta as dimensões do componente proposto. Na verdade, a dimensão máxima característica do agregado a ser utilizado na moldagem de um componente específico depende da menor espessura na sua geometria, o que no caso do bloco TEVA atende plenamente.

Da dosagem do concreto EVA

As moldagens iniciais partiram de proporções já conhecidas entre os materiais, nas quais se sabia que se conseguia moldar pré-moldados com o material em estudo, o concreto EVA, até chegar à situação mais leve possível para o bloco TEVA, desde que ele resultasse em resistência mecânica aceitável para manipulação, para receber substrato e vegetação, e ser usado como piso para passeio de pedestres. Desta forma, foram testadas várias misturas com traços 1:5 e 1:3 (cimento: agregados; em volume), sendo as proporções entre os agregados miúdo e graúdo, variando de 40% areia x 60% EVA até 10% areia x 90% EVA. A relação a/c (água/cimento) foi variável entre 0,38 e 0,46. Normalmente, esta relação é alterada no momento da mistura dos materiais na betoneira, com acréscimo de água, de modo a obter a consistência adequada para a moldagem dos blocos. Vale destacar que a quantidade de água a ser acrescentada não correspondeu a um valor fixo, e teve sempre seu valor registrado para depois corrigir a relação água/cimento inicial.

Todas as moldagens dos blocos TEVA foram realizadas no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas, no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (LABEME-CT-UFPB). A mistura dos materiais foi executada em uma betoneira com capacidade para 120 litros e de eixo inclinado. A ordem de colocação dos materiais foi a seguinte:

- Primeiramente, foi depositado todo o agregado de EVA, adicionando-se 1/3 da água de amassamento; ligou a betoneira e esperou cerca de um minuto para uma absorção de água pelo agregado;
- Com a cuba em movimento, adicionou toda areia e esperou dois minutos;
- Colocou-se todo o cimento, e aguardou que a betoneira misturasse por mais dois minutos;
- Em seguida, foi adicionado o restante da água e foi aguardado mais três minutos.

Após isto, observou-se a consistência do compósito, e caso necessário adicionou mais água, isto foi feito de forma controlada, anotando o volume adicionado para posteriormente fazer a correção da relação água- cimento.

Moldagens do bloco TEVA com molde de madeira

Os primeiros blocos moldados (Figura 30) foram àqueles produzidos com o molde em madeira, cujas dimensões eram: 35 cm x 35 cm x 13 cm (comprimento, largura e altura), conforme o projeto do molde definido anteriormente. Nesse caso, os espaços destinados ao substrato e vegetação correspondem a quatro vazios com as seguintes dimensões: 14,5 cm x 14,5 cm x 10 cm (comprimento, largura e profundidade).

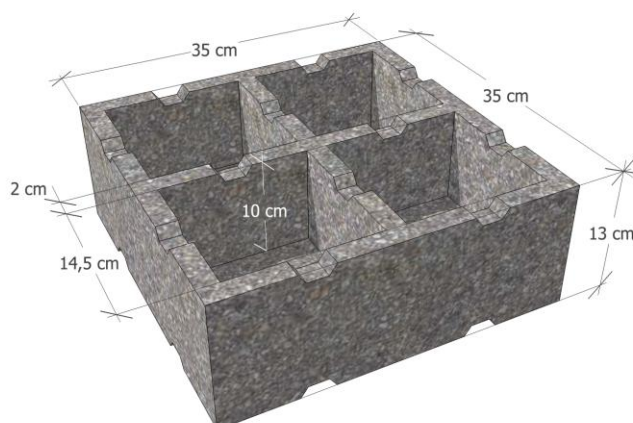


Figura 30: Versão final do projeto do bloco TEVA, com dimensões de 35 cm x 35 cm x 13 cm.
Fonte: Acervo Próprio.

O preenchimento do molde em madeira com concreto EVA ocorria sobre uma mesa vibratória que foi utilizada para auxiliar no adensamento do material no interior do molde. Vale ressaltar que para facilitar o processo de desforma do pré-moldado, que ocorria logo após o término do preenchimento do molde, as faces internas desse molde, mesmo sendo revestidas com fórmica, tiveram que ser lubrificadas, ora com graxa, ora com óleo diesel, até encontrar a melhor solução.

O preenchimento do molde pelo concreto EVA (Figura 31 a) foi feito em três camadas, obedecendo ao seguinte procedimento: após a primeira camada, acionava a mesa vibratória por 5 segundos; depois da segunda camada, repetia-se a vibração por mais 5 segundos; por fim, se colocava a última camada e a “tampa” da forma, e fazia a última vibração, sendo essa um pouco mais longa. Logo após terminar esse processo de moldagem, iniciavam-se as etapas para desmoldagem com a retirada da tampa (Figura 31 b) e substituição por uma base escrava, também de madeira. Em seguida, todo o conjunto era tombado, com giro de 180°, para começar as etapas de remoção das outras duas peças (fundo e parede+vazado).

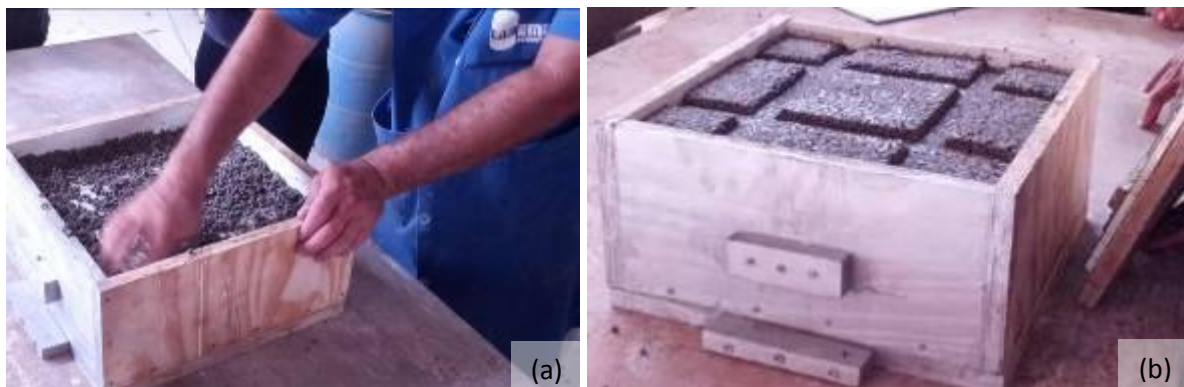


Figura 31: Primeiras moldagens. (a) Em mesa vibratória preenchendo o molde com o compósito, (b) retirada da tampa após vibração.

Fonte: Acervo Próprio.

Os testes com as moldagens em molde de madeira encorajaram a continuação dos estudos para o desenvolvimento do bloco TEVA. Portanto, partiu-se para os testes com o molde metálico fabricado e acoplado à máquina vibro-prensa do laboratório. Nessa etapa, os testes tiveram a perspectiva de uma produção semi-industrial, com fabricação de uma maior quantidade de blocos TEVA, de modo a viabilizar os testes com os telhados verdes propostos.

Moldagens do bloco TEVA com molde metálico

No processo de moldagem do bloco TEVA com uso de molde metálico acoplado em máquina vibro-prensa, obedecia-se o seguinte procedimento: colocava-se a base escrava (em madeira) no suporte previsto na máquina, já com uma pequena quantidade de concreto EVA sobre ela; depois se encaixava o molde metálico sobre a base escrava posicionada e imediatamente colocava a máquina vibro-prensa para funcionar, enquanto se iniciava o preenchimento do material nos espaços vazios do molde metálico; ao final do preenchimento, o extrator metálico, posicionado na parte superior da máquina, era alinhado com o molde, o que produzia automaticamente sua queda sobre o material no interior do molde, mantendo-o sob pressão e vibração por cerca de 15 a 20 segundos; e por fim uma alavanca era acionada, o que deslocava o molde metálico para a parte superior, gerando a desforma do bloco TEVA que se matinha apoiado na base escrava (Figura 32).



Figura 32: Moldagem do bloco TEVA. (a) Preenchimento do material no molde, e (b) desmoldagem. Fonte: Acervo Próprio.

Outras moldagens

Além dos blocos TEVA, foram também produzidas placas, com o mesmo traço, 1: 5 (em volume), com 10% de areia e 90% de EVA, selecionado para as produções dos blocos, sendo a geometria utilizada para a produção dessas placas, aquela mesma que foi desenvolvida por Santos (2013), em seu estudo com placas de concreto EVA para a aplicação em piso flutuante. Entre as placas avaliadas por Santos (2013) produziu-se neste trabalho apenas uma geometria, utilizando o mesmo molde adotado pela autora. Nesse caso, a placa produzida tem a geometria apresentada na Figura 33, onde se percebe a mesma adequação do bloco TEVA em relação à drenagem do excesso de água do telhado verde entre o componente e sua base de apoio. O interesse na moldagem dessas placas foi para simular o sistema de telhado verde modular extensivo contínuo, como se verá mais adiante.

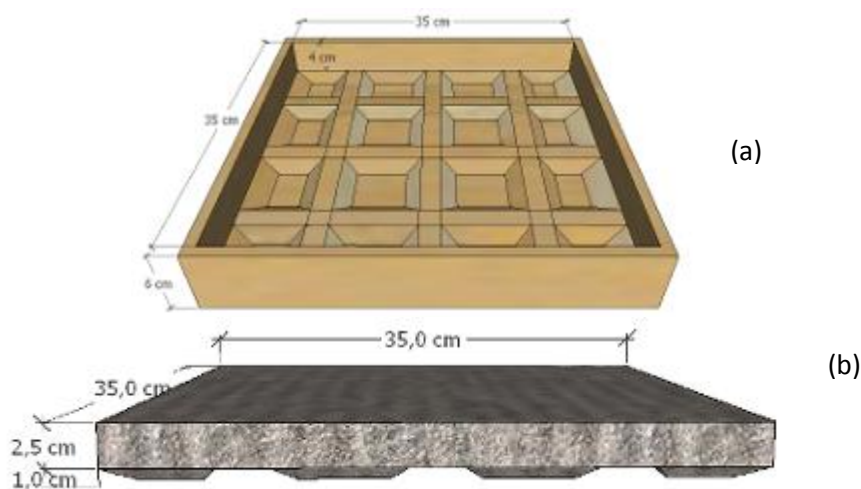


Figura 33: Desenhos esquemáticos do (a) molde e da (b) placa. Fonte: SANTOS, 2013

Outra moldagem executada foi feita com blocos de concreto convencional produzido com apenas agregados naturais (areia e cascalho) e o mesmo molde metálico adotado no bloco TEVA (Figura 34). Nessa moldagem utilizou-se o mesmo traço do bloco TEVA, 1:5 (em volume) com 10% de areia e 90% de cascalho, ficando estabelecida a substituição do agregado de EVA por cascalho. O objetivo dessa moldagem consistiu em possibilitar fazer análises comparativas do comportamento térmico e da capacidade de retenção das águas pluviais de telhados verdes instalados com o bloco TEVA e com o bloco de concreto. Nesse caso, pretendeu-se analisar especificamente a contribuição do agregado de EVA nessas avaliações.



Figura 34: Moldagem do bloco de concreto na geometria TEVA.
Fonte: Acervo Pessoal

Para atender aos objetivos do trabalho foi necessária a produção de 167 blocos e 10 placas, para serem aplicadas, conforme se vê abaixo:

- ✓ 111 blocos TEVA para a instalação do telhado verde do LABEME;
- ✓ 16 blocos TEVA para a instalação do telhado verde em protótipo;
- ✓ 16 blocos de concreto para instalação de telhado verde em protótipo;
- ✓ 12 blocos TEVA – para os testes de resistência a compressão e o ensaio de absorção de água;
- ✓ 12 blocos de concreto para os testes de resistência a compressão e o ensaio de absorção de água;
- ✓ 10 placas para simulação de um sistema de telhado verde.

Processo de cura dos pré-moldados (blocos e placas)

Depois de moldados os pré-moldados seguiam para a câmara úmida, onde passavam 24h, e depois eram imersos em tanques com água, saturados com cal, até completarem sete (7) dias (Figura 35). Esse tempo de cura é considerado adequado para os pré-moldados moldados com o cimento de alta resistência (CP V-ARI).

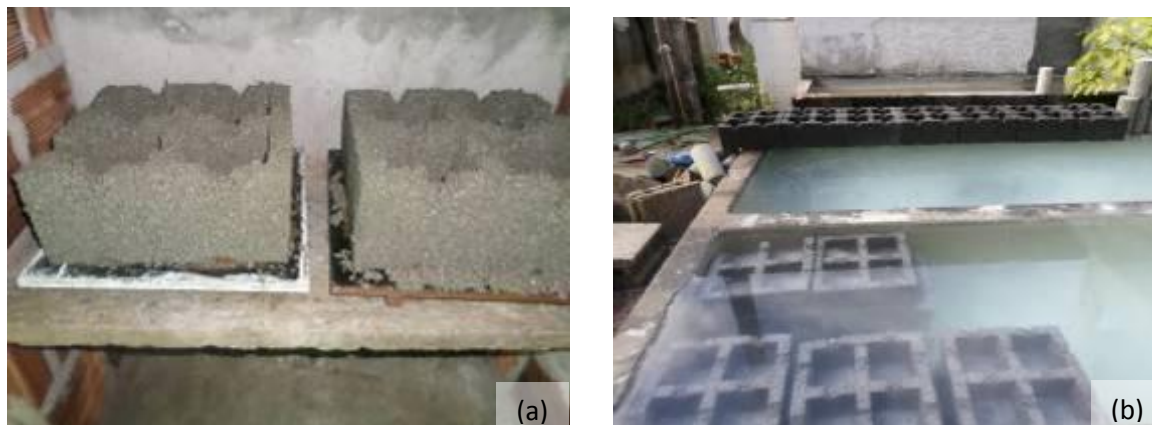


Figura 35: Cura dos blocos TEVA - (a) dispostos na prateleira dentro da câmara úmida; (b) blocos TEVA imersos em tanques com água saturada em cal (na parte inferior) e blocos TEVA retirados do tanque após sete (7) dias (na parte superior).

Fonte: Acervo Próprio.

4.2.4. Caracterização dos blocos: ensaio de resistência à compressão e absorção de água

O ensaio de resistência à compressão para o bloco TEVA foi necessário, considerando que o módulo foi projetado para ser utilizado também em posição invertida, ou seja, para ser utilizado como blocos de piso, de modo a facilitar o acesso de pedestres ao telhado verde proposto nas ocasiões de manutenção da vegetação. Então, foi preciso conhecer essa característica mecânica do bloco TEVA, visando relacioná-la à capacidade de receber o tráfego de pessoas sobre os módulos propostos. Esse ensaio foi realizado também para o bloco em concreto.

Para os ensaios de resistência à compressão foram selecionados seis (6) blocos TEVA e seis (6) blocos de concreto, sendo todos com idade maior do que 28 dias. Esses ensaios foram realizados de acordo com a NBR 7184/1992, utilizando a prensa hidráulica Pavitest (Contenco) i. 3058. Os blocos foram capeados com pasta de cimento nas suas duas faces maiores, aqui denominadas: face piso e face vegetada. Na face vegetada, o capeamento resultou no fechamento dos 4 (quatro)

vazios, formando uma camada única plana de pequena espessura, conforme se vê na Figura 36.



Figura 36: (a) Vista frontal de dois blocos capeados - TEVA (atrás) de concreto (frente); (b) vista lateral de dois blocos capeados – TEVA (à esquerda) e de concreto (à direita).

Fonte: Acervo Próprio.

No caso do ensaio de absorção de água, também foi importante determinar essa propriedade para o bloco TEVA proposto, uma vez que a maior capacidade de absorção de água esperada pelo módulo, pode se constituir numa característica interessante para a análise de compatibilidade entre o material (bloco TEVA) e a vegetação. Além disso, pode ser um fator importante para relacionar com a esperada maior capacidade de retenção das águas pluviais. Esse ensaio foi realizado também para o bloco em concreto.

Para o ensaio de absorção de água foram utilizados também 6 (seis) blocos TEVA e 6 (seis) blocos de concreto, sendo o procedimento do ensaio de acordo com a NBR 12118 (2006).

4.2.5. Processo de vegetação dos blocos

Inicialmente foram encaminhadas solicitações oficiais (APÊNDICE D) a 3 (três) viveiros da cidade de João Pessoa-PB (Secretaria de Meio Ambiente do município, Prefeitura da UFPB e Horto do Instituto de Pesquisa em Fármacos e Medicamentos da UFPB - Centro de Biotecnologia/CBIOTEC) para conseguir doações de mudas e/ou substrato necessários para o processo de vegetação dos blocos, a serem utilizados nas avaliações dos telhados verdes propostos no presente trabalho. Apenas o CBIOTEC/UFPB se mostrou colaborativo com a presente pesquisa, sendo este importante parceiro na viabilização do processo de

vegetação dos blocos TEVA e dos blocos de concreto. Portanto, adotou-se como regra, após esperar o tempo de cura dos blocos, encaminhá-los ao CBIOTEC/UFPB (Figura 37 e Figura 38) para serem vegetados.



Figura 37: (a) Entrada principal do CBIOTEC/UFPB; (b) vista do horto de plantas medicinais do CBIOTEC/UFPB.

Fonte: Acervo Próprio.

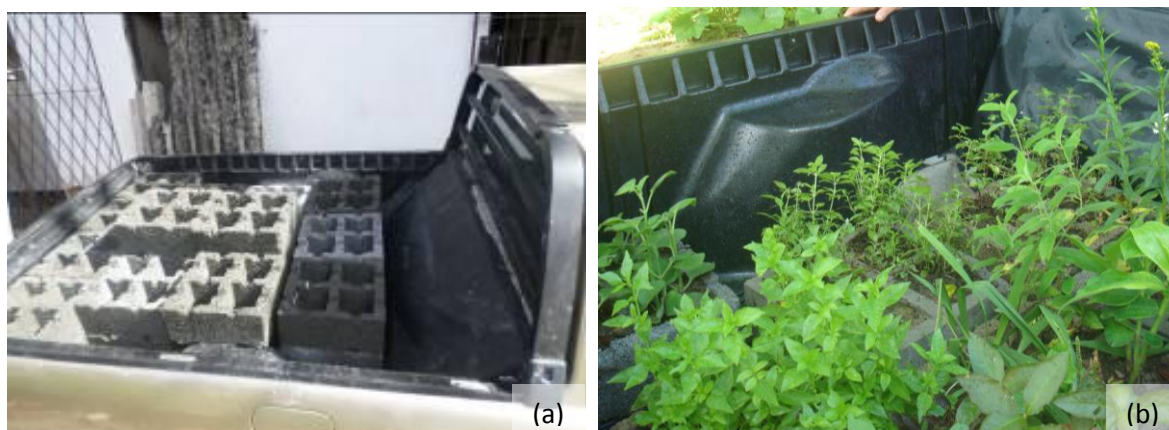


Figura 38: (a) Transporte dos blocos não vegetados do LABEME/CT/UFPB ao CBIOTEC/UFPB; (b) transporte dos blocos, depois de vegetados do CBIOTEC/UFPB ao LABEME/CT/UFPB.

Fonte: Acervo Próprio.

A escolha da vegetação

Considerando-se a disponibilidade do horto do Instituto de Pesquisa em Fármacos e Medicamentos da UFPB (CBIOTEC-UFPB), todas as plantas cultivadas nos blocos utilizados nos testes com telhado verde foram de usos medicinais. Os critérios adotados para a seleção foram basicamente de que as plantas suportassem exposição solar direta e ao mesmo tempo se desenvolvessem adequadamente a uma profundidade de 10 cm. Na Tabela 06, segue a lista das espécies utilizadas, e no APÊNDICE E há um quadro ilustrado das mesmas.

Tabela 06: Lista das espécies vegetais utilizadas na pesquisa.

Fonte: Acervo Próprio.

Nome popular	Família	Nome científico ⁴	Característica
Alecrim	Lamiaceae	<i>Rosmarinus officinalis</i> L. (1753)	Arbusto ramificado
Agrião do brejo	Asteraceae	<i>Spilanthes acmella</i> (L.) L. (1774)	Herbácea/perene
Agrião do Pará	Brassicaceae	<i>Nasturtium officinale</i> W.T. Aiton (1812)	Herbácea/perene
Alho do mato	Iridaceae	<i>Cipura paludosa</i> Aubl. (1775)	Herbácea
Babosa	Xanthorrhoeaceae	<i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f. (1768)	Suculenta
Boldo	Lamiaceae	<i>Plectranthus barbatus</i> Andrews (1810)	Herbácea/perene
Bunina	Nyctaginaceae	<i>Mirabilis jalapa</i> L. (1753)	Herbácea
Cavalinha	Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i> L. (1759)	Herbácea/perene
Chachambá	Acanthaceae	<i>Justicia pectoralis</i> Jacq (1760)	Herbácea/h= 50 cm
Capim santo	Poaceae	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf	Herbácea
Cana de macaco	Costaceae	<i>Costus spicatus</i> (Jacq.) Sw. (1788)	Herbácea de haste dura
Camomila	Asteraceae	<i>Matricaria recutita</i> L. (1753)	Herbácea/perene
Colônia	Zingiberaceae	<i>Alpinia zerumbet</i> . Pers. B.L. Burt. & R.M.Sm	Herbácea/perene
Erva lanceta	Asteraceae	<i>Solidago chilensis</i> Meyen (1834)	Subarbusto/perene
Erva cidreira	Lamiaceae	<i>Melissa officinalis</i> L. (1753)	Herbácea/perene
Gengibre	Zingiberaceae	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe (1807)	Herbácea/perene
Hortelã Homem	Lamiaceae	<i>Plectranthus barbatus</i> Andrews (1810)	Herbácea/perene
Hortelã da folha miúda	Lamiaceae	<i>Mentha piperita</i> L. (1753)	Herbácea
Hortelã da folha graúda	Lamiaceae	<i>Coleus amboinicus</i> Lour (1790)	Herbácea/perene/suculenta
Mangericão do roxo	Lamiaceae	<i>Ocimum basilicum</i> L. (1753)	Herbácea
Mangericão menino	Lamiaceae	<i>Ocimum minimum</i> L. (1753)	Herbácea
Malmequer amarelo	Asteraceae	<i>Aspilia montevidensis</i> (Spreng.) Kuntze (1898)	Herbácea/perene
Mangerona	Lamiaceae	<i>Origanum majorana</i> L. (1753)	Herbácea/h= 60 cm
Mastruz	Amaranthaceae	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L. (1753)	Herbácea
Milona	Menispermaceae	<i>Cissampelos sympodialis</i> Eichler (1864)	Trepadeira
Poejo, Hortelãzinho, hortelã pimenta	Lamiaceae	<i>Mentha pulegium</i> L. (1753)	Herbácea/perene
Quebra pedra	Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus niruri</i> L. (1753)	Herbácea/pequena
Penicilina	Amaranthaceae	<i>Alternanthera brasiliana</i> (L.) Kuntze (1891)	Herbácea/perene/ereta
Saião	Crassulaceae	<i>Kalanchoe brasiliensis</i> Cambess	Suculenta
Saião do roxo	Crassulaceae	<i>Kalanchoe crenata</i> (Andrews) Haw (1812)	Suculenta
Salsa	Apiaceae	<i>Petroselinum sativum</i> Hoffm. (1814)	Herbácea
Tansagem	Plantaginaceae	<i>Plantago major</i> L. (1753)	Herbácea/perene

⁴ O nome científico das espécies foi procurado no site < <http://www.tropicos.org/> >

A escolha do substrato

Esse item constitui uma variável utilizando-se de três tipos de substrato, devido ao volume de substrato necessário para vegetar todos os blocos, uma vez que no viveiro do horto do CBIOTEC/UFPB só foi possível disponibilizar uma parte do material. De modo que, para a vegetação dos primeiros blocos TEVA utilizou-se o substrato disponibilizado pelo próprio horto do CBIOTEC/UFPB, mas nos demais se fez uso de substratos adquiridos no comércio local.

O substrato disponibilizado pelo horto do CBIOTEC/UFPB, utilizado nos primeiros blocos TEVA, tem a seguinte composição: 65% de terra vegetal, 30% de esterco e 5% de argila. Todos esses blocos foram utilizados na simulação do telhado verde instalado sobre a laje da câmara úmida do LABEME/UFPB. Para complementar esse mesmo telhado verde simulado no LABEME/UFPB foram necessários mais blocos TEVA, que receberam um substrato comercial, cuja composição foi: terra fértil de húmus de minhoca, associado a um fertilizante orgânico produzido por minhoca vermelha da Califórnia, *Eudrilus eugeniae* (Kinberg 1867). Todos os blocos TEVA e os blocos de concreto que foram instalados nos protótipos (NUPA-UFPB) receberam apenas uma terra vegetal adquirida no comércio local.

No total, foram utilizados cerca de 550 kg de material para substrato durante o processo de vegetação de todos os blocos, considerando que cada vazio do módulo recebe, em média, quase 1,3 kg, ou cerca de 5 kg de substrato por bloco.

Transplante e aclimação dos vegetais nos módulos

Os primeiros blocos TEVA (25 unidades), durante o processo de vegetação, foram dispostos no próprio solo em contato com a terra da área disponível no horto do CBIOTEC/UFPB (Figura 39).



Figura 39: Primeiros blocos TEVA vegetados no horto do CBIOTEC com uso de substrato próprio.
Fonte: Acervo Próprio.

A partir da etapa seguinte, para evitar esse contato direto entre a base dos blocos TEVA e o solo local, procurou-se utilizar uma lona plástica na área onde foram colocados os blocos a serem vegetados. Após a organização dos blocos em filas duplas foi iniciada a colocação do substrato nos espaços vazios (Figura 40).

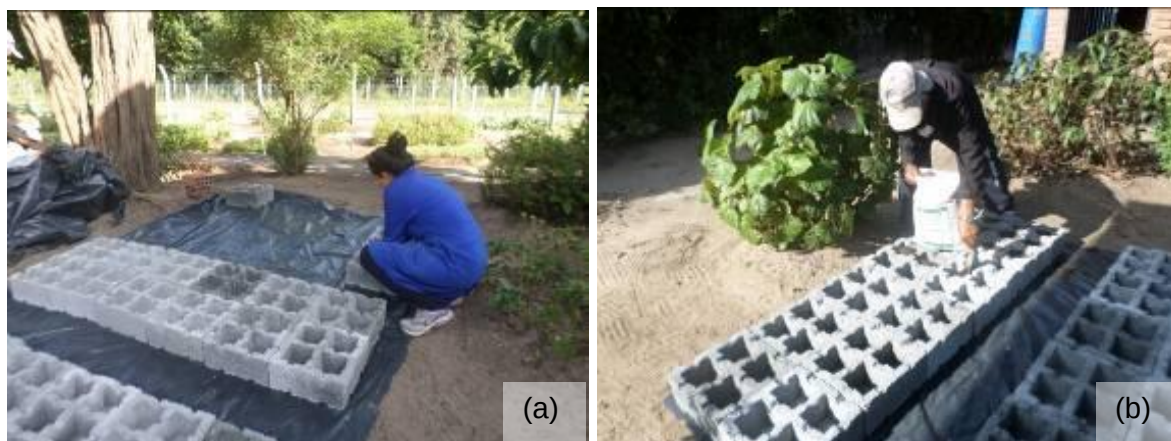


Figura 40: (a) Organização dos blocos sobre uma lona plástica; (b) Colocação de substrato nos espaços vazios dos blocos TEVA.
Fonte: Acervo Próprio.

Depois de preencher os blocos com substratos, foram coletados os espécimes no próprio viveiro do horto do CBIOTEC/UFPB, que foram utilizados para vegetar os blocos (Figura 41).



Figura 41: (a) Blocos com substrato pronto para receber os vegetais; (b) Recolhimento dos vegetais para replantio nos blocos.
Fonte: Acervo Próprio.

Uma vez selecionados os ramos vegetais, se iniciava o processo de replantio nos blocos, como se observa na Figura 42.



Figura 42: (a) e (b) Replanteio dos vegetais nos blocos TEVA.
Fonte: Acervo Próprio.

Depois disso, os blocos TEVA, recém-vegetados, passaram duas semanas se aclimatando no CBIOTEC/UFPB, recebendo água todos os dias, em uma área com sombra parcial (Figura 43).



Figura 43: Blocos TEVA em processo de aclimação (duas semanas).
Fonte: Acervo Próprio

A simulação do telhado verde na laje da câmara úmida do LABEME/UFPB foi composta pelos 25 blocos TEVA vegetados inicialmente, acrescidos de 86 blocos TEVA vegetados no segundo momento (sobre a lona plástica), ambos utilizando uma variedade de espécies vegetais de uso medicinal. Outros 32 blocos (16 blocos TEVA e 16 blocos de concreto), que também foram vegetados sobre a lona plástica, receberam apenas uma única espécie vegetal, a *Coleus amboinicus* Lour, popularmente conhecida como hortelã da folha grossa, por se tratar, dentre as disponíveis, da espécie mais resistente às condições adversas a serem testadas. Na verdade, esses 32 blocos foram instalados nos telhados verdes sobre laje de protótipos, construídos no NUPA/UFPB, em cujo local há muita insolação, que caracteriza um micro clima bastante diferente comparado ao LABEME/UFPB. Nesse caso, os 32 blocos receberam o replantio da hortelã da folha grossa na mesma manhã, a fim de que a vegetação tivesse o mesmo tempo para o seu desenvolvimento, eliminando assim essa variável (Figura 44).



Figura 44: Blocos de concreto (à esquerda) e blocos TEVA (à direita), ambos logo após receberem o replantio da espécie *Coleus amboinicus* Lour. (hortelã da folha grossa).
Fonte: Acervo Próprio.

4.2.6. Simulações dos sistemas de Telhado verde propostos

Inicialmente foi feita a simulação em desenho de três (3) sistemas de telhados verdes, aqui identificados por: aéreo, contínuo e modular. Para isso, foi utilizada uma composição com duas geometrias de pré-moldados, os blocos TEVA aqui propostos e as placas aproveitadas do estudo de Santos (2013). Da simulação em desenho foi possível reproduzir a ideia em laboratório, a partir da confecção dos pré-moldados referidos.

Dos sistemas simulados apenas o sistema modular com uso dos blocos TEVA, devido a sua praticidade, versatilidade e foco da pesquisa, foi instalado em dois telhados verdes sobre lajes impermeabilizadas com membranas acrílicas. O primeiro telhado verde foi instalado no próprio laboratório (LABEME/UFPB), sobre a laje da câmara úmida, uma área de aproximadamente 12 m², para acompanhamento do desenvolvimento dos vegetais durante 10 meses (Maio de 2014 a Março de 2015). O segundo telhado verde com blocos TEVA foi instalado sobre lajes de protótipo, construído no NUPA/UFPB com uma área aproximada de 1,0 m², para análise de comportamento térmico e da capacidade de retenção da água pluvial.

4.2.7. Instalações dos Telhado Verdes modulares com bloco TEVA

Em escala Real (No LABEME)

O LABEME (Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas) está localizado no centro de tecnologia (CT) da Universidade Federal da Paraíba, CAMPUS I (Figura 45).



Figura 45: Localização do LABEME no CT na UFPB.

Fonte: GOOGLE EARTH, 2013.

O LABEME foi o laboratório onde ocorreram várias etapas da pesquisa experimental, tais como, projeto do bloco e moldes, execução dos moldes, moldagens dos pré-moldados e ensaios, além de ser um espaço de fácil acesso e com fluxo permanente de funcionários, professores e estudantes, viabilizando a segurança. Diante desses pontos positivos foi escolhida a laje da câmara úmida do referido laboratório para simular o telhado verde modular, o que foi importante para facilitar o acompanhamento do desenvolvimento da vegetação por um longo período.

Sendo assim, as etapas para a instalação do telhado verde foram as seguintes: após a remoção das telhas cerâmicas, que estavam assentadas diretamente sobre a laje de concreto, foi feita a limpeza do local, e depois disso,

aplicada a impermeabilização acrílica. Em seguida, os blocos TEVA já vegetados foram dispostos na laje (Figura 46) sem ainda completar a área de 12 m².



Figura 46: (a) execução da impermeabilização da laje; (b) instalação dos primeiros blocos TEVA vegetados dispostos na laje.

Fonte: Acervo Próprio.

Inicialmente foram instalados 25 blocos TEVA no telhado verde sobre essa laje (em 16 de maio de 2014). Ao longo de quatro (4) meses os vegetais transplantados nos blocos TEVA, não receberam nenhuma atenção especial, com relação à irrigação, nutrição, ou poda. Como esse período correspondeu ao período chuvoso na região (João Pessoa-PB), o interesse nessa etapa foi acompanhar o desempenho dos vegetais, diante das condições naturais.

Após essa etapa inicial de acompanhamento, mais precisamente a partir do dia 24 de setembro de 2014, foi feita uma manutenção nos vegetais, retirando os vegetais secos, e fazendo o replantio com novas mudas nos mesmos blocos TEVA.

A segunda etapa, como novo ciclo de acompanhamento dos vegetais, foi realizada entre o dia 06 de outubro de 2014 e 06 de Março de 2015, quando os 12 m² da laje (Figura 47) estiveram totalmente preenchidos com os blocos TEVA vegetados.



Figura 47: (a) Instalando o Telhado verde do LABEME; (b) Telhado verde no LABEME instalado com blocos TEVA vegetados e blocos TEVA como piso (posição invertida).
Fonte: Acervo Próprio.

Nesse período, que compreende a estação mais seca na cidade, com baixa precipitação pluviométrica, conforme se vê no Gráfico 03 gerado pelos dados do INMET, realizou-se uma manutenção mínima, caracterizada por uma aspersão de água sobre a vegetação, em princípio de 2 a 3 vezes por semana.

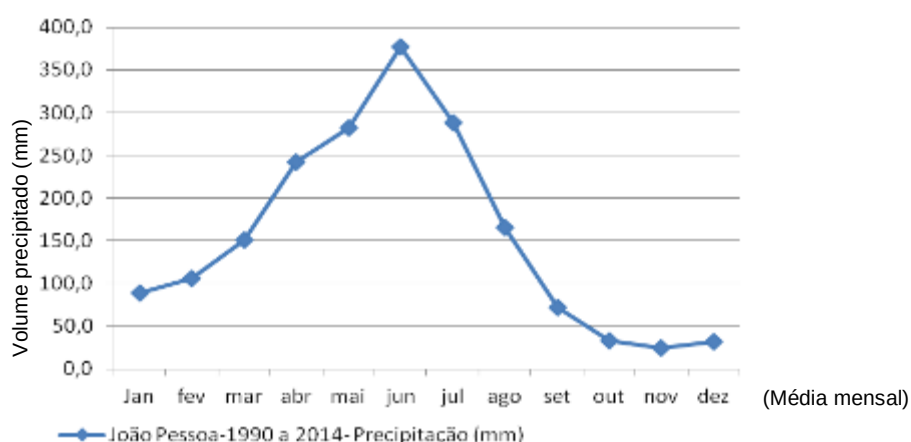


Gráfico 03: Média da precipitação pluviométrica ao mês dos últimos 24 anos.
Fonte: Dados da Rede do INMET

Além da água fornecida ao longo dos seis (6) meses, também, se fez um tratamento no telhado verde, com a retirada da gema apical dos vegetais (a fim de diminuir o crescimento horizontal), folhas secas, plantas que não sobreviveram, e replantio de novas mudas com as gemas apicais retiradas das plantas desenvolvidas, além de reposição de substrato.

A configuração do telhado verde instalado (Figura 48) com espaços para passeios seguiu dois princípios: 1 - caminhos para uma eventual visita de

pedestres; 2 - alcance para a vegetação, a partir dos caminhos definidos. Portanto, a ideia foi que os blocos TEVA pudessem ser arranjados de modo a definir ilhas vegetadas próximas de pisos (blocos TEVA invertidos), permitindo segurança na caminhada, bem como, em caso de uma manutenção, os módulos estivessem ao alcance confortável das mãos, com dois módulos de distância, no máximo, conforme apresentado no arranjo.

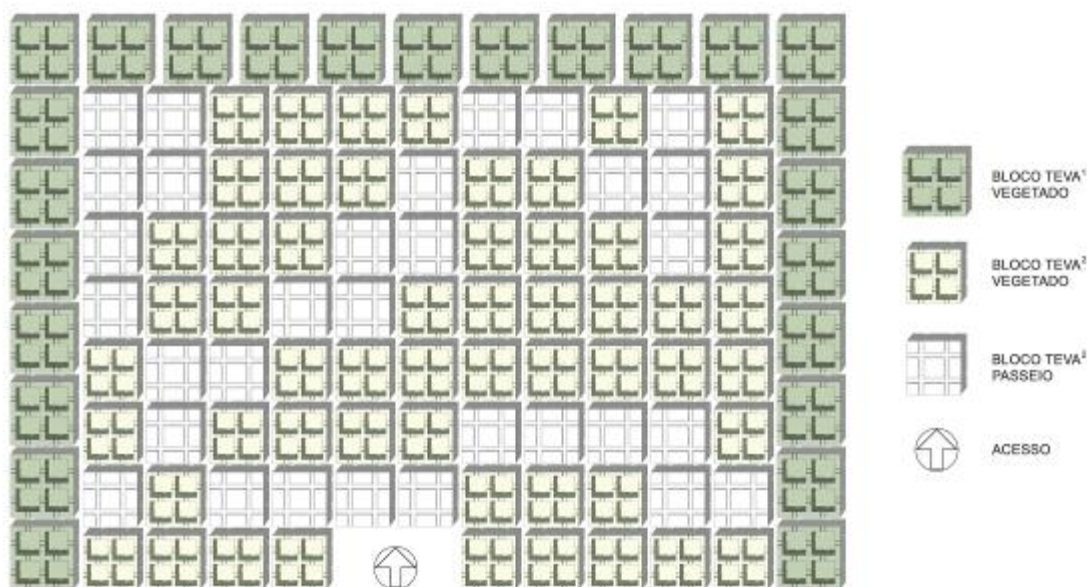


Figura 48: Arranjo dos blocos TEVA (vegetados ou invertidos) configurando o telhado verde modular do LABEME.

Fonte: Acervo Próprio.

Como os blocos produzidos no molde de madeira (TEVA¹) são maiores que os produzidos no molde metálico (TEVA²), para um melhor arranjo, optou-se por colocar os maiores (25 blocos TEVA¹) delimitando a área do telhado verde, conforme se mostra na Figura 48. Contudo, esse arranjo não é fixo, podendo ser alterado conforme interesse. Três composições diferentes são apresentadas no APÊNDICE F.

Há de destacar que a área onde foi executado o telhado verde no LABEME é bastante sombreada ao longo do dia, devido às árvores e edificações nas proximidades, tornando-a imprópria para análises de comportamento térmico. Além disso, fazer comparativos desse telhado verde com outros tipos de coberturas eram também inadequadas, devido às inúmeras variáveis envolvidas, que iriam interferir nos resultados das medições, tais como, orientações diferentes dos edifícios, e volume dos ambientes internos distintos. Sendo assim, para que fossem possíveis

estudos comparativos de diferentes tipos de coberturas, optou-se pela construção de protótipos com iguais características e condições de micro clima no entorno, como veremos mais adiante.

Em Protótipo (NUPPA/UFPB)

Para viabilizar o estudo comparativo com o telhado verde proposto foram construídos cinco protótipos iguais para receber diferentes tipos de coberturas, visando à realização de medições para verificar o comportamento térmico e pluviométrico de cada cobertura.

O Núcleo de Processamento de Alimentos (NUPPA) é um núcleo externo ao Campus I da UFPB. Ele está distante cerca de 7,7 Km do Campus I e se localiza numa área adjacente à zona industrial do bairro Mangabeira na cidade de João Pessoa – PB (Figura 49). Essa localização se mostrou interessante como local para a construção dos protótipos, por ser pouco edificada com algumas áreas abertas sem vegetação, havendo muita incidência solar direta e pouco sombreamento.



Figura 49: Vista aérea da localização do NUPPA, sombreamento em vermelho da zona industrial de mangabeira.

Fonte: GOOGLE EARTH, 2013.

Além disso, já se sabia da existência de protótipos por lá, os quais foram construídos para avaliação térmica, cujo assunto foi abordado em outra dissertação

de mestrado já concluída. O local também se mostrou seguro para a instalação dos equipamentos durante as realizações das medições nos protótipos.

Execução dos protótipos

Após receber a autorização do diretor do NUPPA-UFPB (APÊNDICE G), regente nos anos de 2014 e 2015, seguiu-se com a concepção dos cinco (5) novos protótipos iguais entre si em dimensões e materiais, critérios importantes para o desenvolvimento do estudo. Os protótipos já existentes não atendiam aos controles das variáveis, desejada nesta pesquisa. Mas, considerou-se a posição dos mesmos, de forma que se manteve a mesma distância de 2,7 m entre os novos protótipos e os antigos, e entre os próprios novos protótipos conforme se nota no estudo de locação dos novos protótipos no desenho apresentado no apêndice H.

Os protótipos foram pensados como células teste com dimensões padrão (1,0 m x 1,0 m; em planta baixa) e possuem volume interno igual a 1,0 m³ (1,0 m x 1,0 m x 1,0 m), conforme se vê no desenho da Figura 50.

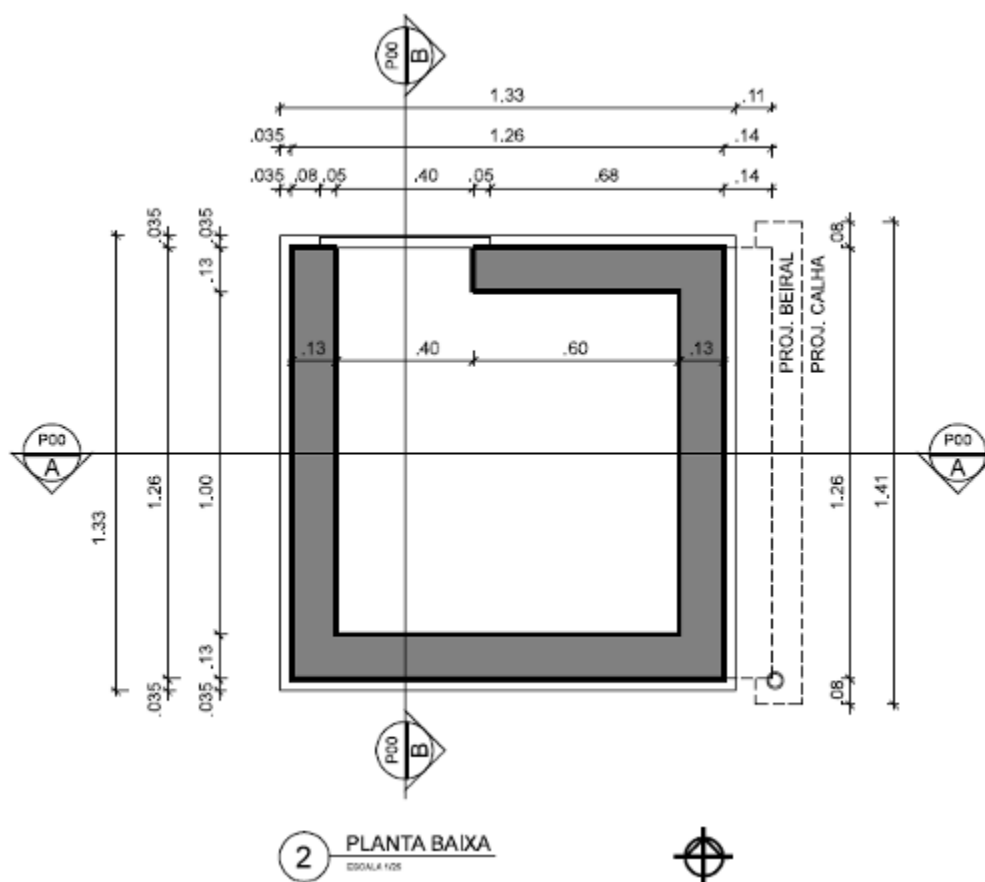


Figura 50: Planta baixa do protótipo, com porta de acesso lateral em madeira.
Fonte: Acervo Próprio.

Os 5 (cinco) protótipos foram construídos com paredes de tijolos cerâmicos (8 furos), revestidas em ambos os lados com reboco e pintadas em cor branca. A cobertura dos protótipos é em laje pré-fabricada convencional, também revestida com reboco em ambos os lados e pintadas em cor branca. Todos possuem a mesma orientação solar, tamanho da abertura, dimensões, composição dos elementos construtivos, sendo o único diferencial entre eles o material disposto sobre a laje. Em representação na Figura 51 pode-se observar sobre a laje os blocos TEVA.

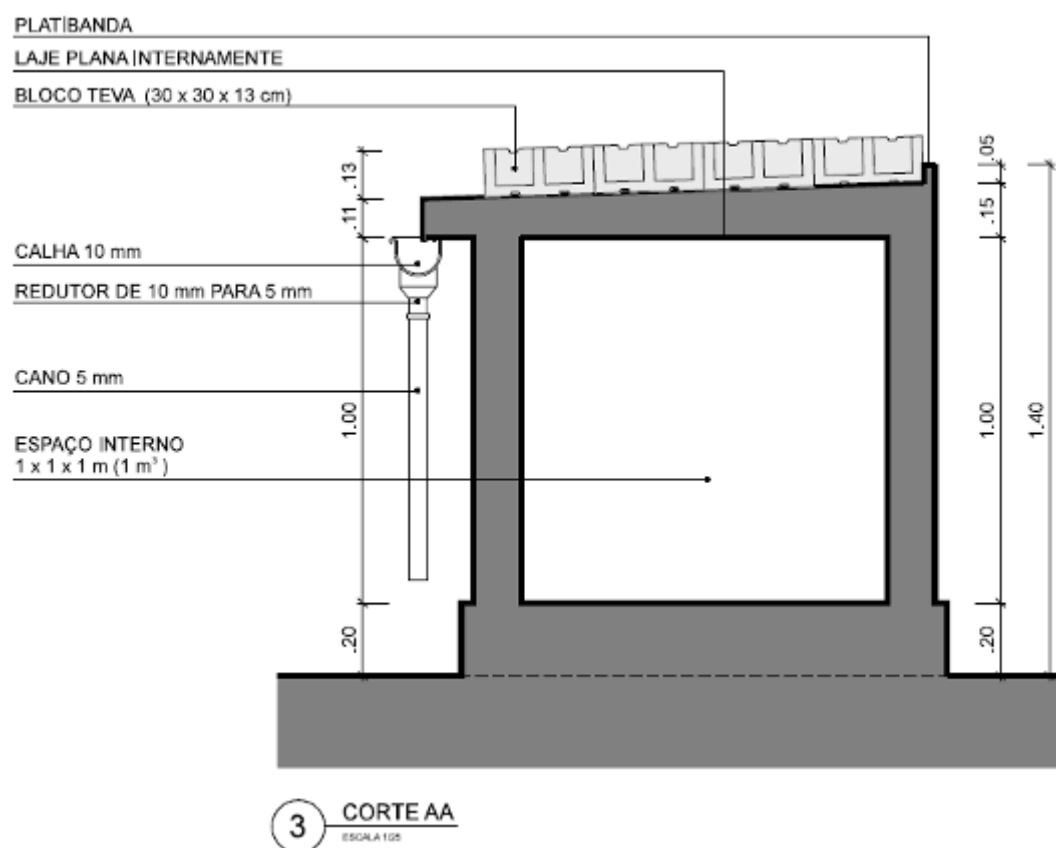


Figura 51: Corte AA do protótipo com o telhado verde com bloco TEVA.
Fonte: Acervo Próprio.

Depois de definido o projeto dos protótipos, e as especificações de cada material a ser utilizado, partiu-se para a execução, conforme se vê no memorial fotográfico (Figura 52).



Figura 52: Memorial fotográfico da execução dos protótipos.
Fonte: Acervo Próprio.

A laje plana pré-moldada dos protótipos possui 3% de declividade na parte superior (externa), tendo uma pequena platibanda de 5 cm de altura nas três laterais, e um único beiral na extremidade mais baixa, de modo a encaminhar a água da chuva, para as calhas instaladas nesse local.

A abertura (pequena porta) dos protótipos foi projetada para a face voltada para Norte, a fim de protegê-la da incidência solar direta e da chuva. Ela possui dimensões iguais a 1 m de altura, por 0,4 m de largura, de modo a permitir o acesso da pesquisadora durante a instrumentação do ambiente interior ao protótipo. As portas que vedam essa abertura durante os ensaios são feitas em madeira, pintadas na cor branca, e internamente, na posição de encaixe, são revestidas com EVA, para garantir uma melhor vedação entre a porta e a parede. Externamente, nas portas há um sistema de travamento simples (Figura 53). Elas possuem ainda uma abertura circular igual a 3 cm de diâmetro por onde passam os cabos dos termopares.

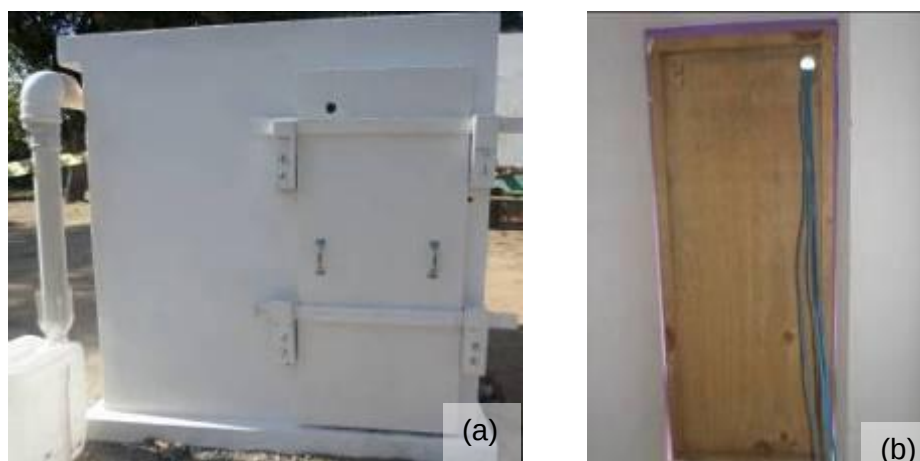


Figura 53: (a) Sistema de travamento externo da porta; (b) Vista interna do protótipo com a porta fechada, com a borda em EVA utilizada para vedação internamente.

Fonte: Acervo Próprio.

A distância de 2,7 m entre os protótipos foi definida de modo que um não fizesse sombra sobre outro. Contudo, verificou-se que o entorno ainda gera algum sombreamento ao amanhecer e ao entardecer. O primeiro sombreamento ocorre nos protótipos 01 e 02 antes das 8 h da manhã, causado por uma árvore de grande porte (jaqueira), localizada a 18,8 m de distância do protótipo 01. Esses mesmos protótipos ao final da tarde são os primeiros a deixar de receber incidência solar direta, entre 16:30 h e 17:00 h, conforme se vê na Figura 54.



Figura 54: Vista aérea das sombras projetadas nos protótipos executados para a pesquisa. (a) Sombreamento no início da manhã; (b) Sombreamento no final da tarde.
Fonte: Acervo Próprio.

Calibração dos protótipos

Diante da constatação do sombreamento, antes de instalar os diferentes tipos de coberturas, foi feita uma medição com Hobos, a fim de se aferir a uniformização dos protótipos com relação às medições térmicas da temperatura do ar interno. O resultado dessa aferição pode ser visto no Gráfico 04, com 24 horas de duração das medições, que se iniciaram às 14 horas do dia 20 de dezembro de 2014, seguindo até às 14h do dia seguinte. Apesar dos protótipos terem sido instrumentados na manhã do dia 20, descartaram-se as primeiras horas de medições.

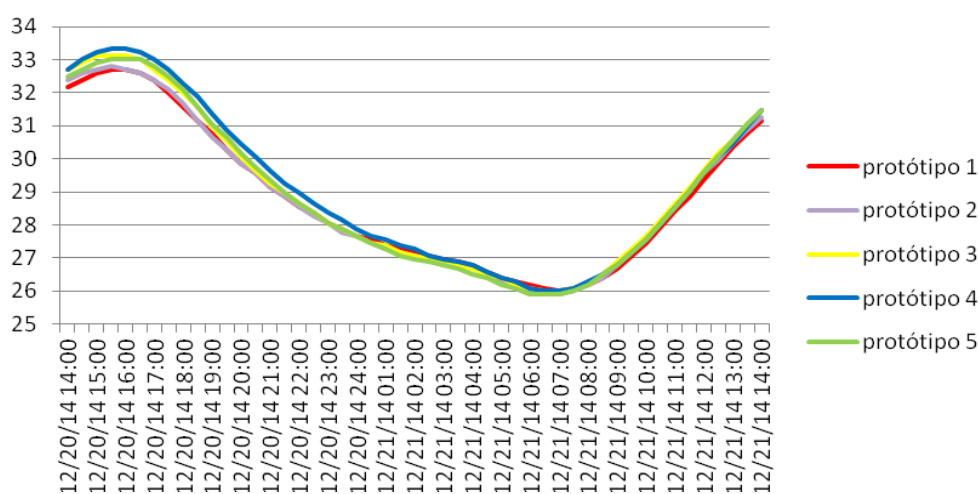


Gráfico 04: Curva de calibração dos protótipos, antes de iniciar as medições.
Fonte: Acervo Próprio.

Como se pode ver, o sombreamento pela manhã nos protótipos 01 e 02 não gerou discrepâncias nas medições. O que está perceptível é uma pequena variação, apenas ao final da tarde, onde os protótipos 01 e 02 estão mais abaixo e os 03 e 05 um pouco mais acima, e o protótipo 04, sendo o mais elevado de todos. Contudo, deve-se destacar aqui que essa pequena variação (que chega próximo dos 0,5 °C) foi considerada no planejamento das medições comparativas.

Instalação das coberturas e telhados nos protótipos

Com os cinco protótipos concluídos e após as 24 horas da calibração fez-se a instalação dos diferentes tipos de coberturas, ainda no dia 21/12/2014, conforme se vê nas figuras a seguir.

Protótipo 01- Cobertura com Laje Exposta



Figura 55: Protótipo 01 com laje exposta (LajExp)
Fonte: Acervo Próprio.

O protótipo 01 teve a sua cobertura correspondendo à laje sem nenhuma proteção adicional sobre ela, por isso, é denominada como laje exposta, simulando uma laje impermeabilizada com membrana acrílica.

Protótipo 02- Cobertura com Telhas Cerâmicas



Figura 56: Protótipo 02 com telha cerâmica sobre a laje (T.Cera)
Fonte: Acervo Próprio.

O protótipo 02 foi coberto com telhas cerâmicas diretamente sobre a laje, sem estrutura de suporte adicional.

Protótipo 03- Cobertura com Telhas de fibrocimento



Figura 57: Protótipo 03 com telha de fibrocimento sobre a laje (T.Fibroc)
Fonte: Acervo Próprio.

O protótipo 03 corresponde àquela cobertura com telhas de fibrocimento diretamente sobre a laje. Nesse caso, foram utilizadas apenas 3 (três) telhas de fibrocimento para cobrir a área, havendo pequena sobreposição nos pontos de encontro entre as telhas.

Protótipo 04- Cobertura com telhado verde com blocos de concreto



Figura 58: Protótipo 04 com telhado verde com blocos de concreto (TVconcr)
Fonte: Acervo Próprio.

O protótipo 04 corresponde àquela cobertura em telhado verde com blocos de concreto vegetados, sendo que esses blocos possuem a mesma geometria dos blocos TEVA. Destaca-se ainda que esses blocos, por serem de concreto, foram moldados apenas com agregados naturais (areia e cascalho), com a mesma dosagem utilizada na moldagem do bloco TEVA.

Protótipo 05- Cobertura com telhado verde com blocos TEVA



Figura 59: Protótipo 05 com telhado verde de blocos TEVA (TEVA)
Fonte: Acervo Próprio.

O protótipo 05 corresponde àquela cobertura em telhado verde com blocos TEVA vegetados, sendo o projeto desses blocos proposto e desenvolvido nessa pesquisa.

Ambos os telhados verdes, instalados nos protótipos 04 e 05, foram apoiados sobre lajes impermeabilizadas, porém eles não possuem barreira anti-raiz, uma vez que, para esse estudo, considerou-se dispensável.

As coberturas não permaneceram fixas obedecendo à mesma ordem de numeração dos protótipos por todas as etapas de medições. Por exemplo, durante as medições do comportamento térmico em comparativo por pares de coberturas diferentes, os pares de protótipos selecionados foram os protótipos 1 e 2 ou 4 e 5. A escolha baseou-se em seus comportamentos térmicos similares verificados na calibração, de modo a não haver variações que pudessem interferir nos resultados. Sendo assim, para promover os comparativos dos diferentes tipos de coberturas, os telhados eram trocadas semanalmente.

As medições visando à avaliação do comportamento individual foram feitas nos protótipos 01, 04 e 05, o que também promoveu um remanejamento de coberturas semanalmente, isto porque, a escolha era baseada no menor esforço, onde se contrapesava se era mais fácil deslocar a casa de madeira (bastante pesada, necessitando de duas pessoas para mudar de lugar) e sua fixação, ou fazer uma permuta de cobertura. A exemplo, tratando-se do telhado verde de concreto a dificuldade em deslocar os blocos de concreto vegetados (bem mais pesados) superava o esforço de deslocar as instalações de proteção dos equipamentos (mantidos no interior de uma caixa de madeira vazada) e os cabos dos termopares, desta forma, foi feita a escolha de permanecer com a cobertura fixa, deslocando a caixa de madeira que abrigava os equipamentos para próximo ao protótipo 04.

Aferição da massa do sistema por metro quadrado

Para se aferir a carga do telhado verde que foi disposta sobre a laje, tanto na condição do sistema seco, quanto saturado, foi considerada a quantidade de 12 unidades de blocos na geometria TEVA (Figura 60) para compor o metro quadrado (m^2) do telhado verde, embora exceda um pouco, mas fica aqui considerada como uma margem de extrapolação.

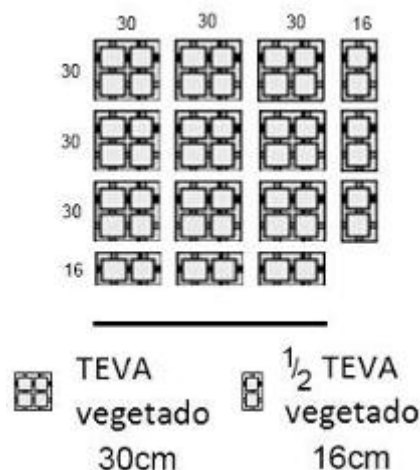


Figura 60: Composição do m² para aferição da massa do sistema vegetado (seco e saturado).
Fonte: Acervo Pessoal.

No esquema ilustrativo, os blocos apresentam-se espaçados uns dos outros apenas para melhor identificação da representação dos pré-moldados, contudo, para efeitos de cálculo, foram considerados blocos lado a lado, conforme em instalação real. O mesmo procedimento se aplicou ao sistema de telhado verde modular com blocos de concreto, a fim de comparação.

Para a estimativa média da massa de uma unidade do bloco vegetado se procedeu da seguinte forma: quatro (4) amostras do bloco TEVA e quatro amostras do bloco de concreto na geometria TEVA, vegetados, ambos dos telhados verdes aplicados aos protótipos no NUPPA, ou seja, com o mesmo padrão de vegetação, foram levados a balança para a aferição das massas. Depois disso, foi retirada a média das massas dos quatro blocos TEVA e depois a média da massa dos blocos de concreto. Em seguida, os blocos foram encharcados com água através de uma rega com mangueira por cinco (5) minutos, tempo suficiente para os blocos começarem a drenar o excesso. Depois disso, os blocos novamente foram levados à balança para a aferição das novas massas com o substrato saturado. Novamente retirada às médias dos blocos TEVA e dos blocos de concreto.

Com essas médias de bloco TEVA vegetado em estado seco e saturado, bem como os blocos de concreto, foram feitas as estimativas do metro quadrado através do produto entre 12 unidades de blocos e massa correspondente da média dos diferentes blocos (TEVA e concreto) em diferentes estados (vegetado seco e vegetado saturado).

4.2.8. Planejamento das medições térmicas nos protótipos com diferentes tipos de coberturas

Os protótipos com diferentes tipos de coberturas foram avaliados individualmente e comparativamente em pares com relação ao comportamento térmico. No total foram nove (9) semanas de medições, sendo cinco semanas destinadas às medições do comportamento individual de cada protótipo com diferente cobertura, e mais quatro semanas destinadas as medições comparativas em pares, considerando sempre o telhado verde com blocos TEVA, formando par com os outros quatro tipos de coberturas.

A instrumentação e os procedimentos metodológicos para a análise do comportamento térmico dos protótipos teve como referência Lamberts et. al. (2010), a partir do estudo que consta na publicação intitulada: Casa Eficiente - Bioclimatologia e desempenho térmico. Aqui, as medições foram programadas sempre com a porta de madeira fechada em todos os protótipos, de modo a permitir as mesmas condições e favorecer a condição térmica mais estável, ou seja, o mais próximo possível do regime permanente.

Acredita-se que as renovações de ar foram mínimas, praticamente apenas por infiltração pela pequena abertura circular, por onde passam os cabos dos termopares. Nesse caso, a velocidade do ar foi considerada insignificante, não interferindo no comportamento térmico do ambiente interno dos protótipos durante as medições.

Período da coleta de dados

Os dados térmicos foram coletados entre os dias 22 de dezembro de 2014 e 21 de fevereiro de 2015, ou seja, no período de verão para a região das medições. A seleção desses meses para análise considera o fato de estarem inseridos no período mais quente do ano (Dezembro a Março), conforme INMET (Gráfico 05), quando se atingem as temperaturas máximas, e conseqüentemente, são mais frequentes os dias típicos de verão.

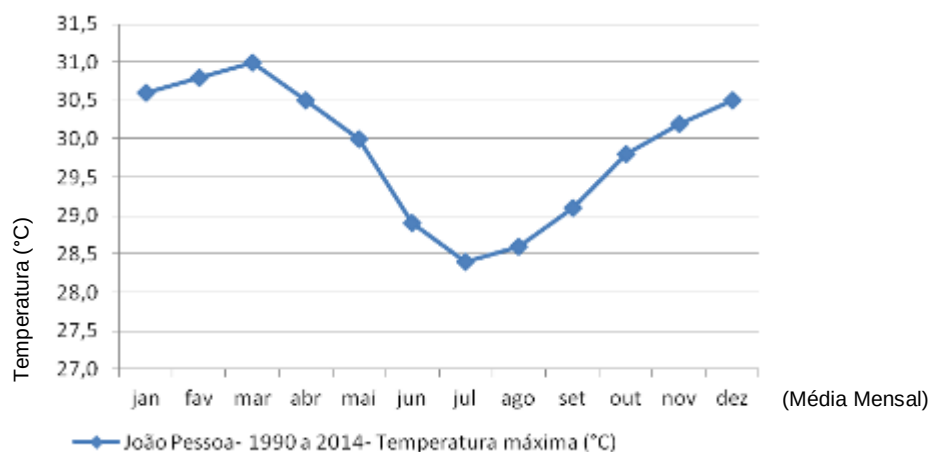


Gráfico 05: Média da temperatura máxima ao mês dos últimos 24 anos.
Fonte: Dados da Rede do INMET

Conforme se nota no gráfico acima, os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro são quentes, e foram os meses nos quais foi feita a coleta de dados.

Equipamentos e dispositivos de medição

Nos protótipos foram instalados dispositivos para um efetivo monitoramento térmico, cujos dados foram armazenados e coletados periodicamente. Em ambos os tipos de medições, individuais e comparativas em pares de sistemas de coberturas diferentes, fez-se o uso dos mesmos equipamentos e dispositivos. Cabe ressaltar que a temperatura externa aos protótipos também foi medida durante todo o período de coleta de dados. A seguir são descritos os equipamentos e dispositivos utilizados:

Externamente aos protótipos

Durante o período das medições nos protótipos foi utilizada uma estação meteorológica, Davis wireless Vantage Pro2™, para registros da temperatura do ar externa aos protótipos, bem como da umidade relativa do ar e dados sobre pluviosidade. A estação foi calibrada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-NE), em Natal- RN, ocorrida no dia 19 de dezembro de 2014, na semana que antecedeu o início das medições (Figura 61).

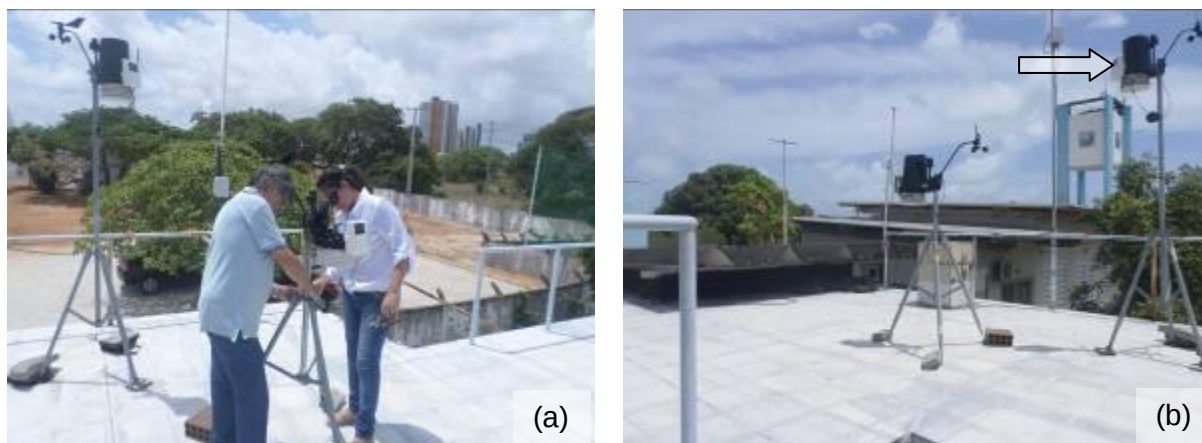


Figura 61: (a) Na cobertura das instalações do INPE- RN durante a calibração da Davis utilizada nas medições; (b) Davis parâmetro para a calibração em destaque.
Fonte: Acervo Próprio.

A Davis com o tripé mais alto (Figura 61) foi utilizada como estação parâmetro para a calibração da Davis utilizada nesta pesquisa. Depois de calibrada, estação foi instalada próximo aos protótipos, conforme orientação do INPE, com o painel solar voltado para o sul (Figura 62), objetivando a maior captação solar ao longo do dia.



Figura 62: (a) Davis instalada na área de estudo; (b) Console, registrador de dados.
Fonte: Acervo Próprio.

A Davis foi instalada a 7,40 m do protótipo 05, correspondendo às seguintes coordenadas: 7°9'58" de latitude Sul e, 34°48'58" de longitude Oeste. A estação foi programada para registrar os dados a cada hora, o seu console wireless ficou alojado no interior da caixa de madeira vazada, junto ao sistema de aquisição dos dados dos termopares e do computador notebook. A posição do console em relação ao tripé com os dispositivos externos ficou à distância média máxima de 23 metros,

o que favorecia uma ótima recepção de dados (sempre a 100%), visto que a distância máxima permitida pelo sistema wireless do equipamento é de 300 metros.

Nos protótipos:

Termopares: os termopares instalados nas superfícies do protótipo (parede, teto e piso) ficaram sempre conectados ao sistema (HBM) de aquisição de dados (DAQ) Quantum X Universal, o qual possui oito canais de recepção configurados para medição de temperatura. Esses equipamentos ficaram abrigados em uma caixa externa de madeira (Figura 63).



Figura 63: Imagem interna da caixa de madeira vazada, confeccionada para proteção dos equipamentos instalados no seu interior.
Fonte: Acervo Próprio.

Os termopares foram dispostos sobre as superfícies de análise, sempre no centro de cada área analisada. Especificamente, destaca-se aqui que o centro da laje do tipo pré-moldada (composta por treliça em concreto, blocos cerâmicos e capa de concreto com quatro (4) cm de espessura) coincide com a treliça, que é a situação mais crítica em termos de condução de temperatura entre as faces externa e interna do teto e, portanto, o local ideal para ser analisado.

Para a instrumentação com os termopares nas superfícies, foram fixados parafusos ganchos para encaixar o isopor e sob esses os sensores termopares. Esse procedimento adotado foi importante para possibilitar que a temperatura captada fosse preferencialmente aquela proveniente do contato direto do termopar

com as superfícies em análise desconsiderando a temperatura do ar nas proximidades. O sistema de aquisição (Quantum X Universal), junto ao software Catman Easy, foi utilizado para registrar os dados de temperatura a cada segundo. Posteriormente, após a coleta dos dados, os mesmos foram sistematizados de modo a ter uma média por hora. Os termopares haviam sido calibrados recentemente no LABEME em outra pesquisa já finalizada.

Como se trata de medições em campo, o sistema de aquisição ficou abrigado no interior de uma caixa de madeira vazada protegido das intempéries. Esse abrigo foi construído a partir de folhas de madeira e caibro (Figura 64 a), pintados com tinta branca para promover uma impermeabilização. A caixa ficou apoiada em pés de madeira, de modo a garantir uma distância em relação ao solo, e sobre ela (caixa) foram colocadas uma placa de isopor e algumas telhas cerâmicas, gerando beirais para proteger toda a estrutura da chuva (Figura 64 b).



Figura 64: (a) Construção da casa de madeira (abrigo); (b) casa de madeira instalada junto ao protótipo.

Fonte: Acervo Próprio.

Como uma proteção adicional frente à água de chuva, também se procurou envolver a caixa de madeira com um revestimento em tecido TNT (cor azul) que se estendeu pelas laterais com ajuda do peso de tubos de banners (reaproveitamento de banners antigos) colados no limite inferior. As sobras de tecidos resultantes nas extremidades serviram para fixar uma lateral à outra, de modo a melhorar a estabilidade da proteção. Essa proteção adicional foi importante, pelo fato da caixa de madeira ser vazada com perfurações circulares com dois (2) cm de diâmetro em suas laterais, as quais foram feitas para permitir ventilação no interior do abrigo, visto que os equipamentos liberavam calor durante o funcionamento. No piso da

caixa de madeira (abrigo) também existiam perfurações por onde saiam os cabos dos termopares, o que também auxiliou, de algum modo, a ventilação no interior da caixa.

Hobos- São dataloggers da marca Onset que armazenam dados de temperatura e umidade (Figura 65). Eles foram colocados no centro geométrico do interior de cada protótipo a fim de se registrar a temperatura do ar no local. Foram programados para registrar dados a cada hora e permaneceram coletando dados durante todo o período dos ensaios. A calibração foi feita pelo Departamento de Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba (Campus IV).



Figura 65: Dispositivo (Hobo) utilizado na coleta de dados de temperatura do ar interno aos protótipos.

Fonte: Acervo Próprio.

Equipamento extra

Uma ilustração térmica das diferentes temperaturas superficiais entre os blocos de concreto e o TEVA foi realizada com o uso de uma câmera termográfica, da marca FLIR modelo B400 (Figura 66), que registra imagens térmicas.



Figura 66: Câmera termográfica.
Fonte: FLIR (2014)

Instrumentação para as medições individuais nos protótipos

Para análise do comportamento individual térmico de cada protótipo, com diferentes tipos de coberturas, procedeu-se da seguinte maneira: enquanto se coletavam os dados externos, a partir da estação Davis, e os dados internos (temperatura do ar) a partir dos Hobos posicionados no centro geométrico do volume interno de cada protótipo, se coletavam os dados de temperaturas superficiais com os termopares localizados nos seguintes pontos:

Termopar nº 01 – em contato com o centro geométrico da superfície da parede externa do protótipo voltada para a orientação oeste;

Termopar nº 02 – em contato com o centro geométrico (ou próximo para os telhados verdes) sobre a última camada da cobertura em análise (sobre as telhas, sobre o solo no interior do bloco ou diretamente sobre a laje no protótipo com a laje exposta);

Termopar nº 03 – utilizado apenas para medição nos dois telhados verdes em análise, com o termopar posicionado próximo ao centro geométrico da cobertura, localizado na camada entre o substrato (terra vegetal) e o fundo no interior do bloco (TEVA ou Concreto).

Termopar nº 04 - utilizado também para medição nos dois telhados verdes em análise, com o termopar posicionado próximo ao centro geométrico da cobertura, localizado na camada entre o bloco (TEVA ou Concreto) e a laje. Quando se fez a coleta de dados para a cobertura com telhas cerâmicas e com telhas de fibrocimento, o termopar ficou localizado no centro geométrico da cobertura sob as telhas.

Termopar nº 05 – utilizado no interior de todos os protótipos, sendo o termopar posicionado no centro geométrico do piso;

Termopar nº 06 - utilizado no interior de todos os protótipos, sendo o termopar posicionado no centro geométrico do teto em contato com a laje;

Termopar nº 07⁵ - utilizado em todos os protótipos centro geométrico do volume.

Termopar nº 08 - em contato com o centro geométrico da superfície da parede interna do protótipo voltada para a orientação oeste.

⁵ Os dados coletados pelo termopar 07 era uma garantia, para caso os Hobos por algum motivo parassem de registrar, haveria, ainda assim, outro banco de dados com temperaturas do ar interno gerado pelo canal de recepção 07.

As imagens a seguir ilustram a descrição dos posicionamentos dos termopares:





Figura 67: Posição dos termopares na cobertura.
Fonte: Acervo Próprio.

Conforme se percebe nas imagens, os termopares posicionados sobre as coberturas analisadas também foram fixados com auxílio de pequenas placas de isopor, utilizando a fita crepe para ajudar nessa fixação. No caso das coberturas com telhado verde não foram utilizadas as placas de isopor, uma vez que se considerou que o sombreamento proveniente da própria vegetação já serve como uma proteção contra a incidência solar direta sobre o termopar posicionado na camada superior da terra vegetal (substrato).

O bloco vegetado escolhido para a instalação do termopar foi o segundo bloco da segunda fila (Figura 68), o objetivo foi se aproximar ao máximo do centro geométrico.

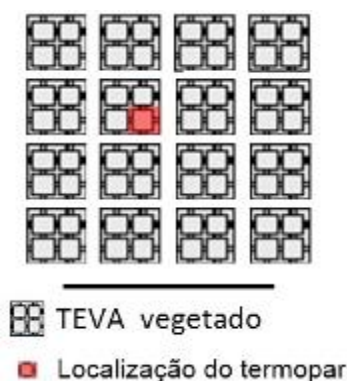


Figura 68: Posição do termopar nos blocos de telhado verde
Fonte: Acervo próprio

Esta foi a localização para análise das demais camadas dos telhados verdes, ou seja, sob o solo, e sob o bloco, tanto no protótipo TEVA, quanto no protótipo de concreto.

Programação das medições individuais nos protótipos

Nas medições individuais nos protótipos, considerando cada sistema de cobertura, foi adotado realizá-las durante seis (6) dias ininterruptamente, conforme a seguinte programação:

Laje exposta	Semana 01 (22/12/14 a 28/12/14)
Telhado verde com bloco de concreto	Semana 06 (26/01/15 a 31/01/15)
Telhado verde com bloco TEVA	Semana 07 (02/02/15 a 07/02/15)
Cobertura com telha de fibrocimento	Semana 08 (09/02/15 a 14/02/15)
Cobertura com telha cerâmica	Semana 09 (16/02/15 a 21/02/15)

Instrumentação para as medições comparativas nos protótipos

Para análise do comportamento térmico comparativo entre pares de protótipos, com diferentes tipos de coberturas, foram utilizados 4 (quatro) termopares sendo dois deles por protótipo em função da compatibilidade entre tamanho dos cabos dos termopares e a distância entre os protótipos e a casa de madeira vazada, que abrigava o sistema de aquisição. Durante as medições procedeu-se da seguinte maneira: enquanto se coletavam os dados externos, a partir da estação Davis, e os dados internos (temperatura e umidade do ar), a partir dos Hobos, posicionados no centro geométrico do volume interno de cada protótipo, se coletavam os dados de temperaturas superficiais, localizados nos seguintes pontos:

Termopar nº 05 – face interna da laje de cobertura do primeiro protótipo (Figura 69), que continha o telhado verde com blocos TEVA, considerando o centro geométrico dessa superfície;

Termopar nº 06 – face externa do telhado verde com blocos TEVA na cobertura do primeiro protótipo, considerando o termopar posicionado próximo ao seu centro geométrico, localizado sobre a camada do substrato (terra vegetal);

Termopar nº 07 - face interna da laje de cobertura do segundo protótipo, que continha o sistema de cobertura a ser comparado (LajExp, T.Cera, T.Fibroc ou TVconcr), considerando o centro geométrico dessa superfície;

Termopar nº 08 - face externa da cobertura do segundo protótipo, que continha o sistema de cobertura a ser comparado (LajExp, T.Cera, T.Fibroc ou TVconcr), considerando o centro geométrico dessa superfície. Nos casos dos sistemas com telha cerâmica e telha fibrocimento, o termopar foi posicionado sobre o respectivo tipo de telha. Para o telhado verde com bloco de concreto, similarmente como ocorreu com o telhado verde com blocos TEVA, a posição do termopar foi sobre a camada do substrato (terra vegetal).



Figura 69: Termopar na face interna do teto da laje.
Fonte: Acervo Próprio.

Durante essa etapa das medições, quatro termopares ficavam inativos, porque eles possuíam cabos mais curtos, impossibilitando o seu uso, uma vez que a casa de madeira (que continha o sistema de aquisição) foi posicionada entre os dois protótipos comparados, obedecendo as seguintes distâncias: 95 centímetros e 77 centímetros, respectivamente, a partir das faces alinhadas com os dois protótipos, considerando direções perpendiculares (Figura 70). Destaca-se aqui que esse abrigo de equipamentos em madeira não fazia sombra em nenhum horário do dia sobre os protótipos.

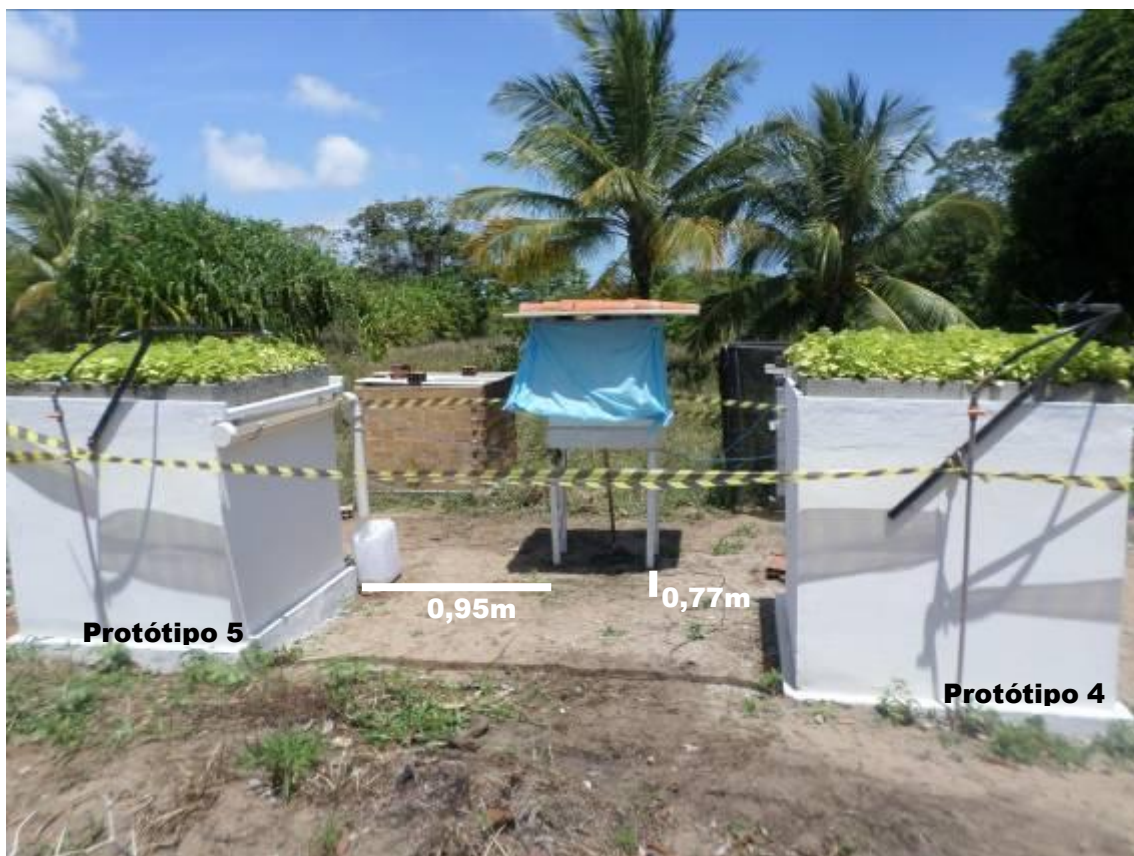


Figura 70: Posição da casa de madeira, quando em análise comparativa. Semana 05.
Fonte: Acervo Próprio.

Nas medições comparativas, considerando os pares de sistemas de coberturas dos protótipos em análise, foi adotado também realizá-las durante seis (6) dias ininterruptamente, conforme a seguinte programação:

Sistemas de coberturas comparados

Telhado verde (blocos EVA) x Telha Cerâmica
 Telhado verde (blocos EVA) x Telha fibrocimento
 Telhado verde (blocos EVA) x Laje Exposta
 Telhado verde (blocos EVA) x Telhado Verde blocos de Concreto

Período de medições

Semana 2 (29/12/14 a 03/01/15)
 Semana 3 (05/01/15 a 10/01/15)
 Semana 4 (12/01/15 a 17/01/15)
 Semana 5 (19/01/15 a 24/01/15)

4.2.9. Planejamento das medições da água pluvial drenada pelos diferentes tipos de coberturas

No procedimento das medições da água pluvial drenada pelos diferentes tipos de coberturas sobre os protótipos foi instalado um sistema de coleta de água, com calha, tubos, conexões em PVC, que direcionam a água para coletores com escala definida para o monitoramento diário, conforme se vê na Figura 71. O período de

monitoramento, feito diariamente, com registro dos valores drenados, através das coberturas, foi entre os dias 17 de janeiro de 2014 e 21 de fevereiro de 2015. Nesse período, foram identificados 10 dias que teve ocorrência de chuva no local.



Figura 71: Sistema de coleta da água pluvial.
Fonte: Acervo Próprio.

O monitoramento diário da quantidade de água drenada pelas diferentes coberturas tem como referência a metodologia aplicada nos estudos de Baldessar (2012), na qual foram utilizados recipientes (coletores) iguais para fins comparativos. Nesse caso, nos cinco (5) recipientes (um para cada protótipo) foram desenhadas escalas com precisão de 0,5 litros. O procedimento para a marcação da escala foi o seguinte: com o uso de uma proveta, a cada meio litro colocado no recipiente era feita uma marcação (Figura 72 a). A capacidade total de cada recipiente foi de 23 litros (Figura 72 b).

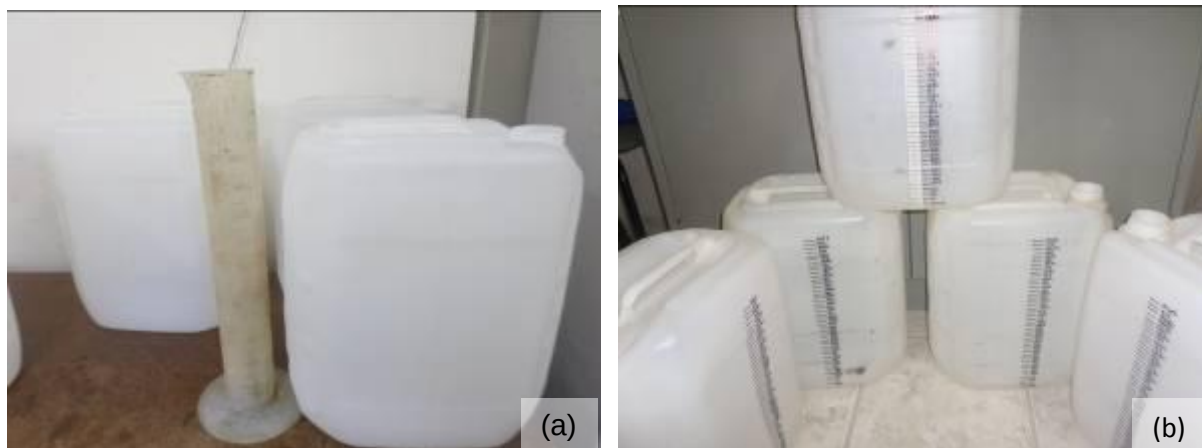


Figura 72: Marcação da escala nos coletores utilizados para acumular a água da chuva: (a) Antes da marcação da escala; (b) após a marcação da escala.
Fonte: Acervo Próprio.

Como o diâmetro do tubo de descida, a partir da calha, era maior do que o diâmetro do recipiente utilizou-se uma peça funil para a realização desse encaixe, de uma maneira mais segura, para não se ter perda de água para fora do recipiente durante a coleta da água drenada da cobertura. Tais funis foram feitos com uso de garrafas pet vazias, produzindo um corte em sua parte média e utilizando apenas a parte que contém a abertura da garrafa, sendo ela posicionada para baixo. Essa parte a ser encaixada no coletor (Figura 73 a) foi lixada para gerar rugosidades e facilitar o processo de aderência entre os materiais com uso de cola quente, nesse caso entre os plásticos do funil pet e do coletor. Dessa forma, foram compatibilizados os diâmetros do tubo de descida de água, a partir da calha, com os dos coletores utilizados (Figura 73 b).

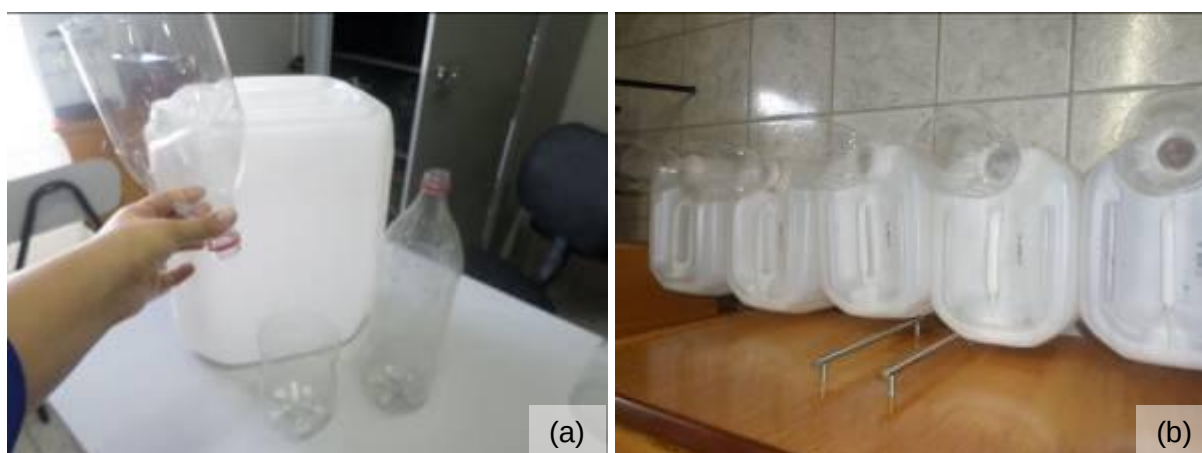


Figura 73: (a) Funil adaptador; (b) todos os recipientes com os funis instalados.
Fonte: Acervo Próprio.

4.2.10. Sistematização e procedimento para análise de dados

Do comportamento térmico- individual e comparativo

As medições realizadas, sejam elas comparativas ou individuais, para análise do comportamento térmico de diferentes sistemas de coberturas foram feitas por seis dias consecutivos.

Os dados dos sensores termopares foram sempre descarregados do sistema de aquisição diariamente, por dois motivos principais:

- 1- De forma preventiva, pois caso houvesse alguma queda de energia no período de medição, certamente se perderia tempo na coleta dos dados, sendo necessário salvá-los até o momento em que foram registrados, e se reiniciar o processo.
- 2- Como os termopares estão programados para registrar leituras a cada 1 (um) segundo, o banco de dados além das 24 horas ficaria demasiado extenso para ser tratado.

Os dados dos termopares depois de descarregados eram tratados em planilha Excel, de modo a calcular a média das temperaturas por hora.

Com relação aos Hobos, os registros dos dados eram feitos a cada hora, sendo eles descarregados semanalmente. Logo após descarregar os dados da semana, os Hobos eram reprogramados e os protótipos novamente fechados. O mesmo se aplica aos dados da estação DAVIS, cujos registros se deram a cada hora, e os dados foram descarregados semanalmente. Deve-se lembrar de que a estação Davis não parou de realizar as medições durante o período (dia 21 de Dezembro até o dia 21 de Fevereiro), sendo assim, eram descarregados os dados apenas dos dias de interesse.

Para análise foram criadas planilhas (tabelas) dos dados coletados e tratados semanalmente, sendo elas: planilha das temperaturas e umidade do ar externo e precipitação pluvial (dados da Davis); planilha das temperaturas do ar interno dos protótipos com diferentes tipos de coberturas (dados dos Hobos), e planilha das temperaturas superficiais internas e externas do (ou dos) protótipo (s) analisado (s), a depender se foi uma análise individual ou comparativa.

A partir dos 6 (seis) dias de registros pela estação Davis, foi identificado e selecionado o dia típico de verão para análise do comportamento térmico individual

e comparativo. A identificação do dia típico de verão foi feita em função da temperatura típica, com base na NBR 15575-1/2013, que apresenta para João Pessoa-PB o valor de 30,9°C, levando-se em conta ainda, conforme a orientação da mesma norma, que o dia selecionado tenha sido precedido de pelo menos outro dia com características semelhantes.

Desde modo, depois da seleção do dia típico, partia-se para a análise (do dia típico) das temperaturas superficiais do (ou dos) protótipo (s) analisado (s), cruzando essas informações com a planilha da temperatura do ar interno também do dia típico analisado.

Além da apresentação desses dados por tabelas foram construídos gráficos, a fim de se visualizar melhor o comportamento térmico individual e comparativo. Para análise individual foram gerados gráficos para a escolha do dia típico, para análise das temperaturas externas, para análise das temperaturas internas, e por fim um gráfico cruzando todas as temperaturas registradas no protótipo analisado.

Para análise comparativa foram gerados gráficos também para a escolha do dia escolha do dia típico, para análise das temperaturas externas, para análise das temperaturas internas, e por fim um gráfico cruzando todas as temperaturas registradas nos protótipos analisados (comparados).

Além disso, uma análise (de 9 semanas) comparativa de gráficos das temperaturas do ar interno dos protótipos com diferentes tipos de coberturas foi feita de modo a se ter uma análise mais longa do comportamento do ar interno aos protótipos.

Em geral, dois parâmetros foram utilizados para discutir o comportamento térmico dos protótipos com diferentes tipos de coberturas, quais sejam os registros dos valores das temperaturas das várias camadas superficiais dos mesmos e a temperatura interna do ar. Além disso, um cruzamento de dados comparando as temperaturas externas e internas aos protótipos foram feitas de modo a entender melhor o comportamento térmico dos diferentes tipos de coberturas.

Nas análises comparativas simultâneas, especificamente, puderam ser feitas considerações das variações de temperaturas, na comparação entre os registros correspondentes aos diferentes tipos de coberturas, conforme as camadas onde foram posicionados os sensores termopares e Hobos.

A partir dos registros e da variação das temperaturas superficiais na parede, no teto e no piso dos protótipos discutiu-se também sobre a contribuição de calor

advindo de cada elemento da construção, de modo a identificar melhor a parcela de redução, ou aumento da carga térmica interna aos protótipos, advindos de diferentes tipos de coberturas. Nesse processo de análise também se procurou entender a repercussão dos fenômenos no aumento ou diminuição na temperatura do ar interna aos protótipos, captada pelos Hobos.

Do comparativo da água drenada por diferentes tipos de coberturas

A partir dos registros da água drenada por diferentes tipos de coberturas pelos coletores (em litros) foi possível identificar os dias de chuva, bem como foi interessante confrontá-los com os dados pluviométricos (em milímetros) da estação Davis.

Com os dados pluviométricos registrados pela estação Davis foi utilizado o procedimento de chuva acumulada em 24 horas, visto que em muitas situações, como era de esperar, a chuva era intermitente, sendo que a coleta dos dados só se dava uma vez ao dia, especificamente às 7 horas da manhã.

Os registros dos valores da água escoada dos telhados dos protótipos com diferentes coberturas foram sistematizados em uma planilha Excel, e um gráfico gerado dos dez (10) eventos registrados foram analisados.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. Caracterização do bloco TEVA

Os módulos produzidos com concreto com agregados de resíduos de EVA foram inicialmente moldados em forma de madeira, numa fase denominada de testes em protótipo. Neste primeiro momento, a própria geometria do bloco estava sendo testada, além do que a busca se dava pela definição da dosagem que permitisse adequação entre resistência mecânica e leveza do pré-moldado. Para as moldagens experimentais foi preciso caracterizar os materiais (agregados) a serem usados nas dosagens a serem testadas.

5.1.1. Caracterização dos agregados (areia e EVA)

Os resultados dos ensaios de massa unitária e de granulometria para os dois agregados utilizados na moldagem dos blocos TEVA forneceu informações importantes. Por exemplo, a massa unitária do agregado EVA é fundamental para as devidas correções das dosagens do concreto EVA, uma vez que ela (massa unitária) é específica para cada lote de resíduo que se esteja utilizando, conforme apresentado nos estudos de Galert (1998) e Bezerra (2002).

Ensaio de massa unitária

Seguindo os procedimentos da norma da ABNT (NBR NM 45), os resultados referentes aos ensaios de massa unitária, para os agregados de EVA tiveram pouca variação, entre os valores iguais a 97,2 kg/m³ e 112,5 kg/m³.

Para a areia foram feitos dois ensaios de massa unitária, em momentos diferentes da pesquisa, o que também resultou em pouca variação nos resultados (1.584,72 kg/m³ e 1.525,46 kg/m³).

Ensaio de granulometria

Determinou-se a dimensão máxima característica (abertura nominal na qual o agregado apresenta uma porcentagem de massa retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5%) para o agregado de EVA como sendo igual a 6,3 (APÊNDICE B).

Nos ensaios de granulometria com a areia a dimensão máxima característica, em ambos os ensaios, foi igual a 1,18 mm (APÊNDICE C). Além disso, o teor maior do que 50% do material retido nas malhas 0,3 e 0,6 sugerem que há uma quantidade de material fino adequado para a moldagem de pré-moldados com melhor acabamento superficial.

5.1.2. Moldagens experimentais

Moldagens do bloco TEVA com molde de madeira

Com o molde em madeira, foram realizadas oito moldagens experimentais para o bloco TEVA. As moldagens iniciais foram com dosagens que têm referência nos estudos de Bezerra (2002) para esse material (concreto EVA), ou seja, dosagem 1:5 (cimento: agregados) sendo 40% areia e 60% EVA, com uma relação água/cimento igual a 0,38. Nessa etapa, antes de obter sucesso na moldagem dos primeiros blocos TEVA se percebeu que havia necessidade de se alterar o projeto do bloco e do molde, aumentando a espessura das paredes do pré-moldado.

De fato, entre os problemas enfrentados durante as tentativas iniciais de moldagem dos blocos TEVA, observou-se que as paredes projetadas, com apenas dois (2) cm de espessura, eram demasiadamente delgadas e fragilizavam o bloco, ora desmoronando-o parcialmente, ora apresentando rachaduras nas paredes do bloco recém-moldado (Figura 74 a; b e c).



Figura 74: Primeiras moldagens experimentais do bloco TEVA com molde de madeira.
Fonte: Acervo Pessoal

Com isso, passou-se para o devido ajuste no molde para a produção de módulos (blocos TEVA) com espessura de paredes igual a três (3) cm.

Com tais ajustes no molde as dimensões internas dos vazios do bloco TEVA passaram a ser iguais a 13 cm x 13 cm x 10 cm (largura x comprimento x profundidade), conforme se verifica no desenho da Figura 75.

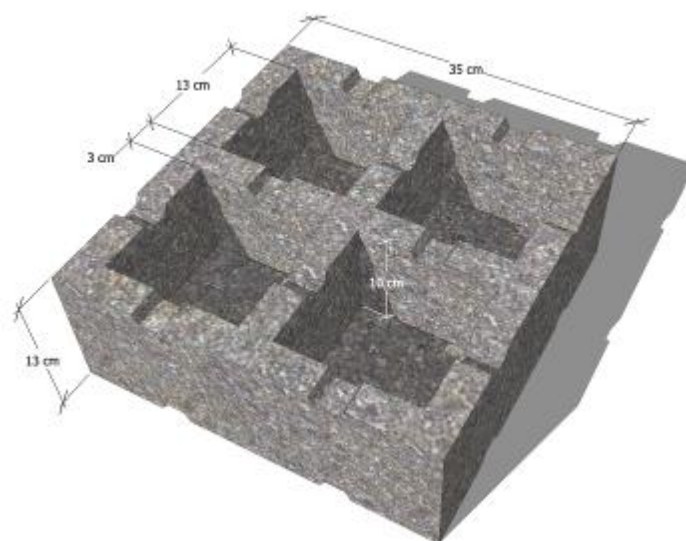


Figura 75: Projeto do bloco TEVA com paredes de 3 cm e novas dimensões para os vazios internos.
Fonte: Acervo Pessoal

Após os ajustes dimensionais no molde, foram feitos novos testes de moldagem dos blocos TEVA, mas persistiu o problema de fragilidade nas paredes, mais precisamente nos seus vértices, conforme se verifica nas imagens da Figura 76.



Figura 76: Moldagens experimentais dos blocos TEVA com paredes de 3 cm, persistindo os problemas de quebras após a desmoldagem.

Fonte: Acervo Pessoal

Na sequência, outra tentativa foi feita quando se optou por fixar o molde em uma mesa vibratória menor, conforme se mostra na Figura 77, mas, procurando garantir um mecanismo flexível de fixação, com parafuso do tipo borboleta, de modo a facilitar o processo tanto durante a moldagem, quanto a desmoldagem por tombamento do molde.



Figura 77: Molde de madeira fixado na mesa vibratória com parafusos do tipo borboleta.

Fonte: Acervo Pessoal

Novas experimentações foram realizadas, porém os resultados continuaram insatisfatórios (Figura 78), o que levou a concluir que o problema estava, de fato, no atrito entre as peças do molde de madeira. Ou seja, entre as peças de madeira que são retiradas durante o processo de desmoldagem do bloco TEVA, não havia a folga necessária para não criar esforços nas suas paredes.



Figura 78: Moldagens experimentais, com persistência de blocos TEVA com paredes quebradas.
Fonte: Acervo Pessoal

Deste modo, fez-se novo ajuste no molde, contemplando uma folga maior entre as peças, e em seguida foi realizado outro teste de moldagem ainda utilizando o mesmo traço (1:5, com 60% de EVA e 40% de areia). Nessa etapa, foi feito também outro ajuste no molde de madeira, adicionando-se uma trava entre duas laterais da peça correspondente à parede + fundo vazado e cada uma das bases escravas (Figura 79 a), utilizadas durante o processo de desmoldagem, de modo a garantir a estabilidade e facilidade de tombamento do conjunto. Finalmente obteve-se sucesso com esses últimos ajustes no molde, e os blocos foram produzidos, sem nenhum problema (Figura 79 b).

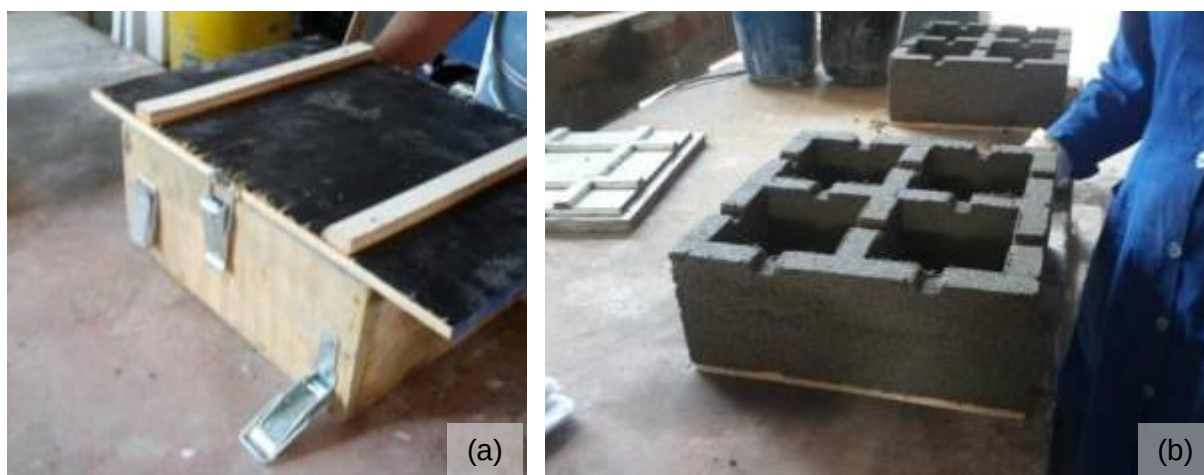


Figura 79: (a) Molde em madeira com os últimos ajustes incorporados, que resultou em moldagem satisfatória (b).
Fonte: Acervo Pessoal

Então, partindo-se dessa moldagem bem sucedida, e sabendo que o molde estava bem ajustado para os testes de produção dos blocos TEVA, iniciaram-se as alterações na dosagem, objetivando reduzir a massa desse pré-moldado, visto que

sua massa com uso do traço 1:5, com 60% de EVA e 40% de areia era de aproximadamente de 11 kg, ou seja, bastante elevada para o telhado verde proposto, visto que considerando o metro quadrado apenas dos blocos secos, sem substrato e sem vegetação, o valor já seria de 132 kg/m², bem próximo do limite máximo da categoria de telhado verde extensivo, que é de 150 kg/m², para o sistema completo (com substrato e vegetado, além de saturado).

Desta forma, foi feito o teste de moldagem do bloco TEVA, utilizando o traço de 1:3 (cimento: agregados), adotando-se a proporção de 80% EVA e 20% de areia. Para compensar o aumento do agregado de EVA na dosagem foi aumentada a quantidade do ligante (cimento Portland). Essa moldagem foi bem sucedida, conforme se vê na Figura 80, porém a massa do bloco permanecia elevada, com cerca de 10 kg, ou seja, 120 kg/m², apenas de blocos secos, sem substrato e vegetação.

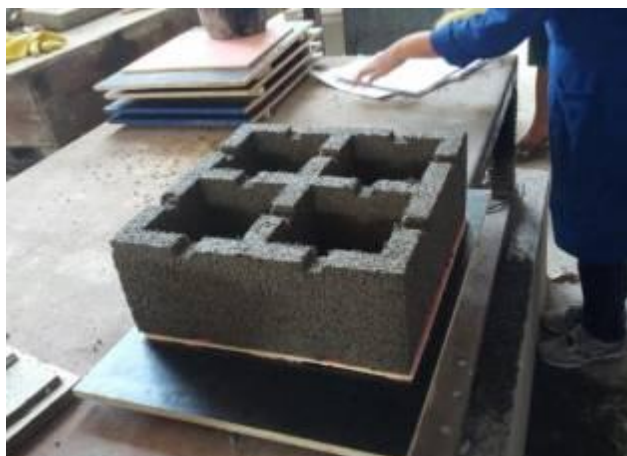


Figura 80: Bloco TEVA com 80% de EVA e 20% Areia, e traço de 1:3 (cimento: agregados).
Fonte: Acervo Pessoal.

Assim, em outra moldagem, foi feita com uso do traço 1:5 (cimento: agregados) sendo a proporção de EVA de 90%, e apenas 10% de areia, de modo a diminuir a massa do bloco. Essa foi à experimentação de resultados mais promissores, já que os blocos foram moldados e apresentaram massa igual a 6 kg, aproximadamente. A partir daí, considerou-se que havia se encontrado o limite da quantidade máxima de EVA a ser utilizada, uma vez que o bloco TEVA se apresentava bastante instável, logo após desmoldagem, sendo muito delicada a operação de seu transporte até a câmara úmida, porque havia o risco do bloco desmanchar. Contudo, após as primeiras 24 horas na câmara úmida, o bloco TEVA já adquiria resistência mecânica suficiente para prosseguir o processo de cura por

imersão em água nos tanques. Além disso, o uso do traço 1:5 (cimento: agregados) conferiu a aglomeração adequada do compósito para a moldagem do bloco TEVA, com uma menor quantidade de uso de cimento Portland comparado ao traço 1:3 (cimento: agregados). Essa redução no consumo de cimento Portland por blocos TEVA produzidos é importante na presente pesquisa, uma vez que se busca coerência entre a proposta de telhados verdes e a sustentabilidade do seu processo de execução. As moldagens experimentais encontra-se resumida na Tabela 07.

Tabela 07: Resumo das moldagens experimentais.
Fonte: Acervo Próprio.

MOLDAGENS DE EXPERIMENTAÇÃO		
MOLDAGENS	CARACTERÍSTICAS	RESULTADOS
01	Traço 1:5 (60% EVA; 40% areia) Forma que gera bloco TEVA com paredes com 2 cm.	Blocos frágeis, com rachaduras.
02	Traço 1:5 (60% EVA; 40% areia) Uso de cimento CP-II E32.	Quebra do bloco.
03	Traço 1:5 (60% EVA; 40% areia). Forma que gera bloco TEVA com paredes com 3 cm.	Blocos resistentes e robustos, porém com rachaduras. Forma muito justa entre as suas peças.
04	Traço 1:5 (60% EVA; 40% areia). Forma com travas	Persistência de problemas com a forma.
05	Traço 1:5 (60% EVA; 40% areia). Forma com travas e mais folgada entre suas peças.	Blocos robustos e de formato satisfatório, porém excessivamente pesados.
06	Sem areia.	Material não moldou o bloco.
07	Traço 1:3 (80% EVA; 20% areia).	Massa do bloco permaneceu elevada.
08	Traço 1:5 (90% EVA; 10% areia).	Blocos de robustez e massa satisfatórios (6 kg)

Há de se destacar aqui que no momento da cura dos blocos TEVA por imersão em água nos tanques, foi percebida uma característica importante ao retirá-los do tanque, que foi a sua alta capacidade de drenagem (Figura 81).



Figura 81: (a) Alta capacidade de drenagem dos blocos TEVA comparado ao bloco (b) Bloco de Concreto. Fonte: Acervo Pessoal

Considerou-se essa característica bem positiva, uma vez que se interpretou que isso poderia favorecer a saúde das raízes e das plantas como um todo no período chuvoso, drenando o excesso das águas pluviais.

Definido o traço, partiu-se para programar a produção dos blocos em série, em quantidade necessária para a realização das próximas etapas da pesquisa.

Os testes iniciais, a baixo custo, com a produção do bloco TEVA permitiram identificar uma geometria interessante para o pré-moldado desenvolvido e uma dosagem de concreto EVA (compósito leve) satisfatória para sua fabricação. Mas, o molde em madeira apresentava-se agora como um impecilho para uma produção em série, além do que, interpretou-se aqui que a pressagem do material no interior do molde era precária e pouco controlada, o que poderia contribuir para obtenção de resultados insatisfatórios, ou frustrantes das moldagens seguintes.

Com isso, chegou-se a conclusão de que as moldagens com o molde de madeira eram dificultosas, e o processo de produção lento. Requereria a ocupação de funcionários do laboratório para pouca produtividade. Por exemplo, por todo esse período de testes iniciais, produziram-se apenas 25 blocos TEVA. Apesar disso, entende-se que o molde de madeira cumpriu bem o seu papel até essa etapa da pesquisa.

Como ainda havia a necessidade de se produzir uma quantidade considerável de blocos TEVA (cerca de 142 unidades), o processo artesanal não era eficaz, embora, os resultados dos blocos em si fossem satisfatórios. Diante disso, partiu-se para a confecção do molde metálico adequado para encaixar na máquina vibro-prensa existente no LABEME, entendendo-se que em um processo semi-industrial, a pressagem é padrão, e, além disso, a máquina facilita todo o processo e ainda aumenta a produtividade.

Sendo assim, partiu-se para o projeto e execução do molde metálico, de modo a realizar uma produção semi-industrial dos blocos TEVA com uso de máquina vibro-prensa.

Moldagens da placa com molde de madeira

Paralelamente foram moldadas as placas TEVA, na geometria desenvolvida por Santos (2013), conforme se vê nas imagens da Figura 82.



Figura 82: Moldagens da placa TEVA na geometria desenvolvida por Santos (2013), com traço de 1:5 (cimento: agregados) com 90% EVA e 10% Areia.
Fonte: Acervo Pessoal

As placas TEVA foram produzidas com o mesmo traço encontrado como satisfatório para a produção de blocos TEVA, ou seja, 1:5 (cimento: agregados), com 90% EVA e 10% Areia. As moldagens foram bem sucedidas deste os primeiros testes, isto porque, o molde já estava bem ajustado, e, além disso, como a geometria era de uma placa, seu processo de desmoldagem era mais simples, e não exigia grandes esforços.

Com o objetivo de se realizarem as simulações dos sistemas de telhados verde modular aéreo e contínuo, utilizando a placa TEVA foram moldadas 10 unidades desse pré-moldado.

Moldagens do bloco TEVA com molde metálico

Para a produção dos pré-moldados com uso do molde metálico, utilizou-se o mesmo traço, definido nas moldagens anteriores, ou seja, 1:5 (cimento: agregados) com 90% de EVA e 10 de areia, com relação água cimento igual a 0,38 (Figura 83).



Figura 83: Bloco TEVA (Traço 1:5 (cimento: agregado), com 90% EVA e 10% Areia, produzido com molde metálico.
Fonte: Acervo Pessoal

Com este processo de produção semi-industrial as moldagens dos blocos TEVA foram eficientes em comparação ao processo artesanal. Os blocos foram produzidos sem dificuldades, incluindo todas as operações de pesagem dos materiais, e demais preparativos, tais como: lubrificação do molde metálico, a moldagem e desmoldagem. Além disso, devido o ajuste de dimensões do bloco TEVA para a produção na máquina vibro-prensa, houve uma redução da massa do mesmo, que passou a ter um valor médio em estado seco de 4,80 quilogramas (kg).

Moldagens do bloco de concreto com molde metálico

As moldagens dos blocos de concreto foram feitas com o mesmo molde metálico e máquina vibro-prensa utilizados na moldagem dos blocos TEVA. Apesar de não ter também ocorrido nenhum problema no processo de moldagem dos blocos de concreto, percebeu-se durante o seu transporte até a câmara úmida que eles ficaram muito pesados. De fato, a massa de bloco de concreto é cerca de três vezes maior do que a massa do bloco TEVA, ou seja, próximo dos 15,0 quilogramas (kg).

5.1.3. Resistência à compressão e Absorção dos blocos (TEVA e Concreto)

O maior interesse em caracterizar a resistência à compressão para o bloco TEVA é em função de em seu projeto ser prevista a possibilidade dele trabalhar como piso (em posição invertida do bloco TEVA vegetal). Deste modo, como os blocos TEVA, além de serem usados para receber vegetação, são também projetados para receber cargas de pessoas caminhando sobre eles, o ensaio de resistência à compressão, torna-se indispensável para verificação de sua capacidade de suporte para tais cargas. Na Tabela 08, tem-se os valores referentes a cada bloco ensaiado (exemplares com idades maiores do que 28 dias), bem como a média desses valores, tanto para o bloco de concreto, quanto para o bloco TEVA. Considerando a resistência à compressão média dos resultados apenas com menor variação entre eles (pelo critério de Chauvenet), para o bloco TEVA tem-se um valor igual a 3,21 kgf/cm². Esse valor pode ser entendido como de capacidade de suporte mais do que suficiente para o componente, uma vez que, teoricamente, uma área de 1 (um) metro quadrado, executada com blocos TEVA como piso (a resistência à

compressão equivalente seria 32.100 kgf/m²), poderia suportar até 400 pessoas, com 80 kg cada, se fosse possível acumular tanta gente nesse espaço (1 m²). Assim, pode-se inferir que a capacidade de suporte do bloco TEVA atende ao propósito de trabalhar como piso para permitir a visita das pessoas ao telhado verde.

Tabela 08: Resistência à compressão dos blocos TEVA e dos blocos de concreto.
Fonte: Acervo Pessoal.

	RESISTÊNCIA à compressão (Kgf/cm ²)			RESISTÊNCIA à compressão (MPa)	
	TEVA	Concreto		TEVA	Concreto
Bloco¹	3,13	50,46	Bloco¹	0,31	5,04
Bloco²	2,92	40,49	Bloco²	0,29	4,09
Bloco³	3,12	42,57	Bloco³	0,31	4,25
Bloco₄	4,22	51,49	Bloco₄	0,42	5,14
Bloco₅	3,10	41,47	Bloco₅	0,31	4,14
Bloco₆	3,48	61,86	Bloco₆	0,34	6,18
MÉDIA	3,21	41,51	MÉDI	0,32	4,15

Obs.: as médias calculadas consideram apenas aqueles resultados com menor variação entre eles, pelo critério de Chauvenet.

Com relação ao resultado do ensaio de absorção de água, como esperado, os valores foram bem diferentes, de modo que o bloco de TEVA teve média igual a 19,5%, enquanto o bloco de concreto teve média igual a 6,2%.

Além da absorção de água, outra diferença importante entre esses blocos é com relação à capacidade de reter temporariamente a água, uma vez que a menor porosidade do bloco de concreto faz com que a água fique aprisionada nele por mais tempo, o que o torna bastante diferente do bloco TEVA que possui alta porosidade e alta capacidade de drenagem, como destacado anteriormente.

Deve-se ficar claro aqui a distinção entre a absorção e a retenção. A primeira foi caracterizada pelo ensaio da NBR 12118 (2006), e informa o percentual de absorção do material (do concreto e do concreto-EVA, no caso). O segundo corresponde apenas a uma observação direta, onde foi possível perceber que o bloco de concreto é mais lento na drenagem da água, devido a sua baixa porosidade quando comparado ao bloco TEVA.

A Figura 84, mostra as diferenças entre as marcas da umidade nos blocos TEVA e de Concreto após serem submetidos às mesmas condições de chuva e

insolação. No bloco TEVA a mancha de umidade se restringe à base do bloco, indicando que pouca água ficou retida no bloco, embora ele tenha absorvido mais água que o de concreto, devido o EVA, que é poroso, contudo, isto não é possível de ser visualizado. Já no bloco de concreto é possível ver a mancha de água a partir da base se estendendo até a porção média e superior da parede lateral do bloco, o que pode indicar retenção de água no interior do bloco. Deve-se lembrar de que o escoamento da água sob os blocos (TEVA e Concreto) é possibilitado pela mesma inclinação da laje impermeabilizada.

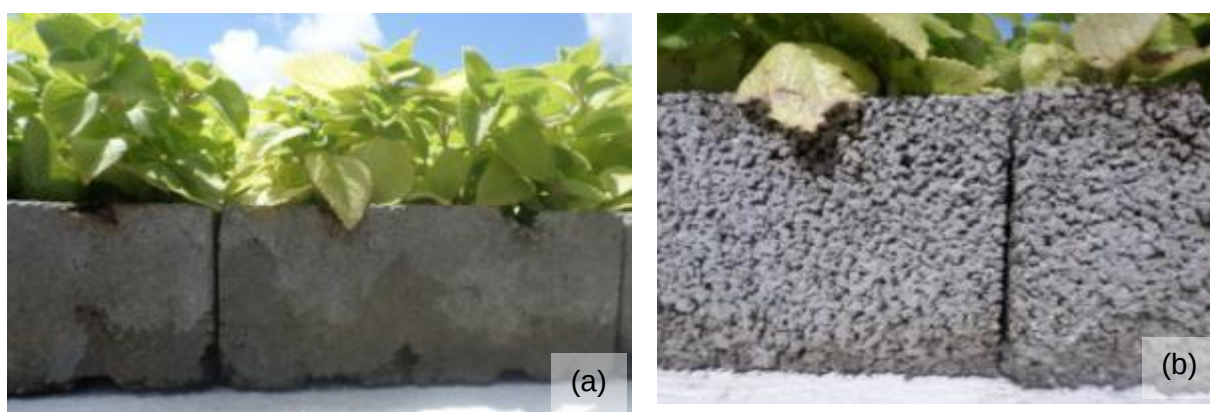


Figura 84: Diferença aparente da água retida nos blocos de Concreto (a) e TEVA (b) no telhado verde simulado.

Fonte: Acervo Pessoal

Esta característica de se ter um suprimento de água armazenado por mais tempo no interior do bloco do telhado verde pode ser satisfatório, pelo menos no período de verão (menos chuvoso na região de João Pessoa-PB, por exemplo).

Contudo, dos 32 blocos que foram instalados em protótipos, sendo 16 blocos TEVA para o protótipo de telhado verde com bloco de EVA, e os 16 blocos de concreto, para o telhado verde com bloco de concreto, considerando que ambos estiveram sob as mesmas condições climáticas, especialmente com relação à irrigação promovida periodicamente (simulação de chuva sobre os telhados verdes, pelo menos uma vez por semana), o que tem se notado é que os vegetais cultivados no módulo de concreto mostraram um desenvolvimento um pouco melhor, comparado aos mesmos vegetais que foram transplantados, na mesma data, nos blocos TEVA, conforme se vê na Figura 85.



Figura 85: O Desenvolvimento dos vegetais sob diferentes condições de drenagem da água através dos blocos. (a) blocos TEVA; (b) blocos de concreto.

Fonte: Acervo Pessoal

Apesar disso, considera-se sutil a diferença no desenvolvimento dos vegetais nos diferentes blocos, que favoreceu um pouco mais aqueles nos blocos que tem uma drenagem mais lenta. Essa é uma hipótese não investigada na presente pesquisa, uma vez que precisaria de mais estudos específicos para ser conclusivo sobre o assunto. Mas, se a intenção é de fato ter um crescimento lento da vegetação, a fim de se ter uma menor manutenção, como é a proposta do telhado verde extensivo, então, esse fenômeno não implica necessariamente em uma vantagem.

Contudo, se por um lado o bloco de concreto tem conferido essa possível vantagem no período de verão, o mesmo não se pode esperar do período de inverno, uma vez que devido os altos índices de pluviosidade na região (João Pessoa-PB), essa retenção permanente e prolongada, certamente traria prejuízos ao vegetal, devido a permanente saturação do substrato pela água.

Deve-se lembrar de que há sistemas de telhados verdes que adotam uma camada adicional, onde nem toda água drenada pelo substrato, segue para os drenos da cobertura, ficando parte retida, em forma de lâmina d'água, a fim de que, por evaporação, a água possa estar umedecendo o substrato. De qualquer modo, ainda não há estudos que demonstrem a eficiência dessa prática.

No caso do sistema modular com blocos TEVA, não há nenhuma camada de suprimento de água, conforme se viu, pois se trata de um sistema simples onde o bloco vegetado é disposto sobre uma laje impermeabilizada. Contudo, vale ressaltar que o próprio bloco TEVA, devido à alta absorção de água, gerada pelo resíduo de

EVA incorporado, configura-se, de certa forma, como um mecanismo de reserva hídrica.

5.1.4. Estimativa da carga (kg/m²) do Telhado Verde com bloco TEVA

Para analisar a estimativa da carga do telhado verde sobre uma laje, quatro blocos TEVA e quatro blocos de concreto tiveram suas massas aferidas em estado seco e saturadas, conforme se vê na pesagem mostrada na Figura 86.

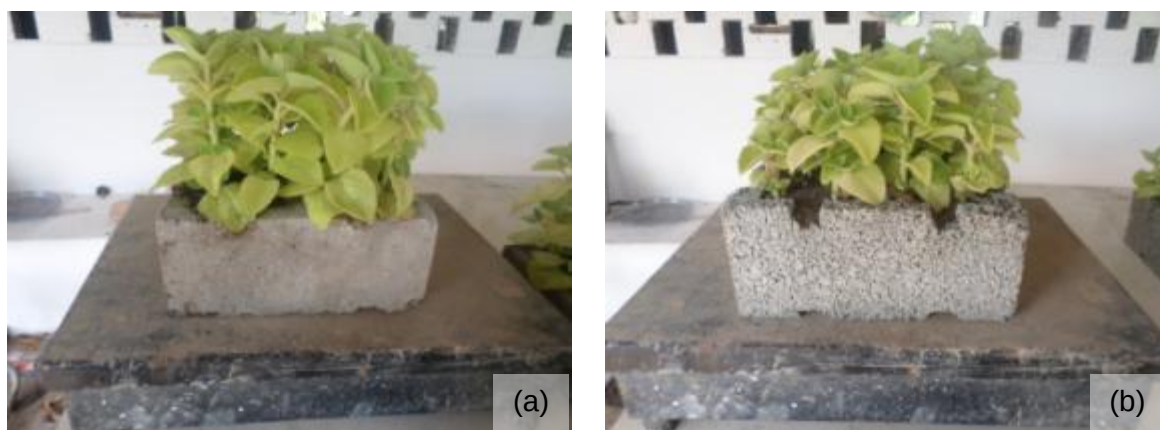


Figura 86: Aferição das massas dos blocos de Concreto (a) e TEVA (b) vegetados.

Fonte: Acervo Pessoal

Foram considerados os blocos com substrato em estado seco, na condição de permanecer, no mínimo, cinco (4) dias sem receber água, seja através da irrigação, ou da chuva. Para a condição saturada, considerou-se após serem irrigados, durante 5 minutos. Os resultados desse comparativo podem ser vistos na Tabela 09.

Tabela 09: Massas (em quilograma) dos blocos de concreto e TEVA vegetados, nas condições com substrato saturado e seco.

Fonte: Acervo Pessoal

BLOCO TEVA			BLOCO de Concreto		
	Massa com substrato seco (Kg)	Massa com substrato Saturado (Kg)		Massa com substrato seco(Kg)	Massa com substrato saturado (Kg)
Bloco¹	10,50	11,70	Bloco¹	18,90	20,30
Bloco²	10,10	11,25	Bloco²	19,30	20,60
Bloco³	10,55	11,80	Bloco³	18,70	19,95
Bloco₄	9,90	11,25	Bloco₄	18,60	19,80
MÉDIA	10,26	11,50	MÉDIA	18,87	20,16

Conforme se nota pelos resultados das médias, o substrato de ambos os blocos, o TEVA e o de concreto, possuem uma capacidade de absorver 1,3 kg de

água. E como foi considerada aqui que nessas pesagens apenas os substratos estavam saturados, e não os próprios blocos, devido o curto intervalo de tempo a que foram expostos à água, logo se acrescentou aos valores medidos um (1) kg, tanto no bloco TEVA saturado, quanto no bloco de concreto, uma vez que essa massa é o que eles absorvem depois de mergulhados por 24 horas em tanques com água. Sendo assim, a média das massas saturadas nos blocos TEVA e de concreto, passaram a serem respectivamente, 12,50 kg e 21,16 kg.

Desde modo, o metro quadrado de cada sistema modular de telhado verde proposto nas duas situações, conforme o tipo de bloco considerado apresentou-se da seguinte maneira, conforme se vê na Tabela 10.

Tabela 10: Comparativo entre as massas dos sistemas modulares de telhados verdes com blocos TEVA e de Concreto

SISTEMAS modulares de telhado verde		
	Seco (kg/m ²)	Saturado (kg/m ²)
Bloco TEVA	123,15	150,00
Bloco de Concreto	226,50	253,95

A partir disso, e diante da classificação do IGRA, nota-se que o sistema modular com os blocos TEVA enquadra-se na categoria do telhado verde extensivo, mesmo na situação mais crítica com o sistema saturado, no qual o valor da carga por metro quadrado foi exatamente a máxima (150 kg/m²), que limita a categoria, confirmando a sua adequação quanto ao peso do sistema, ou seja, como telhado verde extensivo.

Com relação ao telhado verde instalado com blocos de concreto, nota-se que a carga do sistema é demasiadamente elevada, mesmo no estado seco. Conforme a tabela do IGRA, sistemas que possuem valores acima de 200 Kg por metro quadrado, enquadra-se na categoria mais elevada para telhados verdes, que são os intensivos, e estes representam uma sobrecarga a estrutura, demandando reforço estrutural na construção do edifício.

5.2. Os sistemas de Telados verdes propostos

Com as duas geometrias, o bloco TEVA e a placa TEVA foram possíveis propor três diferentes tipos de telhados verdes: o modular, o contínuo e o aéreo. Em

princípio os sistemas propostos foram desenhados com auxílio do Software SketchUp 8.0 (Figura 87), e posteriormente as simulações dos sistemas foram realizadas em laboratório.



Figura 87: Proposta de arranjo para os três tipos de telhados verdes com uso dos blocos TEVA e placas TEVA. Fonte: Acervo Pessoal

Esses sistemas são diferentes e possuem características peculiares a cada tipo, que serão discutidas, logo a seguir.

5.2.1. O sistema modular

O sistema modular corresponde ao mais simples, com relação à instalação e manutenção. Os blocos TEVA propostos são vegetados e dispostos lado a lado, e dependendo do projeto paisagístico, os módulos não vegetados podem ser colocados em posição invertida, para serem usados como passeio ou visitação para manutenção, conforme exibido na Figura 88.

Este sistema foi o avaliado nesta pesquisa, tanto com relação ao desempenho do vegetal, quanto em relação ao comportamento térmico e à capacidade de retenção das águas pluviais, sempre comparando esse sistema aos outros tipos de coberturas.

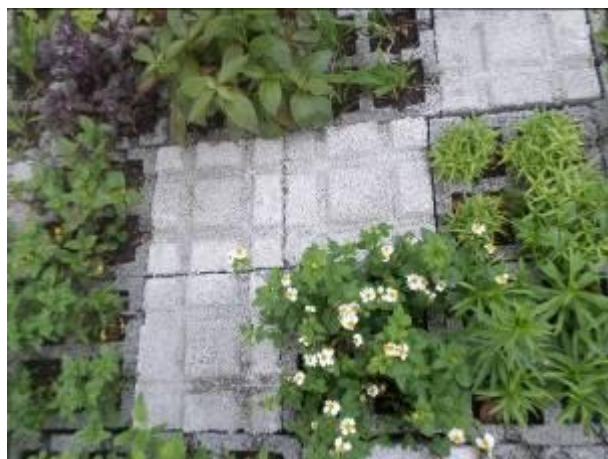


Figura 88: Simulação no LABEME do sistema modular de telhado verde com uso de blocos TEVA. Fonte: Acervo Pessoal

5.2.2. O sistema contínuo

O telhado verde com o sistema contínuo faz o uso das placas TEVA. Caso os blocos TEVA sejam arranjados em composição com o sistema contínuo, conforme representação da Figura 89, haverá limitação em relação à profundidade de substrato, em função da altura total dos blocos TEVA, que, nesse caso, corresponde a 10 cm. Contudo, se o sistema contínuo for usado sozinho, especula-se que ele poderá receber um volume de substrato um pouco maior, aumentando a sua profundidade para o desenvolvimento radicular dos vegetais, desde que dentro das limitações de carga para o sistema com vegetações de porte herbáceo. Neste caso, os limites para a contenção do substrato sobre as placas TEVA, apoiadas diretamente em uma laje de concreto, por exemplo, seriam através da platibanda da edificação, ou ainda poderiam ser delimitadas com a construção de pequenas muretas nas bordas da área a ser vegetada.

Como as placas TEVA não dispõem de um mecanismo de encaixe entre elas, é importante observar que a simples disposição lado a lado dessas placas acaba por gerar pequenos espaços (falhas de vedação), por onde possivelmente parte do substrato poderá ser perdido, ao longo do tempo. Para prevenir esse fenômeno, adotou-se o procedimento apresentado na literatura (SAVI, 2012), que consiste em colocar uma manta de acrílico, poliéster, sobre as placas TEVA, para que a mesma cumpra a função de membrana de retenção de substrato. A simulação desse sistema pode ser visto na Figura 89.



Figura 89: Simulação no LABEME do sistema contínuo com placas TEVA e borda com blocos TEVA.
Fonte: Acervo Pessoal

Na simulação do sistema de telhado verde contínuo, apresentado na Figura 89, foi utilizada sobre a manta de retenção (na cor branca) uma areia fina representando o substrato, ou seja, não se utilizou substrato adequado, considerando que se tratava de apenas um teste fora do local definitivo. Na oportunidade vale salientar a importância da escolha do substrato adequado para o desenvolvimento vegetal, bem como para a manutenção da permeabilidade do sistema. Composições argilosas tenderão a sofrer maior compactação, impedindo a aeração do solo, comprometendo a sua permeabilidade; já os arenosos são pobres em nutrientes e possuem uma baixa capacidade de retenção de umidade. Essa foi a última camada simulada, mas, sobre o substrato, obviamente, ainda há a vegetação.

Supõe-se que no telhado verde com sistema contínuo se tenha uma maior liberdade para ocorrer no interior do substrato o desenvolvimento lateral das raízes e da fauna, que poderá propiciar uma maior mobilidade de anelídeos importantes para a aeração do solo, como as minhocas. A vantagem principal desse sistema é com relação ao seu peso sobre o telhado, se comparado com o sistema modular, uma vez que as placas possuem uma massa média de dois (2) quilogramas (Kg), além disso, supõe-se que esse sistema permite o desenvolvimento de uma maior diversidade vegetal, uma vez que não há paredes, ocupando espaço, entre as placas TEVA.

5.2.3. O sistema aéreo

O sistema aéreo consiste em arranjar os blocos TEVA em duas fileiras com uma certa distância entre elas, e na lateral interna desses blocos afixarem uma tela. O sistema de fixação precisa garantir um nível de tensão na tela para suportar adequadamente a carga da vegetação, quando essa se ramificar sobre ela. Pode-se adotar também a aplicação das placas TEVA sob a tela, conforme Figura 90, para funcionar como filtro, evitando que a folhagem seca, que naturalmente cai com o tempo, ao ser carregada pela chuva, não se torne um problema, entupindo o sistema de drenos da laje. Além disso, a presença da placa TEVA no telhado verde aéreo, por ser fabricada com agregado leve, a partir do aproveitamento de resíduo de EVA, certamente terá contribuições térmicas favoráveis, sobretudo ao considerar a formação de bolsões de ar entre as placas TEVA e a ramificação da folhagem sobre

a tela, que contribuirão também na atenuação da carga térmica oriunda da cobertura. Na simulação do sistema, Figura 90, o vegetal que está começando a se desenvolver em direção à tela é a Milona (*Cissampelos sympodialis*), uma trepadeira utilizada para fins medicinais. Deve-se perceber ainda que, nesse sistema, depois que a vegetação se ramificar, o acesso à área sob a tela será dificultado.



Figura 90: Simulação no LABEME do sistema aéreo com blocos TEVA na borda, onde a tela é fixada.
Fonte: Acervo Pessoal

5.3. Instalação e acompanhamento do telhado verde modular

Conforme dito anteriormente, dos três sistemas propostos apenas o modular foi efetivamente trabalhado nas próximas etapas da presente pesquisa, por ser o foco da pesquisa, e, tendo em vista a praticidade em levar os blocos TEVA para serem vegetados, e depois de aclimatados no CBIOTEC, instalá-los em outros lugares (LABEME e protótipos no NUPA).

5.3.1. Em escala REAL: NO LABEME

No LABEME o acompanhamento do desempenho vegetal nos blocos TEVA, e da biodiversidade atraída por este tipo de cobertura em telhado verde modular, deu-se em dois momentos, no período do inverno, e no período do verão, considerando a região de João Pessoa-PB.

NO INVERNO

A instalação dos primeiros blocos TEVA, resultantes das moldagens experimentais, para compor o telhado verde modular ocorreu entre 05 e 16 de Maio

de 2014, e foram acompanhados até 24 de setembro de 2014. Ou seja, a estação compreendida nesse intervalo foi o inverno, reconhecida como a estação chuvosa, pelos altos índices pluviométricos na região.

Há de se destacar aqui que esse telhado verde instalado, inicialmente, não compreendia a área total de 12 m², uma vez que ainda não havia blocos TEVA suficientes produzidos para essa instalação. Então, foram apenas os 25 blocos TEVA resultantes das primeiras moldagens, que foram vegetados, e dispostos sobre a laje da câmara úmida do LABEME e puderam ser acompanhados ao longo de quatro (4) meses.

Esses 25 blocos não foram vegetados ao mesmo tempo, mas num período menor do que 30 dias (entre 21-04-2014 e 15-05-2014), quando todos estavam prontos para serem instalados na laje da câmara úmida do LABEME. E no dia 16-05-2014, os primeiros 25 blocos foram de fato instalados na laje do LABEME.

A disposição dos blocos obedeceu desde o início ao desenho do telhado verde proposto para a área, de modo que se instalaram os 25 blocos TEVA em forma de “U” (conforme, Figura 91), no aguardo dos demais blocos TEVA para completar a configuração proposta (12 m²).

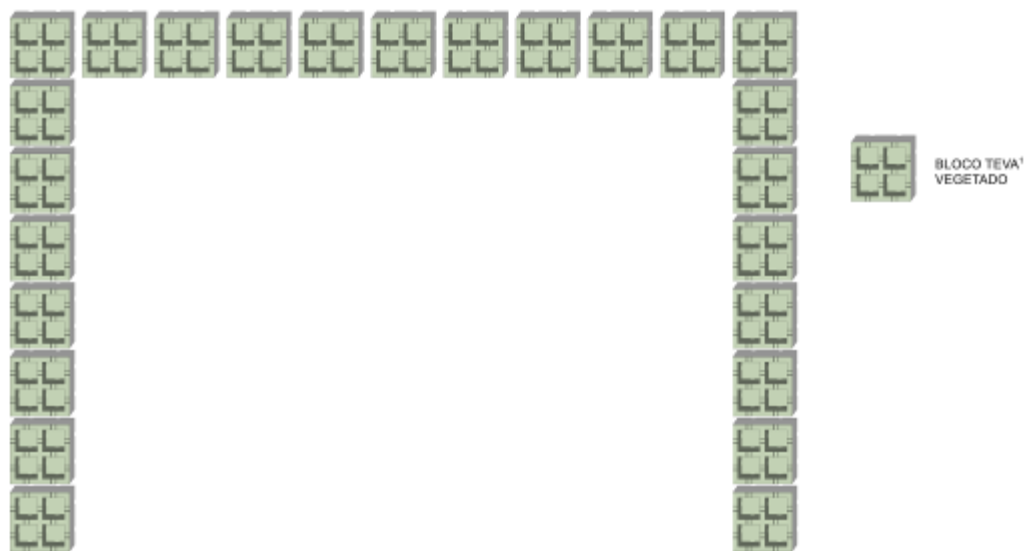


Figura 91: Representação dos primeiros blocos TEVA dispostos na Laje do LABEME, para configurar o telhado verde modular.
Fonte: Acervo Próprio.

Mesmo nos 25 blocos TEVA iniciais é importante destacar que todas as espécies vegetais selecionadas na presente pesquisa foram cultivadas. A seguir serão destacadas às observações relativas ao acompanhamento deste período.

A primeira observação mostrou que o sistema radicular ultrapassou a base do bloco TEVA, como visto na Figura 92.

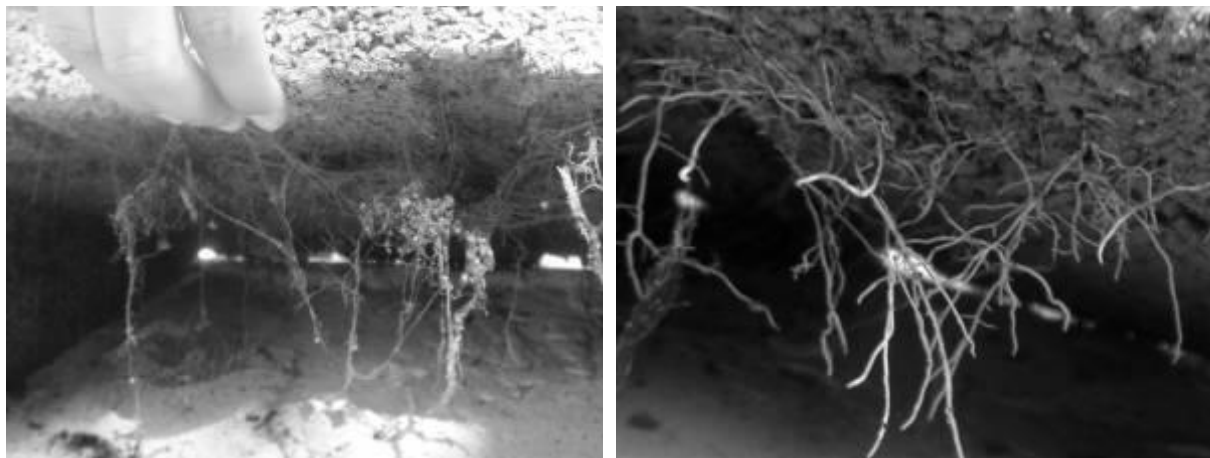


Figura 92: Permeabilidade dos blocos TEVA ao sistema radicular dos vegetais transplantados nos mesmos.

Fonte: Acervo Próprio.

Essa ocorrência revela a necessidade da utilização de uma barreira anti-raiz entre a base dos blocos TEVA e a laje impermeabilizada. Embora, neste período as raízes não tenham se fixado na laje, isto indicou a necessidade de uma maior proteção, para se ter uma maior garantia de que o sistema será preservado e nenhum dano se terá por conta das raízes.

A segunda observação é que esse tipo de cobertura (Telhado verde com blocos TEVA) favorece o desenvolvimento da biodiversidade, uma vez que neste curto período de acompanhamento foi possível encontrar, tanto animais, quanto outros vegetais, conforme se vê na Figura 93. Desta forma, confirma-se a formação de micro habitat.





Figura 93: Biodiversidade atraída pelo telhado verde com blocos TEVA instalados no LABEME (1ª fase de acompanhamento).

Fonte: Acervo Próprio.

Há de se notar que apesar de se visualizar um pouco de substrato sob o bloco TEVA, não ocorreu vazamento desse material nessas quantidades. Na verdade, isso se deu pelo fato de que, quando os primeiros blocos TEVA foram vegetados no horto do CBIOTEC, eles foram dispostos diretamente sobre a terra local, sem nenhum tipo de revestimento entre o solo e os blocos TEVA. Assim, a porção inferior dos blocos TEVA ficou impregnada de substrato do solo local, que foi sendo desprendida depois, formando os aglomerados que se vê nas imagens.

Outro fato interessante é que, devido à alta porosidade do bloco TEVA se percebe que até as minhocas conseguiram atravessar a base do bloco TEVA.

Os vegetais que apresentaram um melhor desempenho neste primeiro momento foram os seguintes: *Coleus amboinicus* (hortelã da folha grossa), *Kalanchoe brasiliensis* (saião do verde), *Kalanchoe crenata* (saião do roxo); *Plectranthus barbatus* (boldo); *Costus spicatus* (cana de macaco); *Aloe vera* (babosa); *Alternanthera brasiliana* (penicilina) e *Cissampelos sympodialis* (milona).

Alguns vegetais não resistiram até o final do ciclo de observação, e em outros casos se percebeu um amarelamento da folhagem, o que indicou falta de nutrientes. Desta forma, viu-se que diante da pouca quantidade de substrato no interior do bloco TEVA e do carregamento de nutrientes pela chuva, seria necessária uma reposição de substrato. Sendo assim, no dia 24 de Setembro de 2014, após três (3) meses foi feita uma única manutenção dos primeiros 25 blocos TEVA vegetados instalados na laje.

Na manutenção, no momento da retirada de alguns vegetais dos blocos TEVA, notou-se também uma boa fixação das raízes ao substrato, o que é bem positivo por alguns motivos, entre eles, a possibilidade do substrato não ser facilmente perdido pela ação das intempéries (ação dos ventos, por exemplo). Uma vez que como estão em coberturas, caso o substrato esteja seco e desprendido (e desprotegido) da vegetação os ventos podem gerar material particulado (poeira em suspensão), oriundo do substrato.

Observou-se que as hortelãs da folha grossa haviam se desenvolvido muito e estavam desproporcionais em relação às outras espécies, por isso, elas foram retiradas, e com as suas gemas apicais⁶ foram feitos replantios nos mesmos blocos e reposições de vegetais em outros blocos TEVA.

NO VERÃO

O telhado verde instalado no LABEME, na segunda etapa de acompanhamento, que inclui o período do verão, passou a cobrir a área dos 12 m² da laje impermeabilizada, ou seja, nesse período foi completado o projeto do telhado verde com a instalação de novos blocos TEVA moldados e vegetados. Sendo assim, o novo período de acompanhamento do telhado verde no LABEME teve duração de seis (6) meses (outubro/2014 até março/2015), praticamente incluindo todo o período de verão. As imagens da Figura 94 ilustram registros mensais (vista geral) desse telhado verde, em algumas das ocasiões em que ocorreu a manutenção e o acompanhado do desenvolvimento dos vegetais.

⁶ Tecido meristemático responsável pelo crescimento da planta em extensão (altura). “O olhinho da planta”



Figura 94: Acompanhamento do telhado verde do LABEME completo com 12 m² (2ª fase de acompanhamento).

Fonte: Acervo Próprio.

No período de verão, diferentemente do acompanhamento no período de inverno, foi fornecido água aos vegetais, pelo menos, três (3) vezes por semana. Isto foi importante, tendo em vista a redução das chuvas no período. Além disso, uma vez ao mês se visitava o telhado verde para a retirada de vegetais parasitas.

Para esse período foram registradas as seguintes observações:

- 1- Desenvolvimento de espécies⁷ vegetais espontaneamente, junto às plantas cultivadas, entre outras observações (amarelamento de folhas, sistema radicular através da base do bloco, casulos de formigas etc.), conforme se vê nas imagens da Figura 95.



⁷ As espécies vegetais que se desenvolveram não foram identificadas, deste modo, estão indicadas por sp. e um respectivo número.



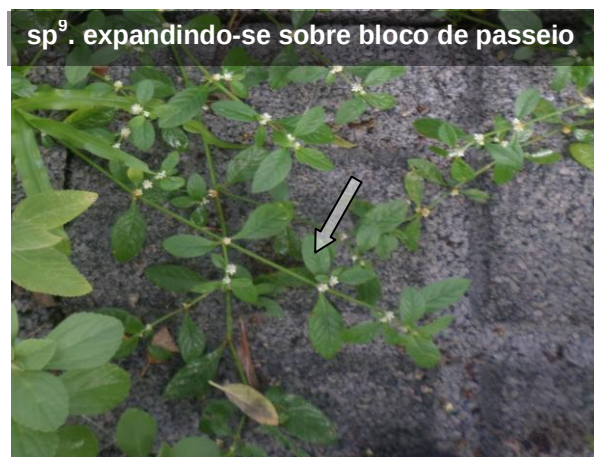




Figura 95: Acompanhamento do telhado verde com blocos TEVA no LABEME, incluindo o período de verão (2ª fase de acompanhamento).

Fonte: Acervo Próprio.

Conforme se pode notar, tanto na primeira fase de acompanhamento como na segunda, podem-se encontrar alguma variedade de animais como: baratas, minhocas, formigas, embuás, entre outros. Alguns até que foram vistos a visitar o jardim como borboletas e abelhas, mas que não puderam ser registrados. O fato é que isto confirma a afirmação de Willian et al. (2015) de que os telhados verdes podem auxiliar na manutenção da biodiversidade urbana.

Há de se fazer um destaque que os telhados verdes atraem a biodiversidade pré-existente do entorno, de modo que os cupins (na Figura 95) apenas continuaram o percurso sob os blocos, uma vez que esses insetos já estavam presentes nas paredes da edificação antes do telhado verde.

Das 32 espécies vegetais cultivadas nos blocos TEVA do telhado verde do LABEME 20 se adaptaram bem a esta segunda fase, conforme se vê em destaque na Tabela 11.

Tabela 11: Espécies vegetais (destacadas em verde) que se desenvolveram bem na segunda fase de acompanhamento.

Fonte: Acervo Próprio

Nome popular	Família	Nome científico	Característica
Alecrim	Lamiaceae	<i>Rosmarinus officinalis</i> L. (1753)	Arbusto ramificado
Agrião do brejo	Asteraceae	<i>Spilanthes acmella</i> (L.) L. (1774)	Herbácea/perene
Agrião do Pará	Brassicaceae	<i>Nasturtium officinale</i> W.T. Aiton (1812)	Herbácea/perene
Alho do mato	Iridaceae	<i>Cipura paludosa</i> Aubl. (1775)	Herbácea
Babosa	Xanthorrhoeaceae	<i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f. (1768)	Suculenta
Boldo	Lamiaceae	<i>Plectranthus barbatus</i> Andrews (1810)	Herbácea/perene
Bunina	Nyctaginaceae	<i>Mirabilis jalapa</i> L. (1753)	Herbácea
Cavalinha	Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i> L. (1759)	Herbácea/perene
Chachambá	Acanthaceae	<i>Justicia pectoralis</i> Jacq (1760)	Herbácea/ h=50 cm
Capim santo	Poaceae	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf	Herbácea
Cana de macaco	Costaceae	<i>Costus spicatus</i> (Jacq.) Sw. (1788)	Herbácea de haste dura
Camomila	Asteraceae	<i>Matricaria recutita</i> L. (1753)	Herbácea/perene
Colônia	Zingiberaceae	<i>Alpinia zerumbet</i> . Pers. B.L. Burt. & R.M.Sm	Herbácea/perene
Erva lanceta	Asteraceae	<i>Solidago chilensis</i> Meyen (1834)	Subarbusto/perene
Erva cidreira	Lamiaceae	<i>Melissa officinalis</i> L. (1753)	Herbácea/perene
Gengibre	Zingiberaceae	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe (1807)	Herbácea/perene
Hortelã Homem	Lamiaceae	<i>Plectranthus barbatus</i> Andrews (1810)	Herbácea/perene
Hortelã da folha miúda	Lamiaceae	<i>Mentha piperita</i> L. (1753)	Herbácea
Hortelã da folha graúda	Lamiaceae	<i>Coleus amboinicus</i> Lour (1790)	Herbácea/perene/suculenta
Mangericão do roxo	Lamiaceae	<i>Ocimum basilicum</i> L. (1753)	Herbácea
Mangericão menino	Lamiaceae	<i>Ocimum minimum</i> L. (1753)	Herbácea
Malmequer amarelo	Asteraceae	<i>Aspilia montevidensis</i> (Spreng.) Kuntze (1898)	Herbácea/perene
Mangerona	Lamiaceae	<i>Origanum majorana</i> L. (1753)	Herbácea/ h=60 cm
Mastruz	Amaranthaceae	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L. (1753)	Herbácea
Milona	Menispermaceae	<i>Cissampelos sympodialis</i> Eichler (1864)	Trepadeira
Poejo, Hortelãzinho, hortelã pimenta	Lamiaceae	<i>Mentha pulegium</i> L. (1753)	Herbácea/perene
Quebra pedra	Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus niruri</i> L. (1753)	Herbácea/pequena
Penicilina	Amaranthaceae	<i>Alternanthera brasiliana</i> (L.) Kuntze (1891)	Herbácea/perene/ereta
Saião	Crassulaceae	<i>Kalanchoe brasiliensis</i> Cambess	Suculenta
Saião do roxo	Crassulaceae	<i>Kalanchoe crenata</i> (Andrews) Haw (1812)	Suculenta
Salsa	Apiaceae	<i>Petroselinum sativum</i> Hoffm. (1814)	Herbácea
Tansagem	Plantaginaceae	<i>Plantago major</i> L. (1753)	Herbácea/perene

Contudo, conforme se viu na Figura 95 o telhado verde do LABEME não se configura apenas com essa composição, encontrando-se no mínimo mais 14

espécies (sp.) que se desenvolveram paralelamente às cultivadas. Dunnet et al. (2008) em seus estudos, também identificaram espécies colonizadoras nos telhados verdes, especificamente 35, isto leva a confirmação da afirmação de Köhler (2006), de que os telhados verdes são dinâmicos, e a vegetação é susceptível de alterar.

E de certa forma, o desenvolvendo de outras espécies vegetais já era esperado, uma vez que Oberndorfer et al. (2007) já haviam constatado que substratos com profundidade de 7cm a 15 cm são mais hospitaleiros a ervas daninhas, que os substratos mais rasos. Isto é decorrente do simples fato de que maiores profundidade dispõem de maiores recursos para os vegetais. E isto pode ser visto como um fator positivo, uma vez que o “próprio telhado” é capaz de fazer uma autorreposição vegetal.

Ainda na Figura 95, na imagem intitulada “adaptação diferente dos vegetais”, há uma seta destacando uma espécie vegetal em declínio, enquanto as espécies vizinhas se desenvolvem com vitalidade.

Outra constatação, confirmando o que foi observado no primeiro ciclo de acompanhamento, foi com relação ao amarelamento das folhas dos vegetais. Neste segundo ciclo de acompanhamento, o engenheiro agrônomo do horto do CBIOTEC, orientou a fazer uma adubação foliar (de macro e micronutrientes), semanalmente, para suprir as carências nutricionais do vegetal. Entretanto, logo no primeiro mês da adoção dessa prática, ela foi abandonada, uma vez que as folhas da hortelã começaram a ficar gigantes, conforme se vê na Figura 96.



Figura 96: Folha da hortelã da folha grossa com comprimento de aproximadamente 15 cm.
Fonte: Acervo Próprio.

De forma simplificada, concluiu-se que esse crescimento das folhas da hortelã foi decorrente do excesso de nutrientes fornecido às plantas no mês anterior, uma

vez que nos viveiros da mesma horta, localizados no horto do CBIOTEC, não há exemplares com folhas com esse comprimento. Além disso, a retirada das gemas apicais (nas manutenções) contribuiu ainda mais no desenvolvimento das folhas, uma vez que sem a dominância da gema apical, as gemas laterais ganham mais expressão. Desse modo, interrompeu-se a adubação foliar a partir do entendimento de que o ideal para um telhado verde extensivo é que tenha uma evolução lenta, e esta prática pareceu acelerar o desenvolvimento.

A partir de então se decidiu apenas completar o substrato quando necessário, a fim de fazer a reposição de nutrientes, e do material carreado pelas intempéries (ação dos ventos e da chuva). Durante o acompanhamento no período de verão, no quarto mês (Janeiro/2015), verificou-se um rebaixamento do nível do substrato de até quatro (quatro) centímetros (Figura 97), e diante disso, a reposição foi feita nesse referido mês.



Figura 97: Rebaixamento do nível do substrato no bloco TEVA vegetado, após quatro (4) meses.
Fonte: Acervo Próprio.

Diante dessas observações, questiona-se a indicação do IGRA de que os telhados verdes extensivos não precisam de manutenção mais que uma vez ao ano, bem como não precisa de irrigação. De fato, essa indicação é para o caso de se usar plantas suculentas, contudo, aqui, considerando o cultivo de plantas medicinais de porte herbáceo, em 10 (dez) cm de substrato, não é recomendado deixar de fazer reposição do substrato nos blocos TEVA propostos para executar telhados verdes, que por natureza sempre estarão expostos à ação dos ventos. Ademais, quanto ao fornecimento de água notou-se que se trata de um fator fundamental, indispensável, para manter a vitalidade das plantas.

Além disso, como discutido anteriormente, observou-se o desenvolvimento espontâneo de outros vegetais, de modo que se a intenção é manter apenas as espécies selecionadas, é preciso uma manutenção, no mínimo, mensal para a retirada das espécies invasoras, a menos que o objetivo para o telhado verde seja o de se autorreconfigurar com as espécies invasoras. Isto de certo modo, é considerado até mais sustentável. Na literatura, já há discussões com relação a um tipo especial de telhado orgânico, o telhado marrom, onde a cobertura recebe todas as camadas do telhado verde comum, exceto a vegetação, uma vez que se objetiva uma cobertura colonizada pelas espécies nativas do entorno, onde está inserida a cobertura. Inclusive, ao longo do tempo, com a composição vegetal variando, conforme o que desenvolve.

Por fim, há de se ressaltar que os blocos TEVA não se apresentaram como um problema no desenvolvimento dos vegetais selecionados, promovendo condições de espaço suficiente para o seu desenvolvimento.

5.3.2. Em escala de PROTÓTIPO: NO NUPPA

O acompanhamento das hortelãs (*Coleus amboinicus*) se deu desde o momento do plantio dos vegetais nos blocos de concreto e TEVA (Figura 98).



Figura 98: Processo de vegetação dos blocos TEVA e dos blocos de Concreto para instalação nos protótipos no NUPPA.
Fonte: Acervo Próprio.

Em princípio, ainda no período de aclimação, observou-se que os vegetais nos blocos de concreto estavam tendo um maior crescimento, certamente, conforme discutido anteriormente, pelo retardo na drenagem da água.

Depois dos blocos vegetados serem instalados nos protótipos (Figura 99) foram acompanhados por quatro (4) meses, restrito ao período do verão (Dezembro/2014 a Março/2015).



Figura 99: Telhados verdes com blocos TEVA e de concreto, instalados em protótipos no NUPPA.
Fonte: Acervo Próprio.

Na sequência encontra-se um resumo fotográfico do acompanhamento ao longo de quatro (4) meses.





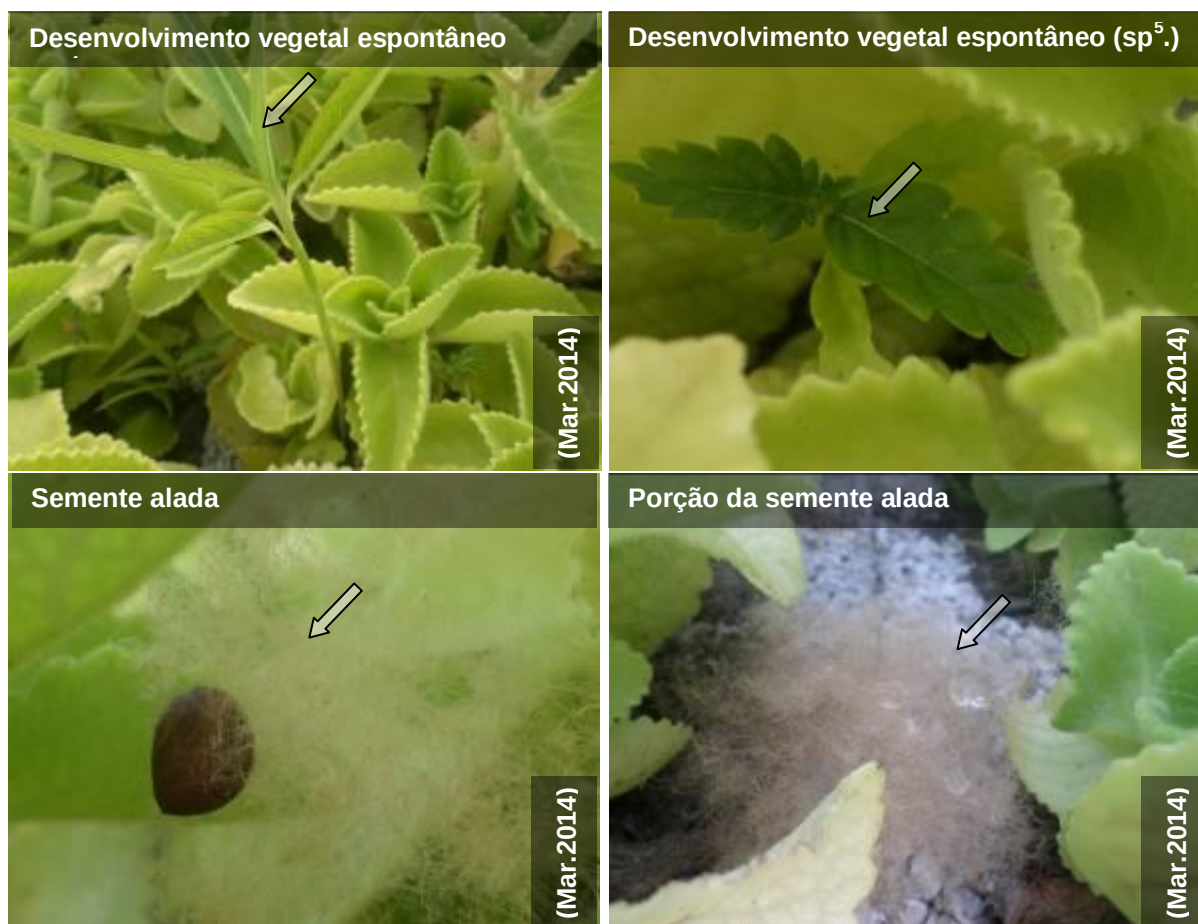


Figura 100: Acompanhamento dos Telhados Verdes com blocos TEVA e com blocos de concreto, instalados nos protótipos no NUPPA.

Fonte: Acervo Próprio.

Conforme visto na Figura 100, houve poucas espécies vegetais se desenvolvendo espontaneamente, o que pode ter relação com o fato da vegetação de hortelãs nos protótipos estarem bem densas, de modo a não proporcionar espaços vazios para espécies vegetais oportunistas. Uma semente alada⁸ foi encontrada entre as folhagens, e no que se refere a animais foi visto apenas uma aranha ao longo desse período de observação, de modo que se levou a hipotetizar que a pouca variabilidade de espécies vegetais, promove a pouca atração de animais. Mas, trata-se de uma especulação que demanda de maiores investigações.

No dia 06/02/15 os blocos TEVA foram observados por baixo, quando não se identificou nenhuma expansão do sistema radicular da planta, *Coleus amboinicus*. Supõe-se que o principal motivo foi o desenvolvimento lento das plantas, devido à utilização de apenas gemas apicais no processo de vegetação dos blocos e o fornecimento de água, que foi muito limitado durante o período analisado.

⁸ São sementes que apresentam estruturas que possibilitam o “vôo” como mecanismo de dispersão.

5.4. - Comportamento térmico individual em diferentes tipos de coberturas

Como explicado nos procedimentos metodológicos, com as medições térmicas feitas individualmente por cada protótipo tornou possível se determinar a contribuição térmica de cada elemento vertical e horizontal do protótipo (cobertura, parede e piso) na média de sua temperatura do ar interno.

A apresentação dos resultados referente ao estudo térmico nos protótipos com diferentes coberturas não seguiu a ordem cronológica da coleta de dados, mas outra lógica conforme o comportamento térmico dos diferentes protótipos, de acordo com as coberturas mais quentes até as mais frias. Isto é, na seguinte sequência: Protótipo com Laje exposta, Protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, Protótipo com telha cerâmica sobre a laje, Protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje e, finalmente, Protótipo com blocos TEVA sobre a laje.

Um destaque deve ser dado aqui, que as temperaturas do ar interno (nos protótipos) são mais elevadas que as temperaturas do ar externo, isto se deve principalmente a dois fatos: pelo tamanho reduzido dos protótipos, e pelos mesmos não possuírem circulação de ar, mantendo-se fechados por todas as medições.

5.4.1. Protótipo com Laje exposta

O

Gráfico 06 apresenta as temperaturas do ar, no ambiente externo ao protótipo, registrado pela estação meteorológica local, durante essa semana.

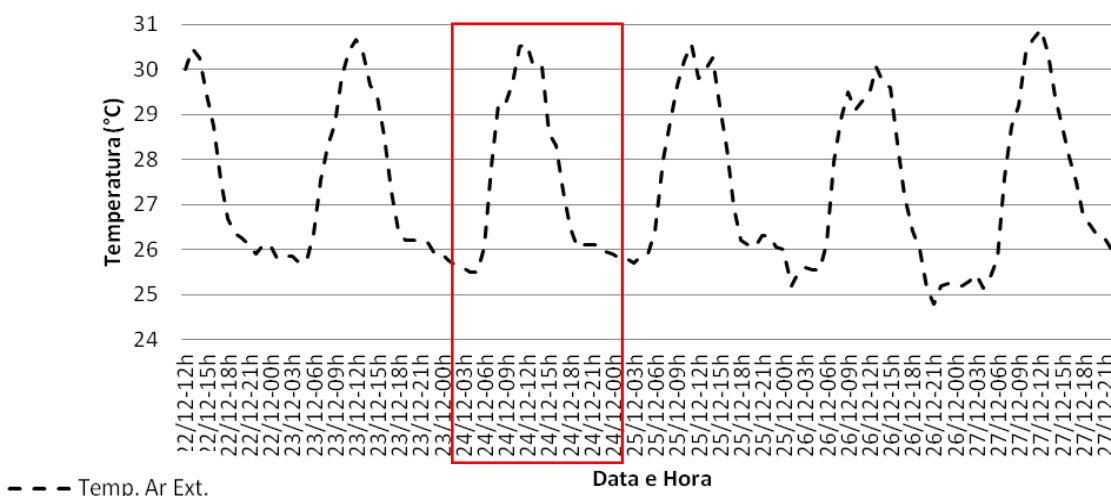


Gráfico 06: Temperatura do ar externo na semana 01 de análise (22 de Dezembro a 27 de Dezembro) destaque para o dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Em destaque, pode-se ver o dia típico de verão selecionado para análise dos outros resultados. A semana de análise do protótipo com Laje exposta pode-se dizer que teve todos os seus dias considerados dias típicos de verão, levando em conta o critério de a temperatura máxima diária ser igual a 30,9°C.

O elemento climático utilizado para definir o dia típico de verão aqui foi a temperatura, como já dito, contudo, também foi considerada a variável precipitação de água de chuva para excluir alguns dias, mesmo que apresentassem temperatura de dia típico de verão. A Tabela 12 mostra um resumo das medições durante a semana, referente às temperaturas máximas e mínimas de cada dia, bem como do volume de água de chuva precipitado no local.

Tabela 12: Elementos climáticos na semana 01 de análise (22 de Dezembro a 27 de Dezembro), com destaque para o dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Elementos Climáticos	Datas das medições em 2014					
	22-12	23-12	24-12	25-12	26-12	27-12
Temperatura máxima (°C)	30,4	30,6	30,55	30,3	30,0	30,9
Amplitude diária (°C)	4,5	4,9	5,00	4,6	4,8	5,8
Temperatura mínima (°C)	25,9	25,7	25,50	25,7	25,2	25,1
Umidade relativa máxima (%)	83,5	84,5	83,50	83,0	84,5	85
Umidade relativa mínima (%)	69,5	68,5	68,00	65,5	67,5	67,5
Precipitação pluviométrica máxima (mm)	0,0	0,0	0,00	0,0	0,3	0,0

Sendo assim, a fim de evitar interferências nos dados coletados das temperaturas superficiais nos elementos verticais e horizontais dos protótipos, os dias com precipitação pluviométrica, mesmo que em pequena quantidade, sempre que possível, foram descartados. Nesse caso, o dia excluído foi 26-12-14. Entre os dias 22 e 25 de dezembro de 2014, houve certa estabilidade nas temperaturas registradas, por isso seguindo o critério de trabalhar com a sequência de três dias semelhantes e analisar o terceiro, selecionou-se o dia 24-12-14 para a análise do protótipo com laje exposta.

Nesta análise, dos oito (8) termopares, cinco (5) ficaram ativos, localizados nos seguintes pontos: 1- Parede Externa (P. Ext.); 2- Teto Externo (T. Ext.); 5- PISO Interior (PISO); 6- Teto Interno (T. Int); 8- Parede Interna (P. Int). Os resultados estão na Tabela 13.

Tabela 13: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com Laje exposta, no dia típico de verão selecionado (24-12-14). Em destaque as máximas e mínimas temperaturas registradas.

Fonte: Acervo Pessoal

Tempo Hora	Teto		Parede		PISO (°C)
	T. Ext (°C)	T. Int (°C)	P. Ext (°C)	P. Int (°C)	
00h	26,41	27,31	26,75	28,16	29,77
01h	26,09	26,95	26,46	27,84	29,62
02h	25,82	26,62	26,23	27,5	29,46
03h	25,6	26,35	26,03	27,23	29,3
04h	25,44	26,13	25,91	27,01	29,16
05h	25,39	25,94	25,96	26,81	29,02
06h	25,78	25,88	26,59	26,72	28,89
07h	26,78	26,12	27,67	26,83	28,81
08h	29,19	27,53	29,77	27,78	28,98
09h	30,93	28,86	30,8	28,58	29,15
10h	32,8	30,44	32,41	29,49	29,33
11h	34,13	32,1	33,62	30,56	29,38
12h	34,7	32,9	34,61	30,85	29,67
13h	35,86	34,44	35,95	32,39	30,17
14h	35,19	34,9	34,76	33,22	30,49
15h	34,11	34,43	33,81	33,37	30,72
16h	32,59	33,55	31,93	33,07	30,8
17h	30,87	32,37	30,13	32,33	30,77
18h	29,5	31,07	29,07	31,34	30,65
19h	28,64	29,94	28,51	30,45	30,49
20h	28,11	29,17	28,19	29,79	30,35
21h	27,54	28,57	27,67	29,26	30,19
22h	27,03	28,03	27,25	28,78	30,02
23h	26,59	27,53	26,9	28,35	29,85
24h	26,29	27,14	26,65	27,98	29,68

Conforme os resultados, aproximadamente às 15h as temperaturas superficiais no teto, interna e externa se igualam. Depois disto, as temperaturas superficiais internas serão mais elevadas do que as externas, até às 5h; entre 5h e 6h da manhã praticamente se igualam, mas a partir das 7h as temperaturas superficiais externas começam a se elevar, geralmente, permanecendo com 2°C de diferença com relação as temperatura superficiais internas, até atingir os picos máximos.

Na Tabela 13, pode-se ver ainda que é entre 13h e 14h que ocorrem os maiores picos de temperaturas superficiais, externa e interna, na cobertura, com diferença de cerca de 1°C e um atraso térmico de cerca de 1h. A mesma observação

se aplica ao comportamento térmico da parede oeste, contudo com um atraso térmico de 2h e diferença entre temperatura superficial externa e interna de 2,58°C.

Esse resultado é similar àquele encontrado em estudo realizado em Santa Catarina-SC (LAMBERTS, 2010), sendo em um protótipo com dimensões reais de uma residência, onde os valores mínimos e máximos de temperatura superficial da parede oeste e da cobertura foram semelhantes (para cobertura metálica). Mas, no referido estudo, constatarem-se resultados diferentes quanto aos horários dos picos máximos de temperatura que na parede da fachada oeste teve os valores máximos por volta das 16h. Isto, explica-se entre alguns motivos, pelas diferentes latitudes entre as cidades onde se realizaram as medições (João Pessoa/PB e Santa Catarina/SC).

Em geral, aqui, nesta análise, percebe-se que as temperaturas superficiais externas do teto e da parede têm registros similares no protótipo com laje exposta, conforme se visualiza mais facilmente no Gráfico 07.

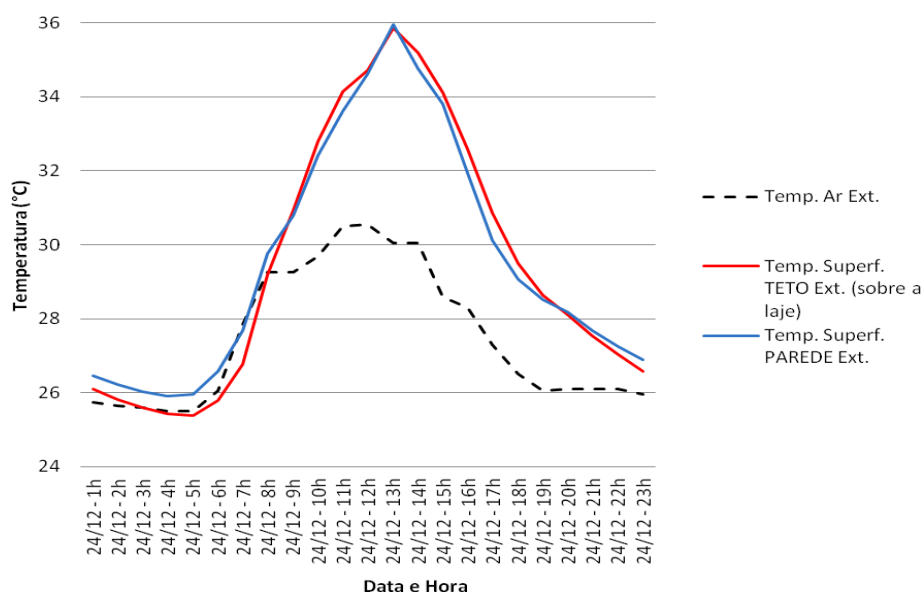


Gráfico 07: temperaturas superficiais externas (teto e paredes) no protótipo com Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Contudo, no ambiente interno, a maior contribuição no aumento da temperatura do ar provém da cobertura, ou seja, do aumento da temperatura superficial interna do teto, conforme apresentado no Gráfico 08.

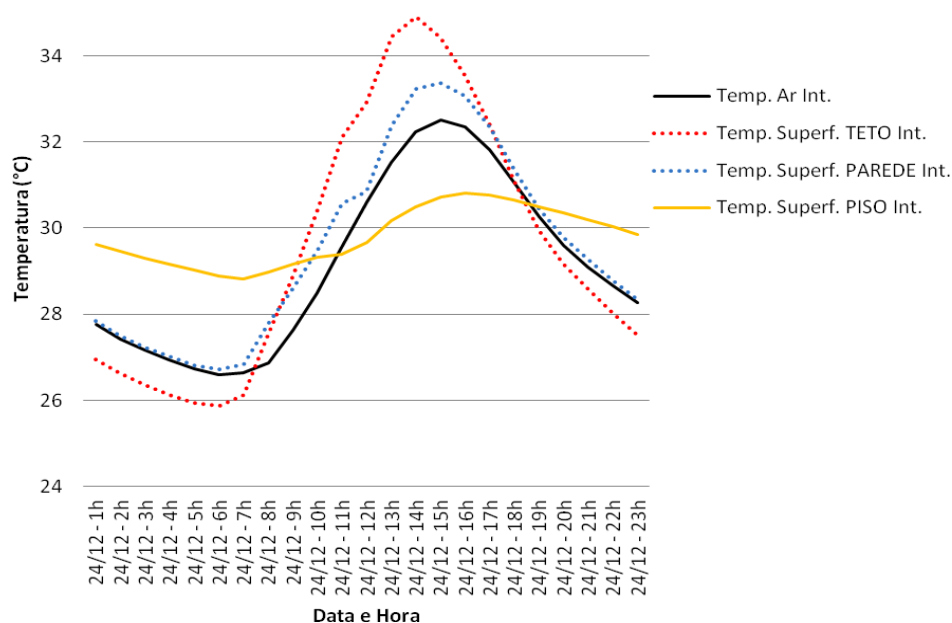


Gráfico 08: Temperaturas superficiais internas e temperatura do ar interno no protótipo Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Por fim, o piso interno do protótipo é o que possui menor contribuição térmica na variação da temperatura do ar interno do protótipo e é o que apresenta menor amplitude térmica ao longo do ciclo de 24 horas (Tabela 14).

Tabela 14: Amplitudes térmicas das superfícies externas e internas do teto, parede e piso no protótipo Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

		TETO	PAREDE	PISO
	Temperatura máx °C	35,86	35,95	
EXTERNAMENTE	AMPLITUDE TERM	10,47	9,99	
	Temperatura mín °C	25,39	25,96	
	Temperatura máx °C	34,9	33,37	30,77
INTERNAMENTE	AMPLITUDE TERM	9,02	6,65	1,96
	Temperatura mín °C	25,88	26,72	28,81

A amplitude térmica no que se refere à cobertura é tão elevada para as temperaturas superficiais externas quanto para as internas. A laje com impermeabilização branca, embora seja bastante reflexiva, ainda assim, permite uma grande transferência de calor do ambiente externo para o interno.

Portanto, como esperado, os resultados confirmam que o aumento da temperatura do ar interno ao protótipo é mais influenciado pela cobertura do que pela parede (oeste) e pelo solo, este último sendo o menor entre os demais. Uma compreensão geral da contribuição de cada parte pode ser vista no Gráfico 09.

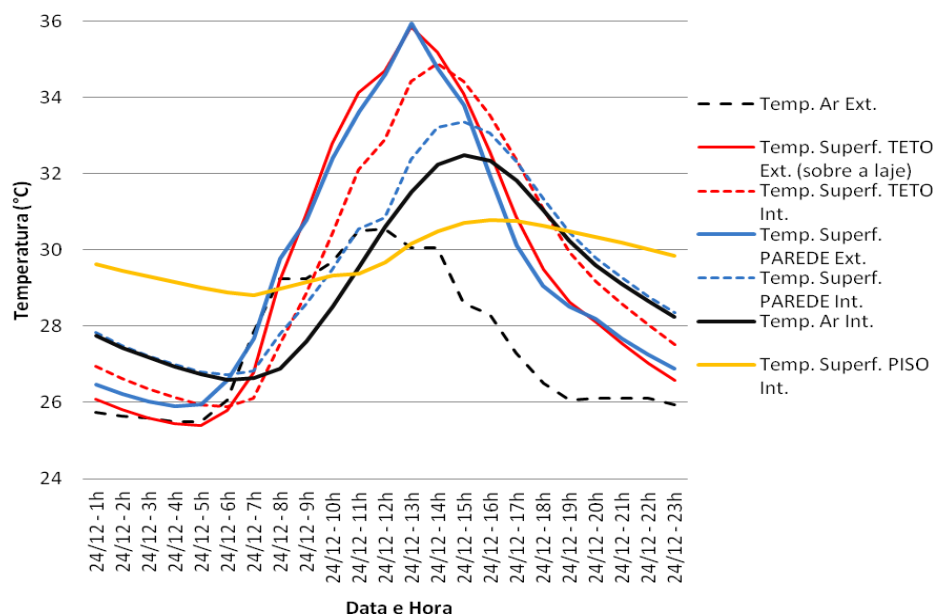


Gráfico 09: Comportamento térmico no protótipo Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado, a partir de vários registros de temperatura superficiais e do ar, externo e interno.

Fonte: Acervo Pessoal

No dia típico de verão analisado, a temperatura máxima do ar interno no protótipo com laje exposta foi em torno dos 32,5°C, conforme se vê no Gráfico 09. Para esse mesmo dia, no ambiente externo a temperatura do ar máxima ficou em torno dos 30,5, ou seja, com uma diferença de 2°C de um meio para o outro.

Estendendo esta análise para a semana, Gráfico 10, a diferença aproximada de 2°C entre a temperatura do ar, externo e interno, permaneceu, uma vez que as temperaturas máximas (do ar) externas variaram entre 30°C e 31°C e as máximas (do ar) internas entre 31,5°C e 33°C.

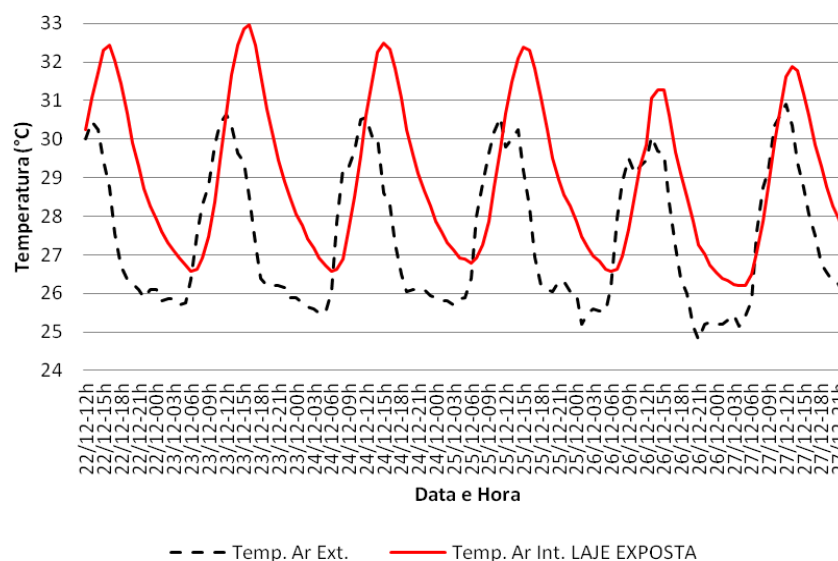


Gráfico 10: Temperatura do ar externo, e do ar interno no protótipo com Laje exposta.

Fonte: Acervo Pessoal

5.4.2. Protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje

Os registros de temperatura feitos no protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje coincidiram com uma semana de temperaturas altas na região, conforme se vê no

Gráfico 11.

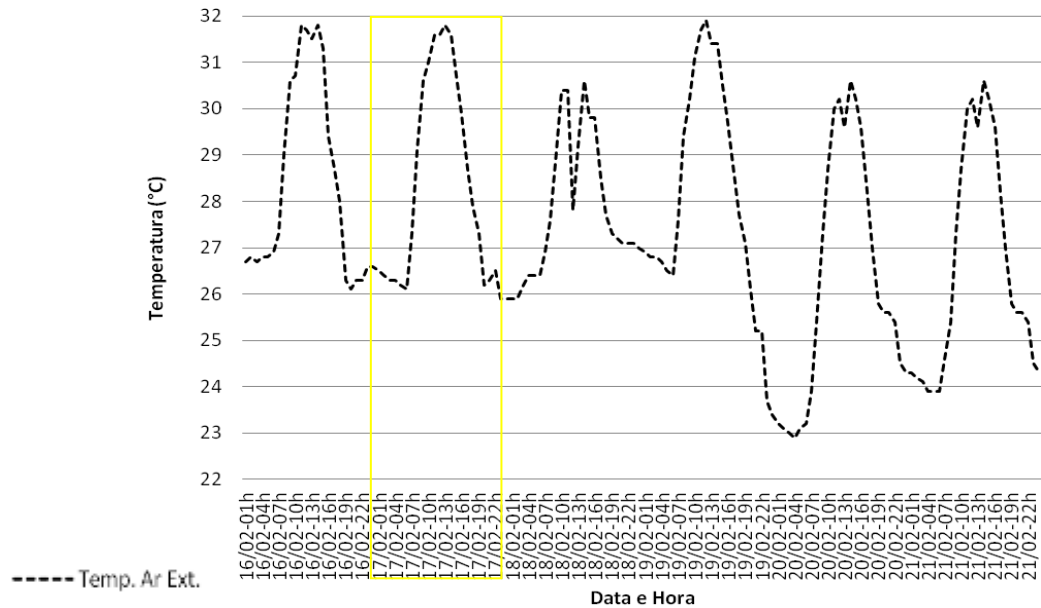


Gráfico 11: Temperatura do ar externo na semana 09 de análise (16 a 21 de fevereiro de 2015)
Fonte: Acervo Pessoal

Em todos os dias dessa semana houve precipitação pluviométrica, com os baixos índices registrados no início da semana. O dia selecionado como dia típico de verão foi 17 de Fevereiro de 2015, por ele ser precedido de um dia com medições similares e pela mais baixa precipitação pluviométrica ocorrida nesse dia, conforme Tabela 15.

Tabela 15: Elementos climáticos na semana 09 de análise (16 de Fevereiro a 21 de Fevereiro), com destaque para o dia típico de verão selecionado.
Fonte: Acervo Pessoal

		Datas das medições em 2015				
Elementos Climáticos	16-02	17-02	18-02	19-02	20-02	21-02
Temperatura máxima (°C)	31.8	31.8	30.6	31.9	30.6	30.5
Amplitude diária (°C)	5,7	5,9	4,7	8,2	7,7	7,7
Temperatura mínima (°C)	26.1	25.9	25.9	23.7	22.9	22.8
Umidade relativa máxima (%)	91	90	90	94	97	98
Umidade relativa mínima (%)	67	66	69	64	71	71
Precipitação pluviométrica máxima (mm)	0.80	0.40	1.8	9.8	2.6	6.6

O dia típico analisado possui temperatura máxima 0.9°C maior do que aquela identificada para o dia típico de verão para a localidade (João Pessoa-PB). Apesar de haver dias na semana de medições, com temperaturas máximas menores, a precipitação pluviométrica foi alta, quando comparada com os dois primeiros dias da semana. Além disso, os horários dessas precipitações coincidiram com horários de temperatura máxima, como por exemplo, em torno do meio dia, o que afetava significativamente nos resultados das leituras térmicas. Segue na Tabela 16 os registros de temperaturas superficiais dos elementos verticais e horizontais do protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje.

Tabela 16: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (17-02-14). Em destaque as máximas e mínimas temperaturas registradas.

Fonte: Acervo Pessoal

Tempo Hora	Teto			Parede		PISO (°C)
	T. Ext Sobre telha (°C)	T. Ext. Sob telha (°C)	T. Int (°C)	P. Ext (°C)	P.Int (°C)	
00:00	25,37	27,57	29,54	27,15	28,76	31,37
01:00	25,43	27,28	29,04	26,93	28,39	31,20
02:00	25,41	27,06	28,62	26,74	28,06	31,02
03:00	25,12	26,74	28,26	26,52	27,81	30,85
04:00	25,11	26,52	27,94	26,33	27,54	30,68
05:00	25,56	26,48	27,64	26,30	27,32	30,51
06:00	28,27	27,55	27,40	27,14	27,18	30,35
07:00	34,97	32,04	27,80	29,66	27,76	30,22
08:00	37,03	33,77	28,70	31,46	28,60	30,30
09:00	39,13	36,17	29,90	32,99	29,68	30,45
10:00	40,11	37,54	31,33	34,43	30,87	30,68
11:00	41,87	38,91	32,74	37,12	32,06	30,95
12:00	39,78	38,35	34,07	38,06	33,37	31,25
13:00	39,83	37,74	35,01	38,45	34,31	31,56
14:00	36,89	36,61	35,51	39,25	35,06	31,85
15:00	34,95	35,30	35,67	38,60	35,59	32,10
16:00	30,19	33,66	35,45	34,48	35,47	32,29
17:00	28,35	32,35	34,85	31,98	34,41	32,33
18:00	26,26	31,05	34,04	30,46	33,19	32,19
19:00	26,34	30,42	33,11	29,54	32,07	32,07
20:00	26,26	29,75	32,26	28,87	31,14	31,94
21:00	25,70	29,06	31,49	28,23	30,40	31,75
22:00	25,59	28,61	30,77	27,80	29,75	31,57
23:00	25,66	28,25	30,13	27,51	29,21	31,39
00:00	25,35	27,76	29,60	27,23	28,79	31,22

Considerando o teto do lado externo, sobre e sob a telha de fibrocimento, as temperaturas superficiais máximas ocorrem aproximadamente às 11h (mais cedo do que no caso anterior), enquanto na superfície da parede externa ocorre às 14h. Sob a telha de fibrocimento a temperatura superficial é quase 3°C menor do que sobre essa mesma telha, conforme pode ser mais bem visualizado no Gráfico 12.

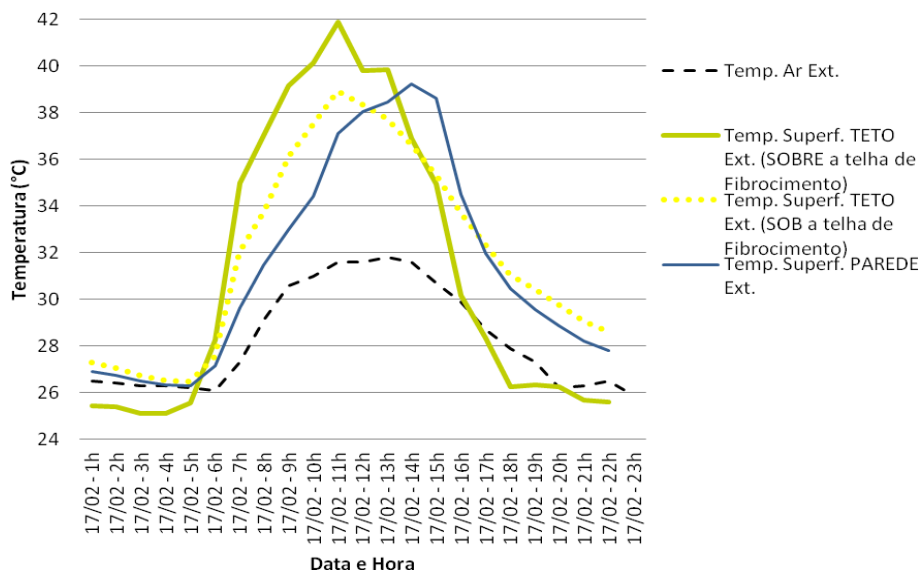


Gráfico 12: Temperaturas superficiais externas (teto e parede) no protótipo com telha de fibrocimento sobre laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

No ambiente interno, também é o teto que possui a temperatura de superfície mais elevada, embora, a diferença entre a temperatura máxima dessa superfície e da parede seja pequena, de apenas 0,08 °C (Gráfico 13).

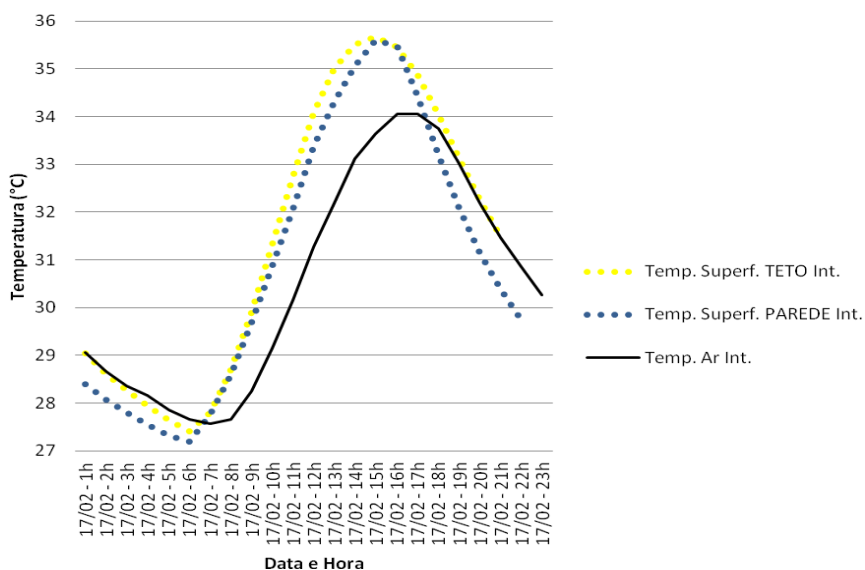


Gráfico 13: Temperaturas superficiais internas no protótipo com telhas de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Deste modo, essa análise também confirma que a contribuição térmica da cobertura no aumento da temperatura interna ao protótipo é a maior, comparada à proveniente da parede e do piso (Gráfico 14). Por outro lado, percebe-se uma diferença nos valores das temperaturas superficiais máximas, que sempre foram maiores para o protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, comparadas ao caso anterior (laje exposta). O mesmo pode-se dizer sobre a comparação entre as temperaturas do ar no interior dos dois protótipos, porém deve-se considerar que a temperatura do ar externo nos dois casos também são diferentes, sendo maior (1,8°C) durante as medições do protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje.

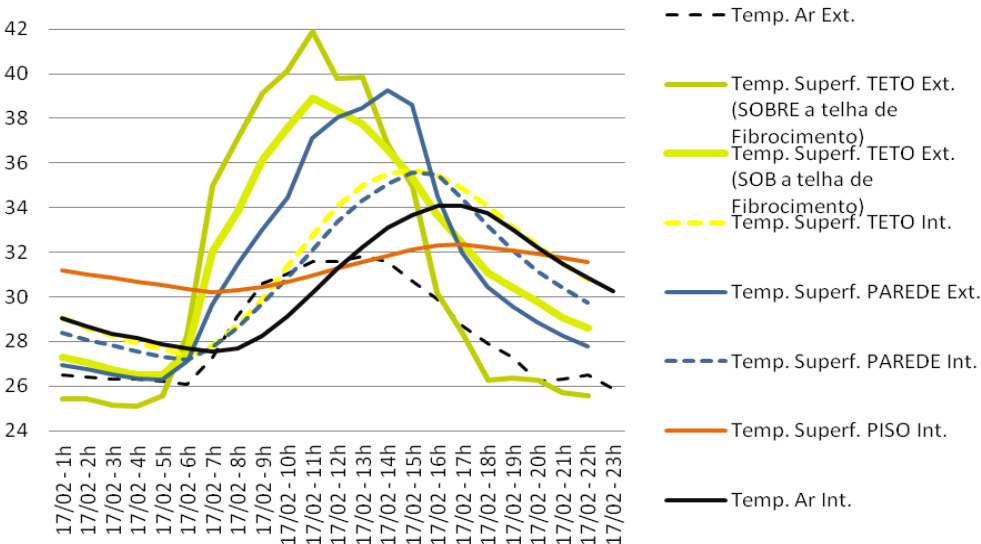


Gráfico 14: Comportamento térmico no protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Na Tabela 17, apresentam-se as amplitudes térmicas, externa e interna, do teto, da parede e do piso para o protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje.

Tabela 17: Amplitude térmica das superfícies externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

		TETO	PAREDE	PISO
EXTERNAMENTE (Sobre a telha de fibrocimento)	Temperatura máx °C	41,86	39,24	
	AMPLITUDE TERM	16,76	12,94	
	Temperatura mín °C	25,10	26,30	
INTERNAMENTE	Temperatura máx °C	35,67	35,58	32,33
	AMPLITUDE TERM	8,27	8,40	2,11
	Temperatura mín °C	27,40	27,18	30,22

Mais uma vez, como esperado, a amplitude térmica relativa à temperatura superficial externa é significativamente maior no teto do que na parede, contudo, essa mesma análise para o ambiente interno os valores são bem próximos. No caso da temperatura superficial do piso a amplitude térmica é a menor de todas elas.

Comparando-se a temperatura do ar externo com a temperatura do ar interno ao protótipo nota-se (Gráfico 15) que no dia típico de verão a diferença entre esses dois ambientes foi de aproximadamente 2°C, comportamento similar ao do protótipo com Laje Exposta. Nos demais dias, não considerados como dias típicos de verão, essa diferença foi menor.

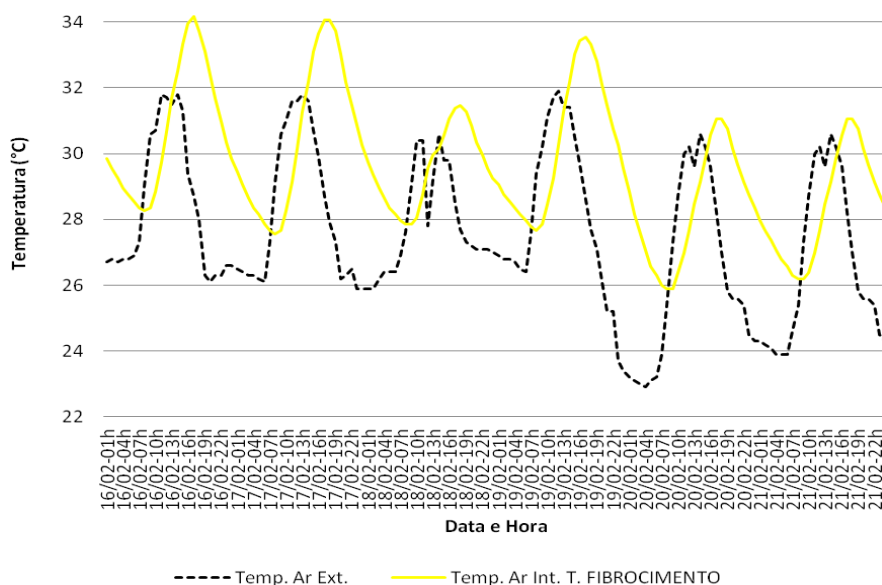


Gráfico 15: Temperatura do ar externo, e do ar interno no protótipo com telhas de fibrocimento sobre a laje.

Fonte: Acervo Pessoal

5.4.3. Protótipo com telha cerâmica sobre a laje

Na semana de medições no protótipo com telhas cerâmicas sobre a laje o dia 14/02/15 foi selecionado como dia típico de verão, como se nota no Gráfico 16. Na verdade, tratou-se também de uma semana com altas temperaturas no local, quando todos os dias da semana de medição excederam a temperatura máxima do ar do dia típico de verão para a capital paraibana.

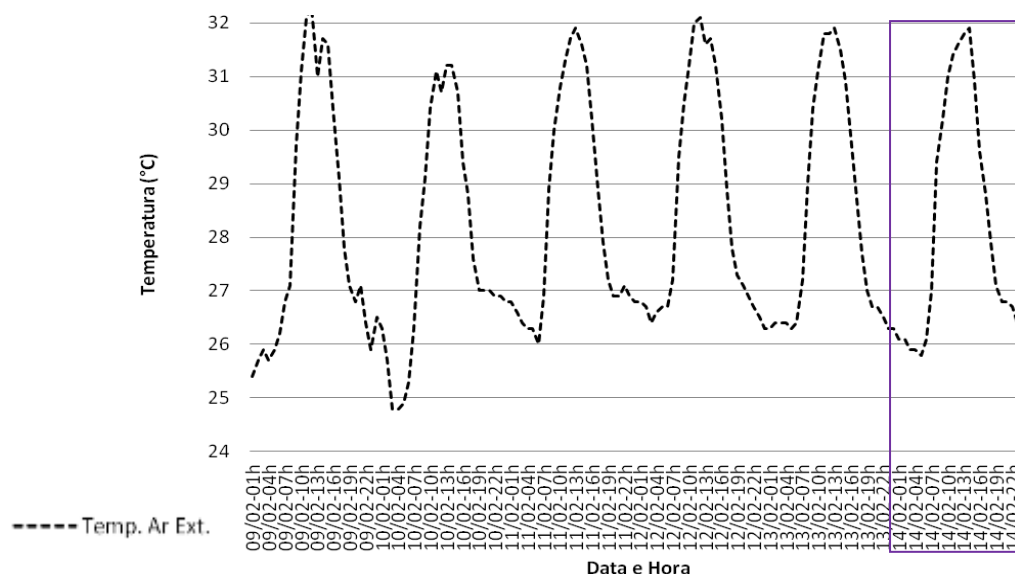


Gráfico 16: Temperatura do ar externo na semana 08 de análise (09 de Fevereiro a 14 de Fevereiro de 2015) destaque para o dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Da mesma forma que foi realizada no caso anterior, foram excluídos os dias em que se registraram na estação meteorológica local precipitação pluviométrica, bem como aqueles dias que registraram temperaturas acima de 32°C, por considerar que esse valor se distancia muito da máxima para um dia típico de verão. Desta forma, o dia 14/02/2015 foi o dia selecionado, embora ainda seja com temperatura do ar máxima de 1°C mais elevado que o dia típico de verão em João Pessoa-PB.

Tabela 18: Elementos climáticos na semana 08 de análise (09 de Fevereiro a 14 de Fevereiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Elementos Climáticos	Datas das medições em 2015					
	09-02	10-02	11-02	12-02	13-02	14-02
Temperatura máxima (°C)	32.3	31.2	31.9	32.1	32.7	31.9
Amplitude diária (°C)	6.9	6.4	5.9	5.7	6.4	6.1
Temperatura mínima (°C)	25.4	24.8	26.0	26.4	26.3	25.8
Umidade relativa máxima (%)	86	94	86	85	84	83
Umidade relativa mínima (%)	64	67	65	69	64	61
Precipitação pluviométrica máxima (mm)	0.4	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0

As temperaturas superficiais internas e externas dos elementos verticais e horizontais do protótipo com cobertura com telha cerâmica sobre laje, no dia típico selecionado, para análise do comportamento térmico desse protótipo encontram-se na Tabela 19.

Tabela 19: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com telha cerâmica sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (14-02-2015). Em destaque as máximas e mínimas temperaturas registradas.

Fonte: Acervo Pessoal

Tempo Hora	Teto			Parede		PISO (°C)
	T. Ext Sobre telha (°C)	T. Ext. Sob telha (°C)	T. Int (°C)	P. Ext (°C)	P. Int (°C)	
00:00	26,54	28,85	30,39	27,44	28,99	31,43
01:00	26,15	28,71	29,95	27,21	28,69	31,28
02:00	26,27	28,22	29,57	27,09	28,42	31,13
03:00	25,96	27,86	29,21	26,81	28,18	30,98
04:00	26,36	27,67	28,88	26,85	27,95	30,83
05:00	26,14	27,42	28,60	26,65	27,78	30,69
06:00	27,86	27,71	28,33	27,16	27,62	30,54
07:00	30,90	28,84	28,17	28,02	27,65	30,41
08:00	35,68	30,87	28,05	29,36	27,70	30,19
09:00	38,67	32,84	28,57	30,92	28,43	30,22
10:00	40,38	34,36	29,44	32,56	29,42	30,36
11:00	41,58	35,98	30,49	34,21	30,55	30,56
12:00	41,78	36,84	31,65	36,94	31,74	30,82
13:00	41,79	37,33	32,78	39,22	33,06	31,11
14:00	38,68	36,19	33,79	39,44	34,39	31,44
15:00	34,99	34,75	34,43	37,34	35,14	31,76
16:00	33,09	33,80	34,58	35,73	35,04	31,98
17:00	29,94	32,87	34,42	33,30	34,54	32,13
18:00	27,58	31,89	34,01	31,11	33,61	32,18
19:00	26,92	30,95	33,43	29,81	32,51	32,12
20:00	26,80	30,36	32,77	28,96	31,52	32,01
21:00	26,58	29,80	32,11	28,36	30,70	31,87
22:00	26,16	29,37	31,49	27,76	30,02	31,74
23:00	26,18	29,16	30,91	27,45	29,43	31,58

Como esperado, mais uma vez a contribuição da elevação da temperatura superficial externa é maior sobre a cobertura, que é executada com telhas cerâmica, mas nesse caso há uma redução de cerca de 4°C para as medições feitas sob essas telhas, o que leva a contribuição da elevação da temperatura superficial externa da parede (oeste) se sobressair em relação a essa última medição, conforme visto no Gráfico 17.

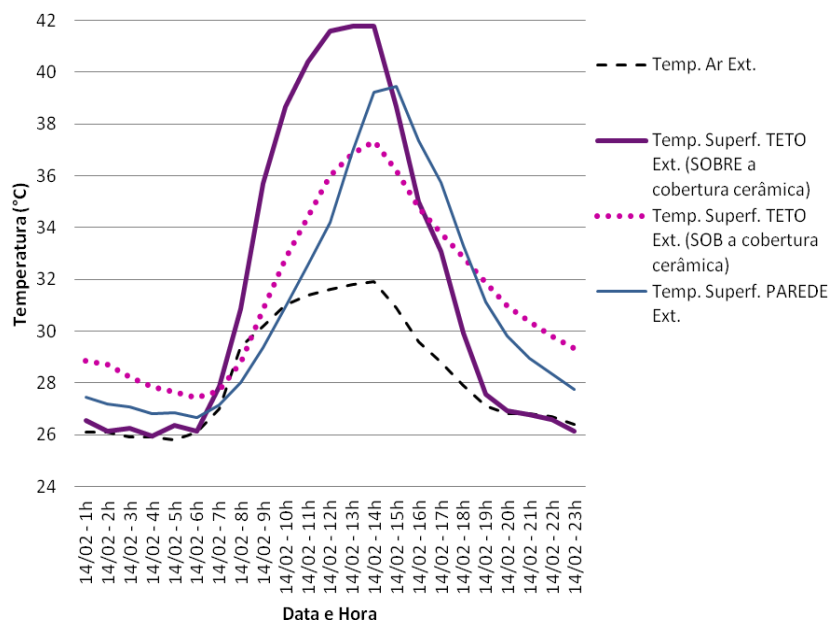


Gráfico 17: Temperaturas superficiais (teto e parede) e do ar externas no protótipo com telhas cerâmicas sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Nota-se ainda, pelos dados apresentados no Gráfico 18 que a elevação da temperatura do ar no ambiente interno ao protótipo recebe contribuição da elevação das temperaturas superficiais internas da parede e do teto de forma similar entre 9:00 horas e 14:00 horas, contudo, a contribuição da parede passa a ser maior em alguns momentos, no pico de temperatura no meio da tarde, enquanto a contribuição do teto nos demais momentos.

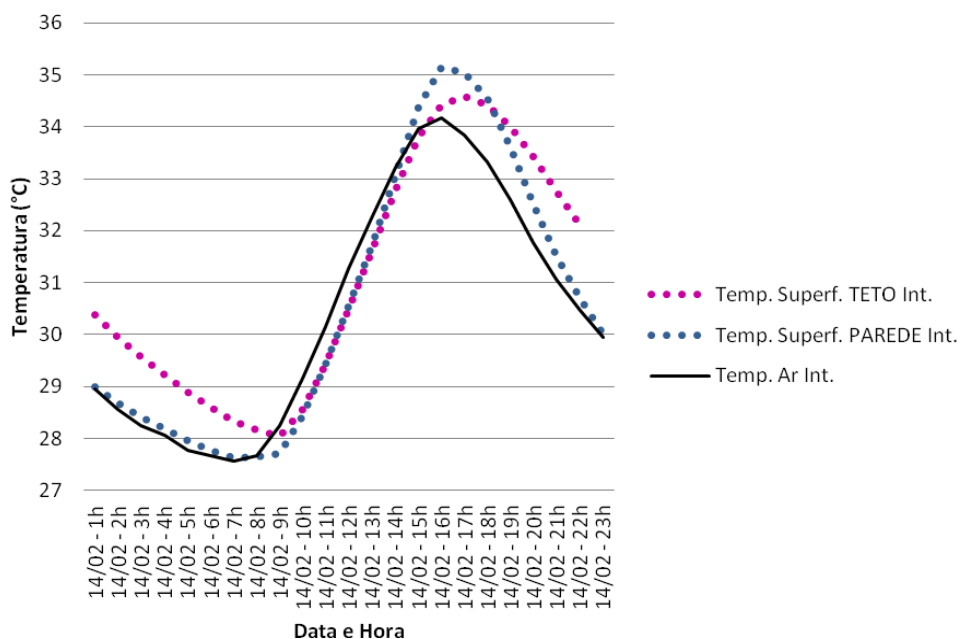


Gráfico 18: Temperaturas superficiais (teto e parede) e do ar internas no protótipo com telhas cerâmicas sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Na Tabela 20, nota-se que as amplitudes térmicas referentes às temperaturas superficiais internas do teto e da parede são bem próximas, enquanto a amplitude térmica relativa ao piso é bem inferior, como ocorre nos casos anteriores.

Tabela 20: Amplitude térmica das superfícies externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com telhas cerâmicas sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

		TETO	PAREDE	PISO
EXTERNAMENTE (Sobre a telha cerâmica)	Temperatura máx °C	41,78	39,43	
	AMPLITUDE TERM	15,8	12,78	
	Temperatura mín °C	25,95	26,65	
	Temperatura máx °C	34,41	35,14	32,17
INTERNAMENTE	AMPLITUDE TERM	6,36	7,49	1,98
	Temperatura mín °C	28,04	27,65	30,19

No Gráfico 19 apresenta-se o comportamento térmico do protótipo com cobertura com telhas cerâmicas sobre a laje, considerando todos os registros de temperaturas superficiais (parede e teto) e do ar, externo e interno.

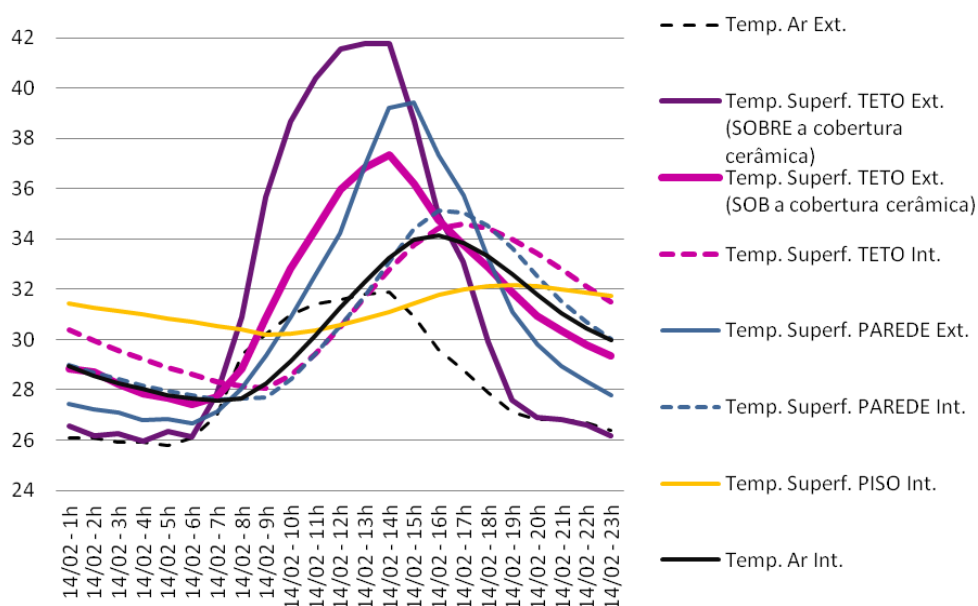


Gráfico 19: Comportamento térmico no protótipo com telhas cerâmicas sobre laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

No dia típico de verão (14-02-2015) selecionado para analisar os dados coletados com o protótipo com telhas cerâmicas sobre a laje, a diferença entre a temperatura do ar externo e do ar interno foi de aproximadamente de 2°C, mantendo a mesma diferença encontrada nos dois protótipos analisados anteriormente (com cobertura de laje exposta e com cobertura de fibrocimento sobre a laje). Nos demais

dias da semana de medições com o protótipo com telhas cerâmicas sobre a laje a diferença foi igual ou inferior aos 2°C, conforme se vê no Gráfico 20.

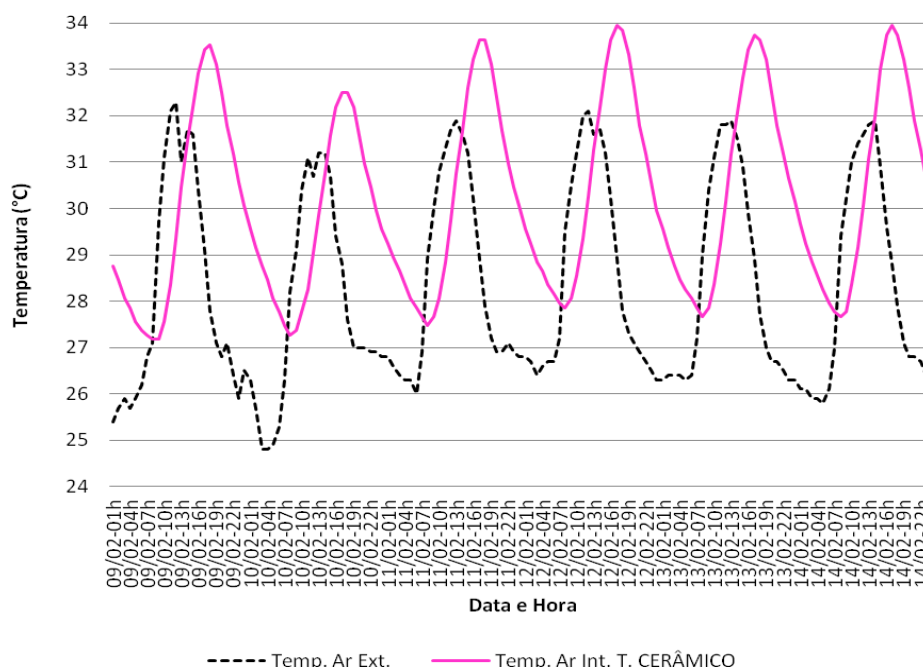


Gráfico 20: Temperatura do ar externo e da temperatura do ar interno no protótipo com cobertura de telhas cerâmicas na semana 08 de análise (09 de Fevereiro a 14 de Fevereiro de 2015).

Fonte: Acervo Pessoal

5.4.4. Protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje

A semana de medições com o protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje foi de altas temperaturas e baixa precipitação pluviométrica, ocorrendo chuva no local em apenas um dia (29-01-2015). O dia típico de verão selecionado correspondeu ao primeiro dia (26/01/15), em destaque no Gráfico 21. Uma vez que se tratou do único dia em que se conseguiram os registros de 24h completos, uma vez que durante a semana de medições ocorreram quedas frequentes de energia elétrica, decorrente de uma manutenção na rede elétrica nas proximidades do NUPPA, o que dificultou o registro de dados pelo sistema de aquisição de forma completa nos outros dias, de acordo com os períodos programados para coleta.

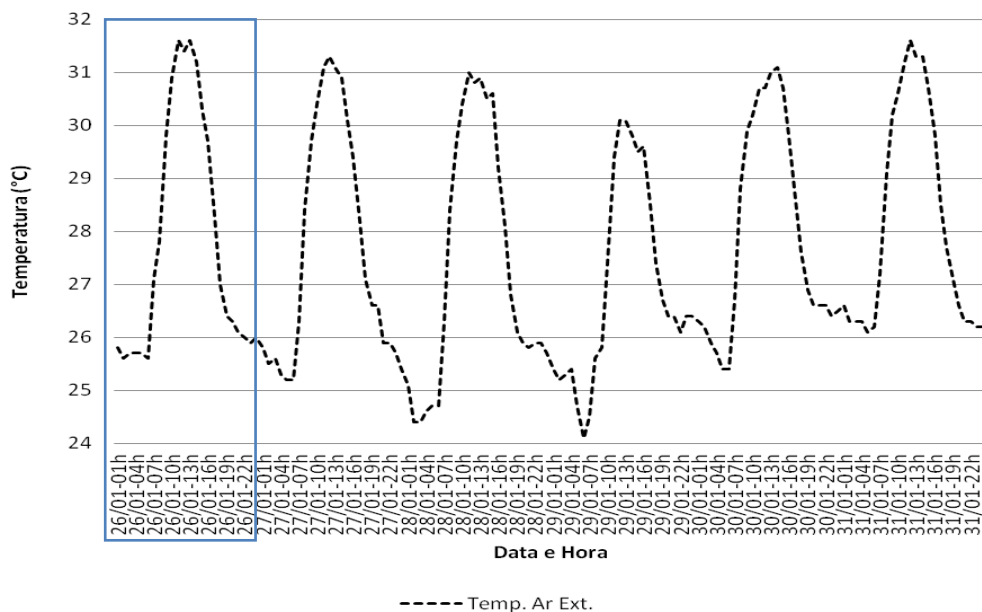


Gráfico 21: Temperatura do ar externo na semana 06 de análise (26 de Janeiro a 31 de Janeiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Apesar disso, o dia selecionado como típico de verão para análise dos dados desse protótipo é semelhante aos demais dias típicos da semana, considerando os valores dos elementos climáticos registrados (exceto para aquele quando teve ocorrência de chuva), conforme se vê na Tabela 21.

Tabela 21: Elementos climáticos na semana 06 de análise (26 de Janeiro a 31 de Janeiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Elementos Climáticos	Datas das medições em 2015					
	26-01	27-01	28-01	29-01	30-01	31-01
Temperatura máxima (°C)	31,6	31,3	31,0	30,1	31,1	31,6
Amplitude diária (°C)	6,0	6,9	6,6	6,0	5,7	5,5
Temperatura mínima (°C)	25,6	25,2	24,4	24,1	25,4	26,1
Umidade relativa máxima (%)	83,0	80,0	82,0	94,0	84,0	84,0
Umidade relativa mínima (%)	63,0	58,0	61,0	70,0	64,0	67,0
Precipitação pluviométrica máxima (mm)	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0

Os registros das temperaturas superficiais, externas e internas, dos elementos verticais e horizontais do protótipo com telhado verde com blocos de concreto sob a laje podem ser vistas, na Tabela 22.

Tabela 22: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (26-01-14). Destaque para as temperaturas máximas e mínimas registradas.

Fonte: Acervo Pessoal

Tempo Hora	Teto				Parede		PISO (°C)
	T. Ext. Sobre Solo (°C)	T. Ext. Sob Solo (°C)	T. Ext. Sob Bloco (°C)	T. Int (°C)	P. Ext (°C)	P. Int. (°C)	
00:00	26,68	27,56	27,84	28,82	26,77	28,43	30,07
01:00	26,45	27,27	27,57	28,55	26,41	28,07	29,94
02:00	26,28	27,01	27,33	28,29	26,25	27,74	29,79
03:00	26,16	26,79	27,13	28,05	26,11	27,49	29,67
04:00	26,11	26,62	26,97	27,83	26,07	27,29	29,54
05:00	26,01	26,47	26,81	27,62	25,99	27,15	29,41
06:00	26,26	26,37	26,76	27,42	26,65	27,01	29,28
07:00	27,72	26,76	27,15	27,20	28,60	27,24	29,14
08:00	29,32	27,56	27,77	27,23	30,05	27,81	29,15
09:00	31,06	28,68	28,59	27,44	31,68	28,70	29,24
10:00	32,53	29,89	29,48	27,86	33,43	29,81	29,43
11:00	33,84	31,19	30,25	28,42	35,32	31,00	29,67
12:00	34,93	32,34	30,92	29,06	37,45	32,20	29,92
13:00	34,52	32,58	31,45	29,76	38,46	33,38	30,21
14:00	33,36	32,49	31,65	30,36	38,52	34,27	30,47
15:00	32,31	32,21	31,67	30,84	38,12	34,77	30,70
16:00	30,89	31,76	31,50	31,16	35,15	34,83	30,88
17:00	29,67	31,14	30,95	31,25	31,63	34,08	30,99
18:00	28,98	30,53	30,29	31,09	29,82	32,78	30,96
19:00	28,57	30,00	29,79	30,82	28,78	31,56	30,90
20:00	28,15	29,55	29,34	30,51	27,97	30,57	30,81
21:00	27,81	29,11	28,93	30,18	27,35	29,76	30,69
22:00	27,54	28,69	28,57	29,81	26,97	29,09	30,55
23:00	27,35	28,34	28,27	29,47	26,84	28,60	30,40
00:00	27,00	28,02	28,04	29,15	26,47	28,25	30,27

A temperatura externa superficial sobre o telhado verde com blocos de concreto é significativamente menor do que a temperatura da superfície externa da parede, e ainda reduz 3,26°C entre o que chega sobre o solo e alcança a laje (Sob o bloco) com um atraso térmico de 3h (12h às 15h). Nota-se ainda que a maior temperatura superficial externa sob o bloco de concreto vegetado acima da laje é igual a 31,6 °C enquanto a temperatura superficial externa da parede oeste é igual a

38,5°C, ou seja, uma diferença de 6,84°C, o que indica uma redução significativa da carga térmica advinda do teto. Tal explicação pode ser interpretada no Gráfico 22.

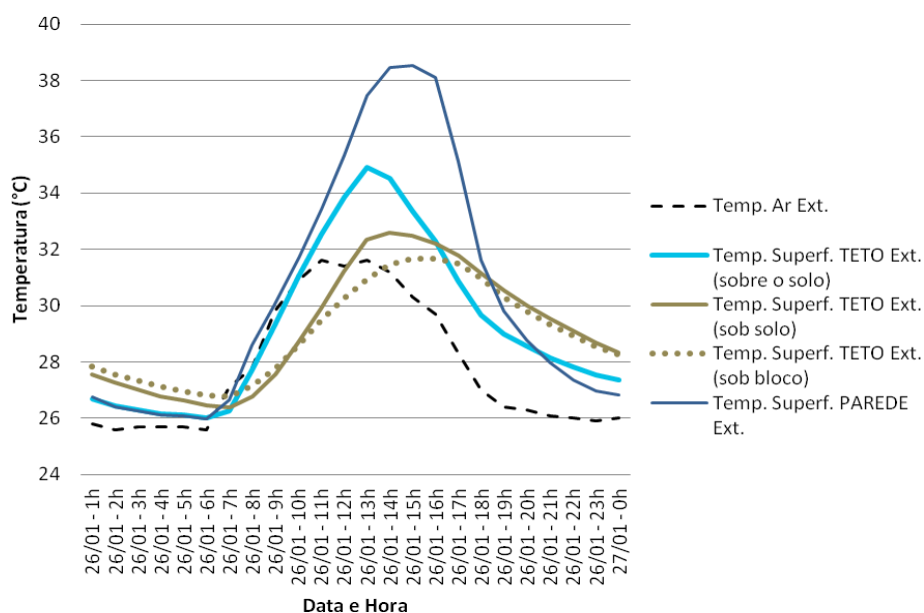


Gráfico 22: Temperaturas do ar e superficiais externas (parede e teto) no protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Com relação às temperaturas do ar e superficiais (teto e parede), considerando o ambiente interno do protótipo, a diferença entre a contribuição da carga térmica da parede e do teto corresponde a uma diferença de temperatura igual a 3,57°C, e esta redução, implica em uma redução na temperatura interna do ar, conforme se vê no Gráfico 23.

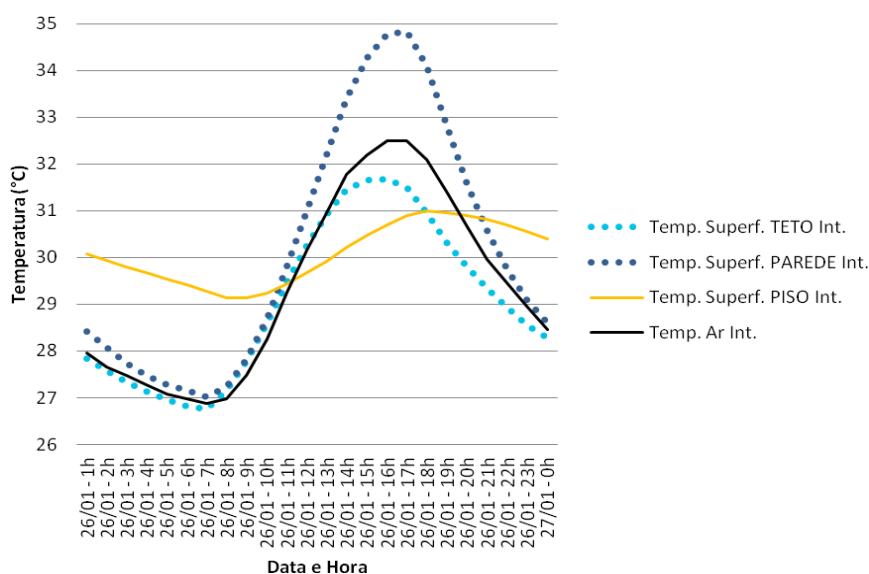


Gráfico 23: Temperaturas superficiais e do ar internas no protótipo com telhado verde com blocos de concreto, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Destaca-se ainda que a temperatura superficial interna máxima do teto é menor do que a temperatura do ar interno, o que certamente tem relação direta com a presença do telhado verde sobre a laje desse teto.

Outra constatação interessante, conforme visto na Tabela 23, é que a amplitude térmica do teto, considerando o ambiente interno é expressivamente reduzida quando comparada à parede.

Tabela 23: Amplitude térmica das superfícies externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

		TETO	PAREDE	PISO
EXTERNAMENTE (Sobre o Solo)	Temperatura máx °C	34,9	38,4	
	AMPLITUDE TERM	8,9	12,4	
	Temperatura mín °C	26,0	25,9	
	Temperatura máx °C	31,2	34,8	30,9
INTERNAMENTE	AMPLITUDE TERM	4,0	7,8	1,8
	Temperatura mín °C	27,2	27,0	29,1

Portanto, os resultados confirmam que, levando em conta o ambiente interno do protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, a maior contribuição de carga térmica vem da parede oeste. Nessa análise deve considerar as dimensões do protótipo em estudo, que praticamente tem a mesma área superficial ao comparar teto e parede.

Também fica evidenciado que a temperatura de superfície do teto internamente ao protótipo é menor na maior parte do tempo comparada aos outros registros de temperaturas internas superficiais, o que deve ter contribuído para reduzir a temperatura do ar interno (Gráfico 24). De fato, nessa análise parece que há uma inversão da contribuição de carga térmica entre parede oeste e teto se comparado com os resultados obtidos com o protótipo com laje exposta e com a cobertura com telhas de fibrocimento sobre a laje. Aqui parece claro que a cobertura com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, como elemento horizontal que recebe maior incidência solar, foi o maior responsável pela redução da temperatura do ar nesse ambiente.

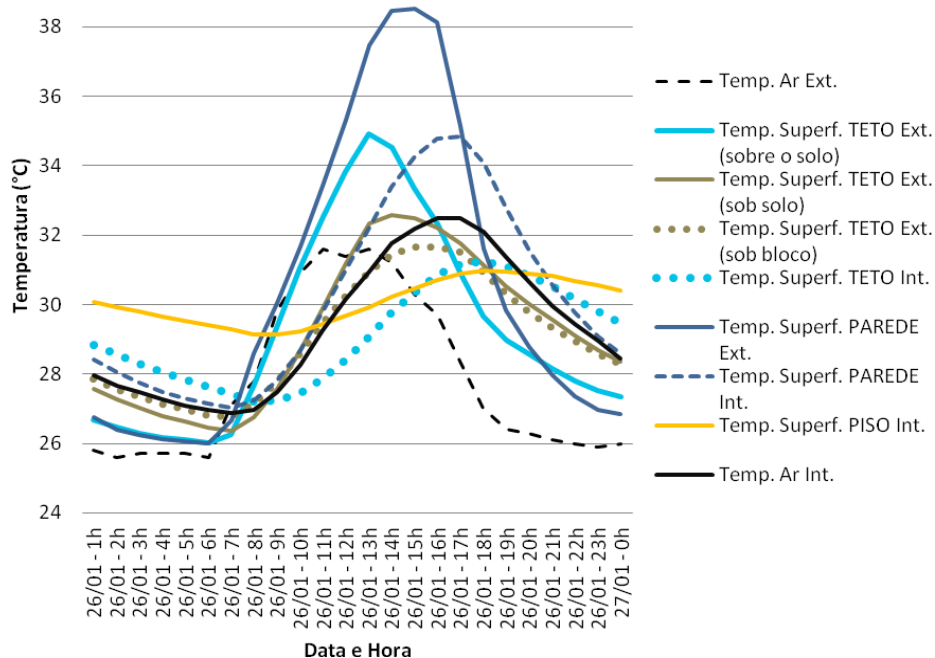


Gráfico 24: Comportamento térmico no protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado, considerando todos os registros de temperatura.

Fonte: Acervo Pessoal

Finalmente, vale ressaltar que a diferença entre a temperatura máxima do ar internamente e do ar externamente não atinge 1°C, no dia típico de verão analisado. Ao se estender essa análise para a semana, as diferenças estão compreendidas entre 1°C e 2°C, mas nunca atingindo 2°C, conforme se vê no Gráfico 25.

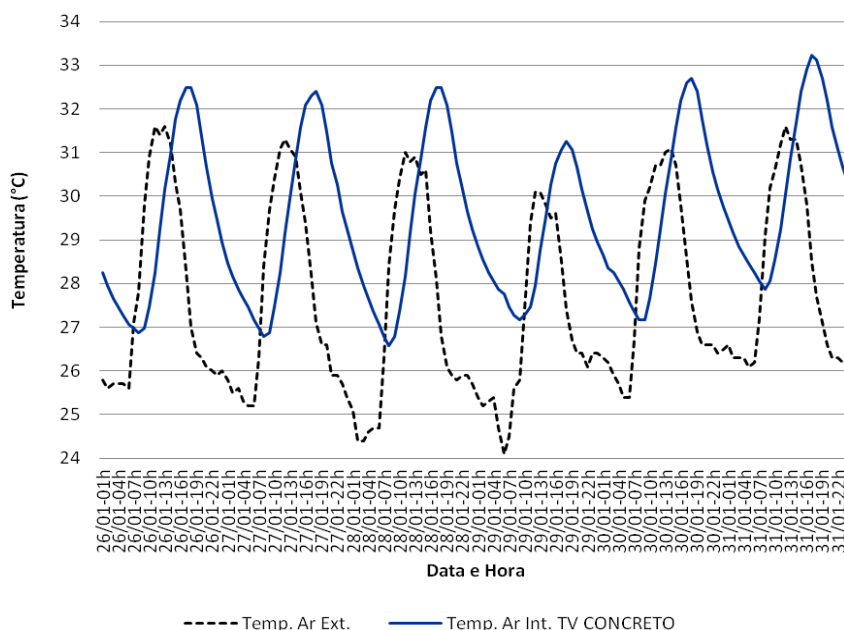


Gráfico 25: Temperatura do ar externo, e do ar interno no protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje.

Fonte: Acervo Pessoal

5.4.5. Protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje

A semana entre os dias 02/02-2015 e 07/02-2015, quando foram registrados os dados com o protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, também foi uma semana com temperaturas máximas elevadas, conforme se vê no Gráfico 26.

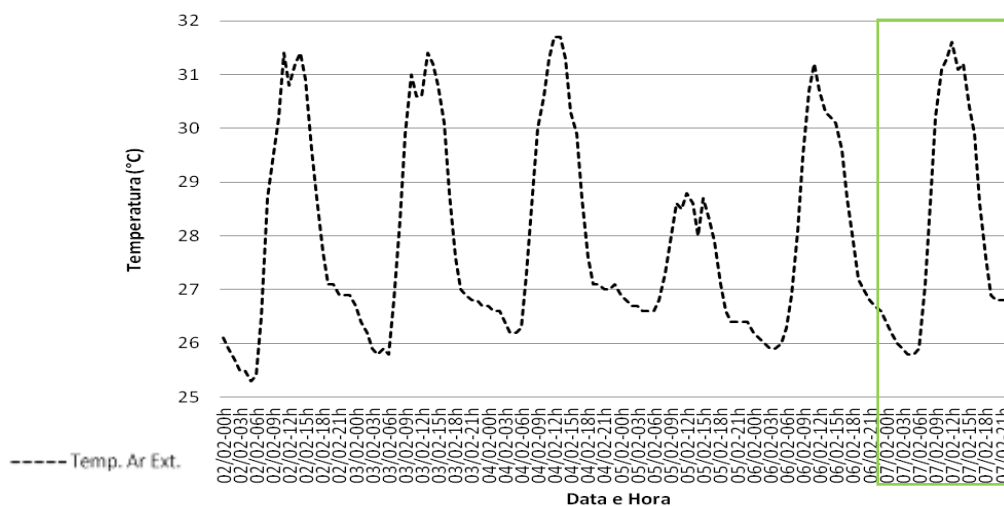


Gráfico 26: Temperatura do ar externo na semana 07 de análise (02 de Janeiro a 07 de Fevereiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

O dia 07/02-2015 foi escolhido como dia típico de verão para analisar os dados coletados com o protótipo com telhado verde com blocos TEVA. Esse dia foi precedido por outro dia com registros de temperatura similares. Além disso, no dia 07-02-2015 foi possível obter os dados completos para 24 horas de registros, uma vez que o sistema de aquisição de dados, durante essa semana de medições, começou a apresentar problemas com interrupções frequentes ao longo dos ciclos de registros. Nota-se na Tabela 24 que há pequena variação entre as temperaturas máximas registradas por dia (exceto para o dia 05-02-2015) e, além disso, não houve precipitação pluviométrica durante todo o período de medições.

Tabela 24: Elementos climáticos na semana 07 de análise (02 de Janeiro a 07 de Janeiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Datas de medições em 2015						
Elementos Climáticos	02-02	03-02	04-02	05-02	06-02	07-02
Temperatura máxima (°C)	31,4	31,0	31,7	28,8	31,2	31,6
Amplitude diária (°C)	6,1	5,2	5,4	2,2	5,3	5,8
Temperatura mínima (°C)	25,3	25,8	26,3	26,6	25,9	25,8
Umidade relativa máxima (%)	85,0	83,0	86,0	83,0	83,0	85,0
Umidade relativa mínima (%)	65,0	67,0	67,0	73,0	65,0	64,0
Precipitação pluviométrica máx. (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

As temperaturas superficiais dos elementos verticais e horizontais do protótipo analisado no dia típico seguem na Tabela 25. Para os registros feitos no teto, aqui também foram coletados por camadas no telhado verde (sobre o solo, sob o solo no interior do bloco TEVA vegetado e sob o próprio bloco TEVA) até atingir a superfície interna da laje.

Tabela 25: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, parede e piso no protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (07-02-15). Destaque para as temperaturas máximas e mínimas registradas.

Fonte: Acervo Pessoal.

Tempo Hora	Teto				Parede		PISO (°C)
	T. Ext. SOBRE solo (°C)	T. Ext. SOB solo (°C)	T. Ext. SOB bloco (°C)	T. Int (°C)	P. Ext (°C)	P. Int (°C)	
00:00	26,48	27,98	28,67	29,37	26,87	28,61	30,30
01:00	26,11	27,76	28,43	29,16	26,41	28,30	30,18
02:00	26,01	27,50	28,16	28,96	26,21	27,97	30,05
03:00	25,89	27,25	27,81	28,74	26,04	27,69	29,91
04:00	25,73	27,01	27,49	28,51	26,03	27,45	29,76
05:00	25,68	26,74	27,21	28,27	26,26	27,25	29,60
06:00	26,61	26,64	27,19	28,07	27,29	27,19	29,46
07:00	28,84	26,77	27,67	27,70	29,45	27,66	29,14
08:00	30,70	27,60	28,37	27,80	31,08	28,46	29,22
09:00	32,51	28,68	29,15	28,03	32,49	29,45	29,36
10:00	34,10	29,82	29,86	28,40	34,41	30,50	29,55
11:00	34,07	30,81	30,45	28,84	35,98	31,62	29,79
12:00	34,55	31,44	30,88	29,28	37,15	32,58	30,02
13:00	33,90	31,85	31,18	29,74	37,54	33,42	30,27
14:00	32,70	31,88	31,34	30,13	36,74	33,97	30,50
15:00	30,70	31,57	31,38	30,47	34,58	34,04	30,71
16:00	29,05	30,98	31,18	30,65	31,89	33,48	30,84
17:00	28,14	30,37	30,82	30,66	30,13	32,52	30,87
18:00	27,76	29,84	30,43	30,56	29,27	31,56	30,85
19:00	27,45	29,41	30,06	30,41	28,64	30,77	30,79
20:00	27,25	29,02	29,72	30,22	28,17	30,14	30,70
21:00	27,05	28,70	29,41	30,01	27,77	29,65	30,60
22:00	26,97	28,44	29,15	29,79	27,58	29,24	30,51
23:00	26,74	28,21	28,91	29,57	27,26	28,91	30,40
00:00	26,47	27,98	28,67	29,37	26,86	28,61	30,30

As amplitudes térmicas, considerando as diferentes superfícies (teto, parede e piso) podem ser vistas na Tabela 26. Observa-se que, considerando as temperaturas superficiais externas, a amplitude térmica do teto é inferior à da parede oeste. Com relação às temperaturas superficiais internas ao protótipo, destaca-se a grande redução da amplitude térmica do teto em relação à parede oeste, cuja diferença é cerca de 3,9°C. Destaca-se ainda que as temperaturas, máxima e mínima, superficiais interna do teto são inferiores às correspondentes do piso.

Tabela 26: Amplitude térmica das superfícies externas e internas, do teto, parede e piso, no protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

		TETO	PAREDE	PISO
	Temperatura máx °C	34,5	37,5	
EXTERNAMENTE (Sobre o Solo)	AMPLITUDE TERM	8,8	11,2	
	Temperatura mín °C	25,6	26,2	
	Temperatura máx °C	30,6	34,0	30,8
INTERNAMENTE	AMPLITUDE TERM	2,9	6,8	1,7
	Temperatura mín °C	27,6	27,1	29,1

Nota-se ainda que o telhado verde como um todo favorece uma amortização significativa com redução da carga térmica proveniente do teto, mantendo as temperaturas superficiais externas das camadas do teto inferiores à temperatura superficial externa da parede oeste no período da tarde, conforme se percebe no Gráfico 27. Deve-se lembrar de que o termopar localizado sobre o solo (substrato) no interior do bloco TEVA está também protegido da incidência solar direta, mas nesse caso aproveita-se da própria sombra das folhas da vegetação (*Coleus amboinicus*).

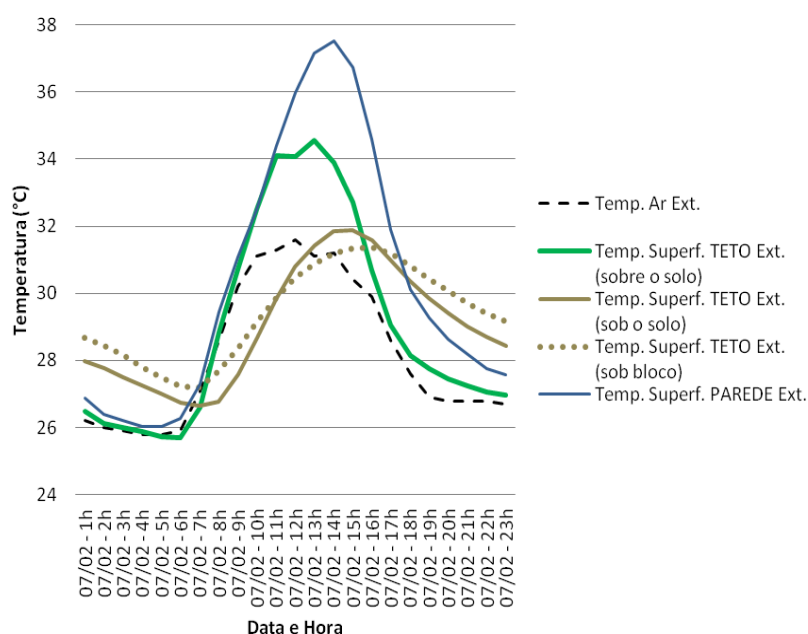


Gráfico 27: Temperaturas superficiais e do ar externas para o protótipo com telhado verde com bloco TEVA sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

A amortização da carga térmica do exterior para o interior do protótipo com telhado verde com blocos TEVA é mais significativa através do teto com uma redução da temperatura máxima em mais de 3°C, com relação à parede oeste.

De fato, conforme se vê no Gráfico 28, as temperaturas superficiais internas do teto são sempre inferiores ao do piso, comportamento este, exclusivo do telhado verde TEVA, e isto, conseqüentemente, contribui na redução da temperatura do ar interna ao protótipo.

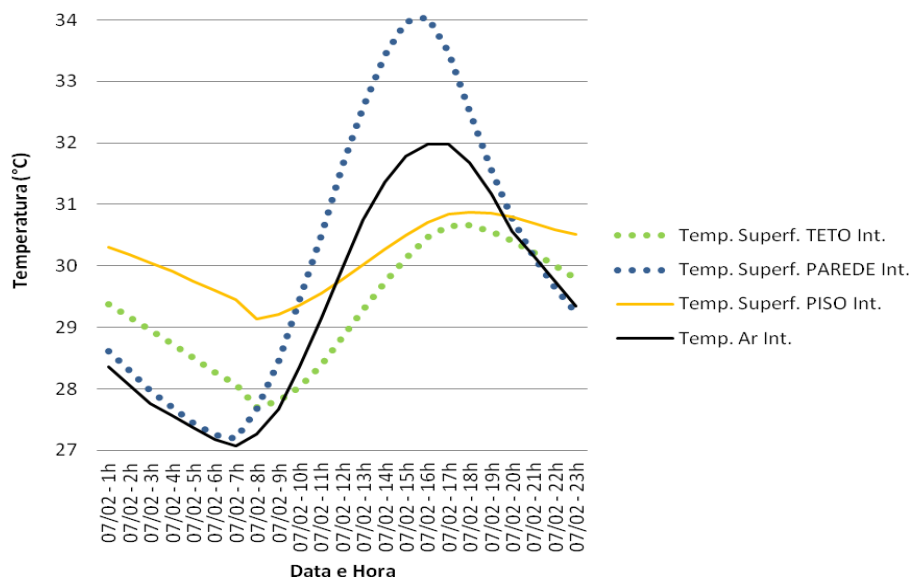


Gráfico 28: Temperaturas superficiais e do ar internas no protótipo telhado verde com blocos TEVA, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

No Gráfico 29, apresenta-se o comportamento térmico do protótipo com telhado verde em blocos TEVA, levando em conta todos os registros externo e interno de temperaturas superficiais, e do ar.

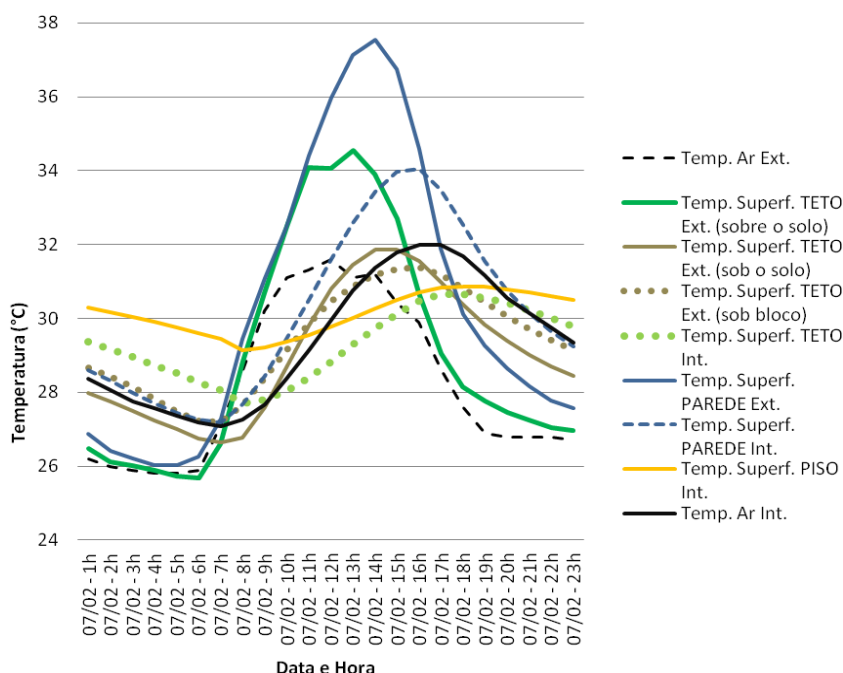


Gráfico 29: Comportamento térmico no protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, no dia típico de verão selecionado, com todos os registros de temperatura.

Fonte: Acervo Pessoal

Percebe-se que a diferença entre a temperatura máxima do ar do ambiente externo para o ambiente interno é em torno de $0,5^{\circ}\text{C}$, cujo valor é o menor encontrado comparando todos os protótipos analisados. Estendendo-se essa análise para a semana inteira de medições, conforme Gráfico 30, alguns dias também apresentam as diferenças em torno desse valor.

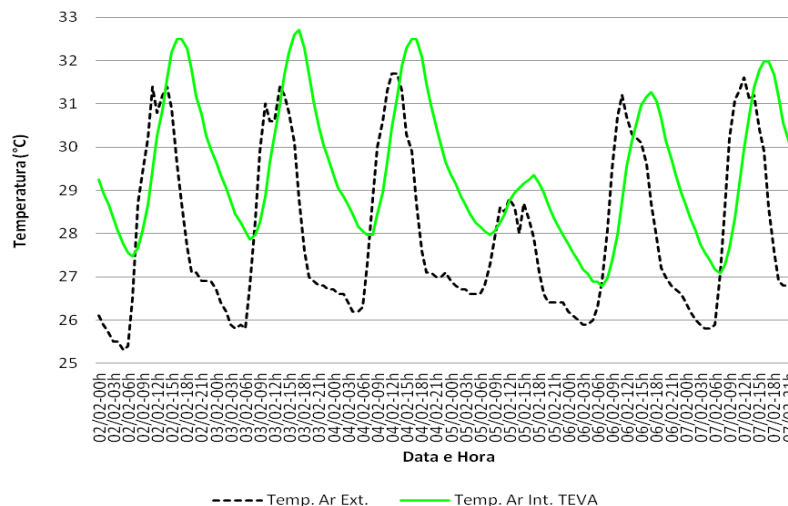


Gráfico 30: Temperatura do ar externo, e do ar interno no protótipo com telhado verde com blocos TEVA.

Fonte: Acervo Pessoal

5.5. Comportamento térmico comparativo em pares por diferentes coberturas de protótipos

Nessa etapa do estudo, analisa-se comparativamente o comportamento térmico a cada dois protótipos com coberturas diferentes e medições simultâneas na mesma semana, considerando as temperaturas superficiais do teto (externa e interna), bem como as temperaturas do ar exterior e interior aos protótipos. Lembra-se aqui, que os protótipos analisados possuem as mesmas dimensões e estão posicionados um ao lado do outro, com a mesma orientação geográfica e, além disso, os registros de temperatura foram realizados sob as mesmas condições: com a porta-fechada. A análise dos resultados é comparativa em pares de diferentes tipos de coberturas nos dois protótipos, sendo uma delas sempre o telhado verde com blocos TEVA sobre a laje. Cabe ressaltar ainda que os termopares para registro das temperaturas superficiais na face interna do teto, em todos os diferentes tipos de coberturas, sempre ficou protegido por uma pequena placa de isopor, para destacar as leituras do contato direto entre os terminais (do termopar) e a superfície do teto. Com relação à posição dos termopares na superfície externa adotou-se instalá-los

sempre na camada mais externa, ou seja, ora sobre a laje exposta, ora sobre as telhas (cerâmica ou fibrocimento), e quando se tratou de coberturas com telhado verde, os termopares ficavam sobre o solo (substrato), colocados no bloco (TEVA ou concreto) vegetado. De forma semelhante, procurou-se proteger os terminais dos termopares da incidência direta do sol, mantendo o tempo todo placas de isopor sobre eles, exceto no caso do telhado verde, quando a própria folhagem da vegetação fez essa proteção.

A sistematização dos dados coletados foi feita de maneira semelhante àquela feita para as medições individuais de cada protótipo. E conforme já destacado, as temperaturas do ar interno, nas células de teste, são mais elevadas que as temperaturas do ar externo, por se tratar de um estudo em escala de protótipo, e diante de suas peculiaridades, já descritas.

5.5.1. Telhado verde com blocos TEVA x Laje exposta

Na primeira análise, comparando-se os registros entre os protótipos com telhado verde com blocos TEVA e com a laje exposta, as temperaturas do ar no exterior variaram entre 30°C e 31°C, sendo o dia típico de verão selecionado 16/01-2015, conforme se vê no Gráfico 31.

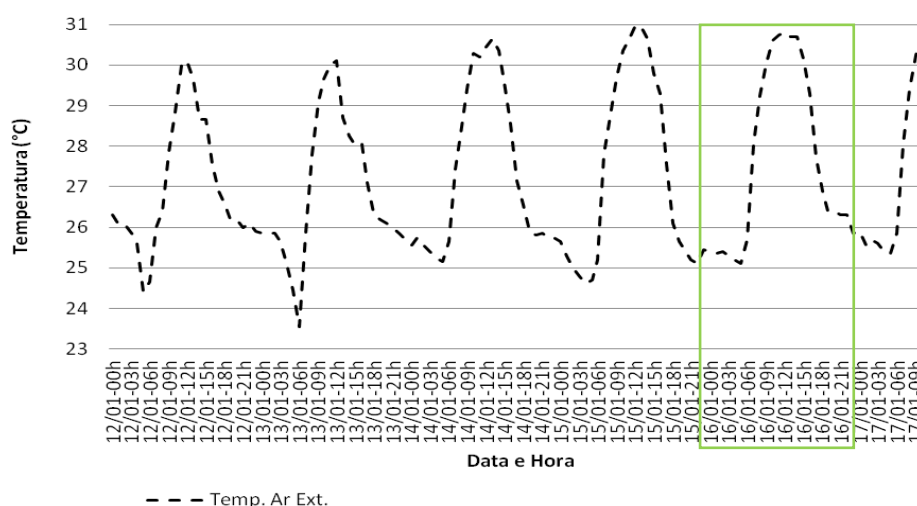


Gráfico 31: Temperatura do ar externo na semana 04 de análise (12 de Janeiro a 17 de Janeiro de 2015 – TEVA x Laje exposta), com destaque para o dia típico de verão selecionado.
Fonte: Acervo Pessoal

Conforme se nota na Tabela 27, o dia típico de verão selecionado para analisar os dados corresponde ao terceiro dia, entre os três dias com registros similares, inclusive os únicos sem ocorrência de chuvas.

Tabela 27: Elementos climáticos na semana 04 de análise (12 de Janeiro a 17 de Janeiro de 2015 - TEVA x Laje exposta), com destaque para o dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Elementos Climáticos	Datas das medições em 2015					
	12-01	13-01	14-01	15-01	16-01	17-01
Temperatura máxima (°C)	30.6	30.1	30.6	31.1	30.8	31.3
Amplitude diária (°C)	6,3	6,8	5,5	6,6	5,7	6
Temperatura mínima (°C)	24.3	23.3	25.1	24.5	25.1	25.3
Umidade relativa máxima (%)	94	93	82	84	84	84
Umidade relativa mínima (%)	72	69	65	62	64	67
Precipitação pluviométrica máxima (mm)	6	1.40	0	0	0	11.8

A Tabela 28 apresenta os registros das temperaturas superficiais dos diferentes tipos de coberturas, no dia típico de verão selecionado para a análise comparativa.

Tabela 28: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com laje exposta, no dia típico de verão selecionado (16-01-2015). Destaque para as temperaturas máximas e mínimas registradas. Fonte: Acervo Pessoal

hora	Teto			
	TEVA.Ext (°C)	TEVA.Int (°C)	LAJexp.Ext (°C)	LAJexp.Int (°C)
00:00	25,10	28,00	25,30	25,90
01:00	25,00	27,76	25,29	25,57
02:00	24,90	27,54	25,10	25,33
03:00	24,86	27,32	24,97	25,12
04:00	24,74	27,12	24,78	24,90
05:00	24,80	26,93	24,99	24,72
06:00	23,60	25,11	24,24	23,17
07:00	25,95	26,64	28,40	25,01
08:00	29,05	26,58	31,22	26,12
09:00	31,08	26,74	33,63	28,21
10:00	32,97	27,02	35,90	30,63
11:00	34,26	27,39	36,98	32,98
12:00	34,78	27,85	37,15	34,88
13:00	34,67	28,32	36,93	36,07
14:00	34,10	28,81	35,88	36,57
15:00	32,81	29,26	34,67	36,31
16:00	30,75	29,68	32,57	35,42
17:00	28,94	29,92	30,40	33,92
18:00	28,01	29,97	29,17	32,25
19:00	27,53	29,91	28,32	30,78
20:00	27,21	29,79	27,69	29,60
21:00	27,05	29,64	27,32	28,69
22:00	26,65	29,47	26,73	28,02
23:00	26,51	29,27	26,46	27,38
00:00	26,30	29,07	26,07	26,89

Nota-se que a laje exposta tem um atraso térmico (diferença entre temperaturas superficiais, externa e interna) de apenas 2 horas, com redução de apenas 0,6°C, enquanto com o de telhado verde com blocos TEVA esse atraso é de 6 horas, com uma redução de 4,8° C. Além disso, a diferença entre as temperaturas

superficiais externas é de 2,37°C e entre as temperaturas superficiais internas é de 6,60°C. Como esperado, essa comparação permite visualizar com mais clareza o efeito do telhado verde na redução das temperaturas superficiais e, por conseguinte, na redução da carga térmica proveniente do teto dos protótipos comparados. Andrade e Roriz (2009) encontrou diferença de até 16°C entre as temperaturas superficiais internas entre comparativos de coberturas com laje exposta e telhado verde, um valor bem extremo e que não reproduzido aqui.

Conforme pode ser visto na Tabela 29, as amplitudes térmicas para o protótipo com laje exposta, tanto no ambiente externo quanto no interno são bem elevadas e próximas, sendo no ambiente interno maior do que no ambiente externo. Já com relação ao protótipo com telhado verde com blocos TEVA as amplitudes são significativamente diferentes comparando as superfícies externa e interna. A amplitude térmica externa aproxima-se do valor obtido para a laje exposta, porém o grande diferencial encontra-se na análise para os ambientes internos, com a amplitude térmica para o protótipo com blocos TEVA sendo reduzida a menos da metade. Destaca-se ainda a significativa redução da temperatura máxima superficial na face interna, quando são comparados os dois protótipos, telhado verde com blocos TEVA e com a laje exposta.

Tabela 29: Amplitude térmica das superfícies externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com laje exposta, no dia típico de verão selecionado (16-01-2015).

Fonte: Acervo Pessoal

		TEVA	LAJexp
	Temperatura máx °C	34,7	37,1
EXTERNAMENTE	AMPLITUDE TERM	11,1	12,9
	Temperatura mín °C	23,5	24,2
	Temperatura máx °C	29,9	36,5
INTERNAMENTE	AMPLITUDE TERM	4,8	13,4
	Temperatura mín °C	25,10557	23,17138

Outro fato interessante a destacar é que as temperaturas superficiais máximas externas, como esperado, são sempre maiores do que a temperatura do ar externo, e ainda que no protótipo com telhado verde com blocos TEVA tais temperaturas são sempre (todos os horários) menores do que com laje exposta, conforme visto no Gráfico 32.

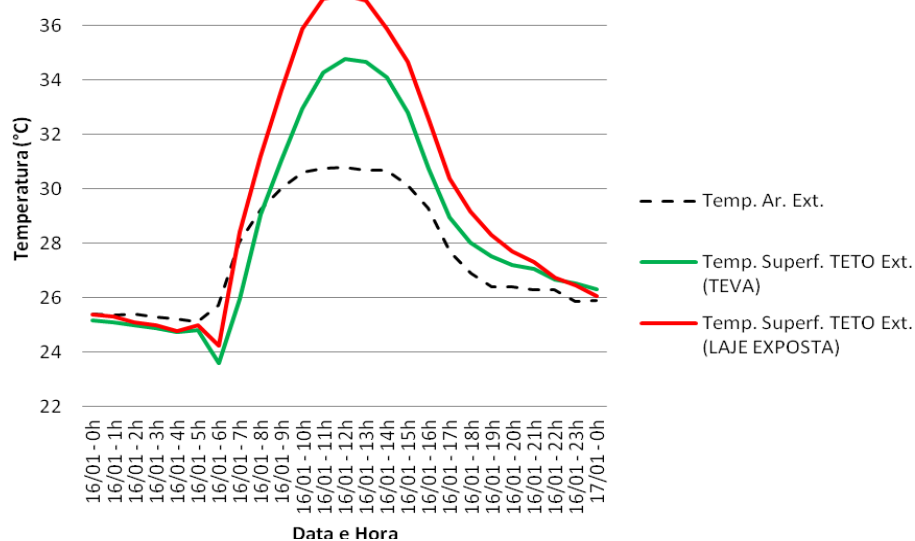


Gráfico 32: Temperaturas superficiais externas dos tetos do protótipo com telhado verde com blocos TEVA, e do protótipo com Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado.
Fonte: Acervo Pessoal

Na análise para as temperaturas registradas nos ambientes internos as diferenças são marcantes na comparação entre as coberturas, telhado verde com blocos TEVA *versus* laje exposta, quando a temperatura da superfície interna do telhado verde se mantém abaixo da temperatura do ar interno desse protótipo, durante todo o período de maior incidência solar (Gráfico 33). Deve-se lembrar de que, nesse caso, a contribuição da carga térmica proveniente da cobertura desse protótipo é menor do que aquela proveniente da sua parede oeste, como ficou confirmada nas análises individuais, anteriormente.

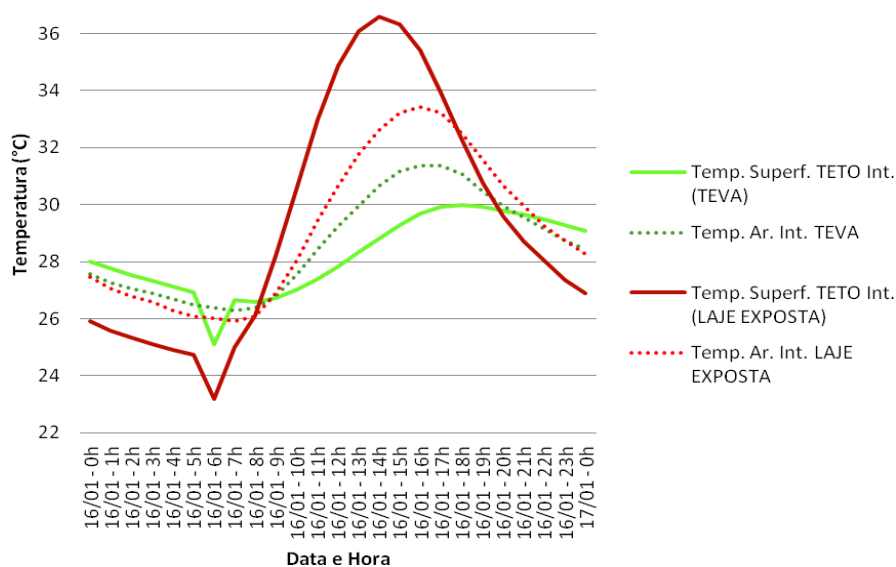


Gráfico 33: Temperaturas superficiais (teto) e do ar internas comparativamente entre protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e protótipo com Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado.
Fonte: Acervo Pessoal

No Gráfico 34, é notável, como a temperatura do ar interno do protótipo com telhado verde com blocos TEVA é bem próxima da temperatura do ar externo, havendo um atraso térmico de cerca de quatro (4) horas entre as máximas registradas. No caso do protótipo com cobertura com laje exposta, embora se mantenha as mesmas quatro (4) horas de atraso térmico, a temperatura do ar é mais elevada no ambiente interno em cerca de 3°C.

Como discutido na análise do comportamento térmico individual do protótipo com laje exposta, esta praticamente amortece pouco o calor que recebe do exterior, apesar de sua cobertura ser impermeabilizada na cor branca, que é de alta refletância.

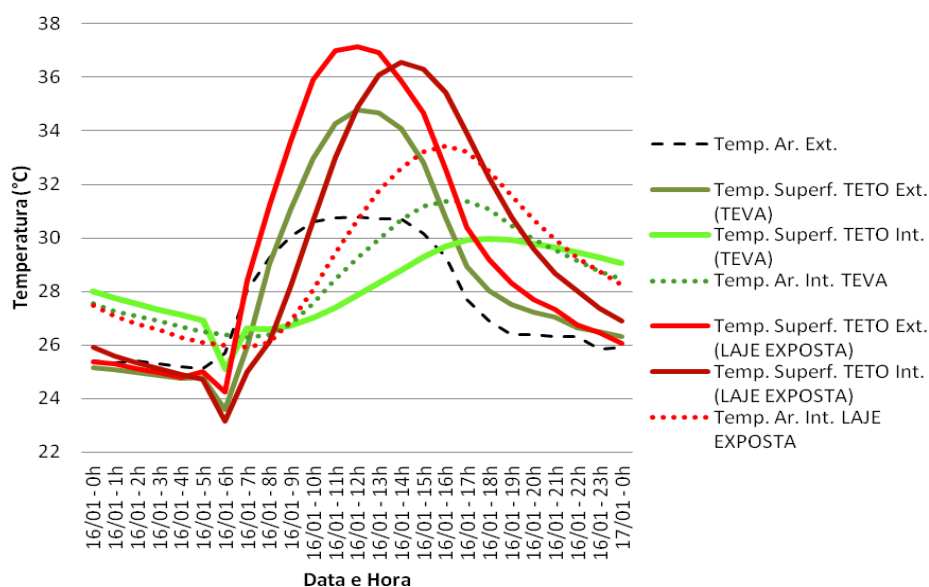


Gráfico 34: Comportamento térmico comparativo entre o protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e o protótipo com Laje Exposta, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

No dia típico de verão escolhido para realizar a comparação entre os dois protótipos, pode-se observar que a temperatura do ar interno no protótipo com telhado verde com blocos TEVA é bem próxima em relação à temperatura do ar externo. Essa mesma observação para esse protótipo pode ser aplicada para os outros dias da semana de medições, havendo até dias quando a máxima da temperatura do ar interno foi menor do que a temperatura máxima do ar externo. O mesmo comportamento não se aplica para o protótipo com a laje exposta, conforme pode ser visto no Gráfico 35.

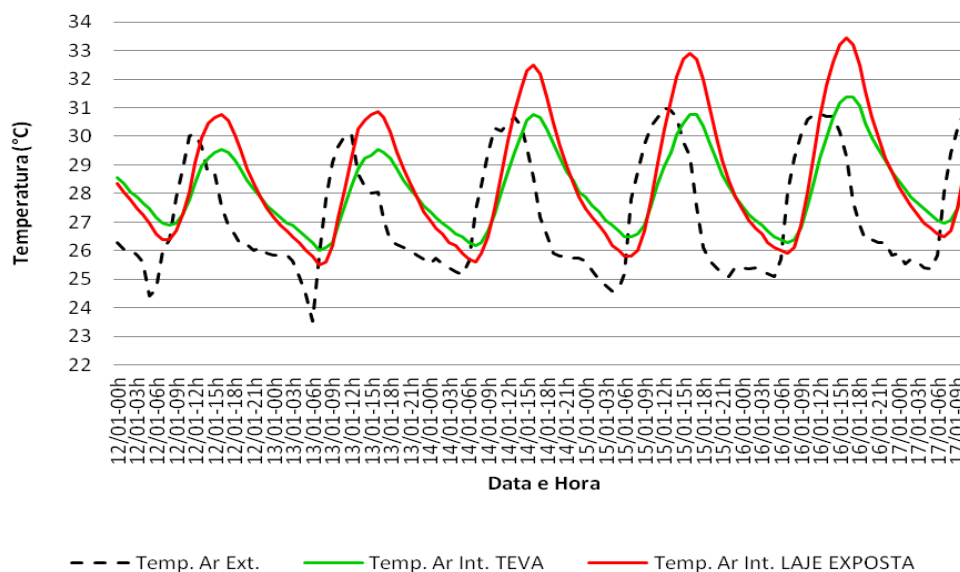


Gráfico 35: Temperaturas do ar externo, e do ar interno nos protótipos com Laje exposta e com telhado verde com blocos TEVA.

Fonte: Acervo Pessoal

Morais (2004), quando comparou dois ambientes (no verão de São Carlos/SP), um sob cobertura com vegetação e outro sem vegetação, aferiu uma diferença de $5,1^{\circ}\text{C}$, entre a temperatura do ar interno entre as duas coberturas, com o telhado verde sendo mais ameno. Aqui se encontrou uma diferença máxima de um pouco mais de 2°C , resultado que se aproxima mais do encontrado por Jaffal (2012), onde no verão (em Atenas) houve uma redução de 2°C na temperatura do ar interno, em uma área com telhado verde.

5.5.2. Telhado verde com blocos TEVA x Telha fibrocimento

Na comparação entre as coberturas dos protótipos com telhado verde com blocos TEVA e com telha de fibrocimento, as temperaturas do ar externas registradas, durante a semana de análise, alcançaram valores em torno dos 30°C , sendo o dia típico de verão selecionado 06/01-2015, conforme em destaque no Gráfico 36.

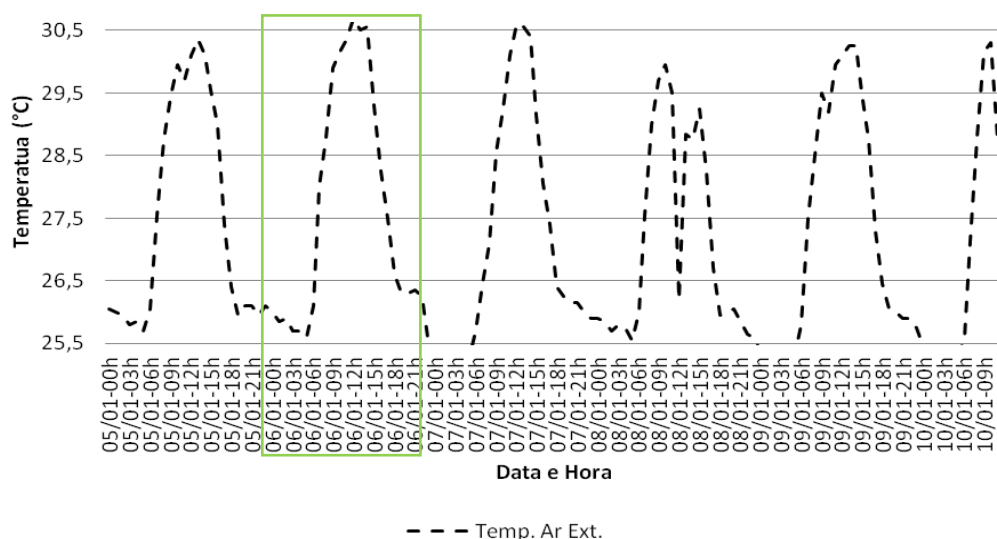


Gráfico 36: Temperatura do ar externo na semana 03 de análise (05 de Janeiro a 11 de Janeiro de 2015 - TEVA x telha fibrocimento), com destaque para o dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Conforme se nota na Tabela 30, este dia (06-01-2015) foi precedido por um dia similar em termos de elementos climáticos, sendo ambos os únicos dias da semana sem ocorrência de precipitação pluviométrica.

Tabela 30: Elementos climáticos na semana 03 de análise (05 de Janeiro a 11 de Janeiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Elementos Climáticos	Datas das medições em 2015					
	05-01	06-01	07-01	08-01	09-01	10-01
Temperatura máxima (°C)	30,5	30,8	30,7	30,6	30,1	30,7
Amplitude diária (°C)	4,8	5,6	5,9	5	5,3	5,5
Temperatura mínima (°C)	25,7	25,2	24,8	25,6	24,8	25,2
Umidade relativa máxima (%)	85	88	90	82	86	85
Umidade relativa mínima (%)	67	66	63	63	69	66
Precipitação pluviométrica máxima (mm)	0	0	0,4	1,8	0,2	0,8

Na Tabela 31, encontram-se os registros das temperaturas superficiais dos dois tipos de coberturas analisadas nessa semana de medições.

Tabela 31: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telha de fibrocimento sobre laje, no dia típico de verão selecionado (06-01-2015). Destaque para as temperaturas máximas e mínimas registradas.

Fonte: Acervo Pessoal

Hora	Teto ("continua")			
	TEVAExt (°C)	TEVAInt (°C)	T.FIBROC.Ext (°C)	T.FIBROC.Int (°C)
00:00	26,29	28,58	26,66	29,03
01:00	26,20	28,37	26,59	28,55
02:00	26,09	28,17	26,38	28,13

Hora	Teto ("continuação")			
	TEVAExt (°C)	TEVAInt (°C)	T.FIBROC.Ext (°C)	T.FIBROC.Int (°C)
03:00	25,85	27,98	26,14	27,76
04:00	25,74	27,78	26,12	27,42
05:00	25,66	27,58	26,15	27,12
06:00	26,05	27,40	27,36	26,89
07:00	26,65	27,24	29,53	26,83
08:00	28,45	27,13	32,18	27,10
09:00	30,69	27,16	34,70	27,88
10:00	31,50	27,35	34,50	29,12
11:00	33,14	27,58	35,46	30,36
12:00	34,26	27,88	35,22	31,63
13:00	34,96	28,24	34,69	32,87
14:00	34,41	28,61	33,09	33,73
15:00	31,92	28,99	31,00	34,15
16:00	30,36	29,27	29,91	33,98
17:00	28,68	29,47	28,27	33,43
18:00	27,65	29,52	27,46	32,62
19:00	27,19	29,45	27,27	31,70
20:00	26,97	29,34	27,25	30,86
21:00	26,77	29,18	27,05	30,15
22:00	26,56	29,00	26,76	29,53
23:00	26,25	28,84	25,60	28,97
24:00	25,90	28,63	25,40	28,42

A temperatura superficial máxima externa no protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje ocorre mais cedo, às 11 horas (final da manhã), enquanto no protótipo com telhado verde com blocos TEVA isso só ocorre, mais tarde, às 13h (início da tarde).

Para o protótipo com telhado verde com blocos TEVA, a diferença entre a temperatura superficial máxima do ambiente externo e do ambiente interno é de 5,44°C, com um atraso térmico de cinco (5) horas. Para o protótipo com cobertura de telha fibrocimento sobre a laje o atraso térmico é de quatro (4) horas, com uma diferença de apenas 1,31°C entre as temperaturas superficiais externas e internas, resultando em baixa amortização térmica da cobertura com telha de fibrocimento, quando comparada com o telhado verde com blocos TEVA.

A Tabela 32 apresenta as amplitudes térmicas calculadas a partir dos registros de temperaturas em diferentes ambientes (externo e interno). Nota-se que as amplitudes térmicas são próximas, considerando os registros externos para os dois diferentes tipos de coberturas, o que não acontece quando se comparam as

amplitudes térmicas para as temperaturas internas. A diferença para a amplitude térmica do protótipo com telhado verde com blocos TEVA entre os ambientes externo e o interno é cerca de três vezes menor para o ambiente interno, confirmando a capacidade desse tipo de telhado verde, como esperado, em amortizar as diferenças entre as temperaturas internas.

Tabela 32: Amplitude térmica das superfícies externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (16-01-12015).

Fonte: Acervo Pessoal

		TEVA	FIBROC
	Temperatura máx °C	34,96431	35,46074
EXTERNAMENTE	AMPLITUDE TERM	9,31	10,06
	Temperatura mín °C	25,65739	25,40185
	Temperatura máx °C	29,52017	34,14959
INTERNAMENTE	AMPLITUDE TERM	2,39	7,32
	Temperatura mín °C	27,12822	26,83077

As temperaturas superficiais externas são elevadas, quando comparadas com a temperatura do ar externo, em ambos os tipos de coberturas analisadas, sem grande diferença entre as temperaturas superficiais máximas (Gráfico 37).

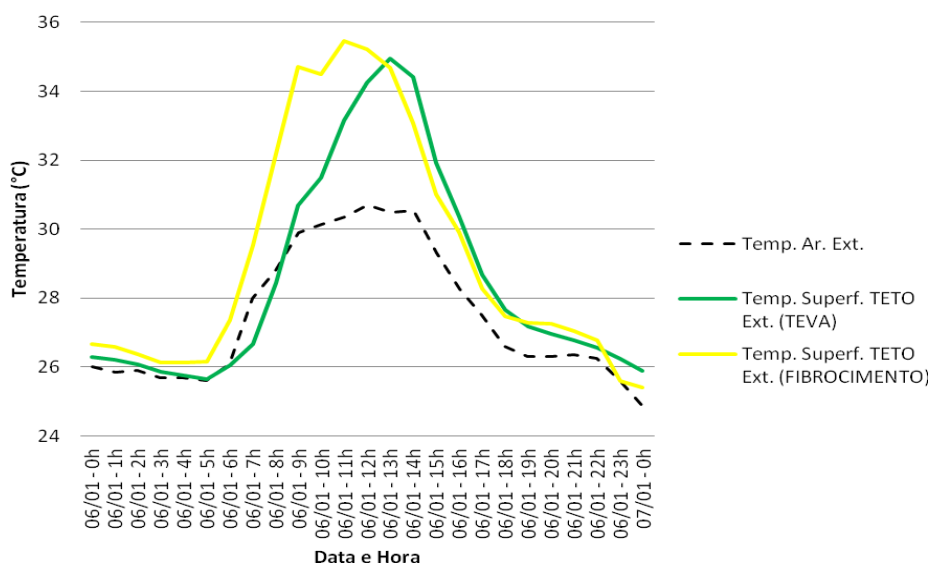


Gráfico 37: Temperaturas superficiais externas dos tetos do protótipo com telhado verde com blocos TEVA, e do protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Contudo, quando se tratam das temperaturas relativas ao ambiente interno, o comportamento é bem semelhante ao caso anterior, quando a curva correspondente à superfície do teto do telhado verde com blocos TEVA apresenta-se com baixa

amplitude, inclusive com temperaturas mais baixas do que a temperatura do ar interno nesse protótipo, conforme se vê no Gráfico 38.

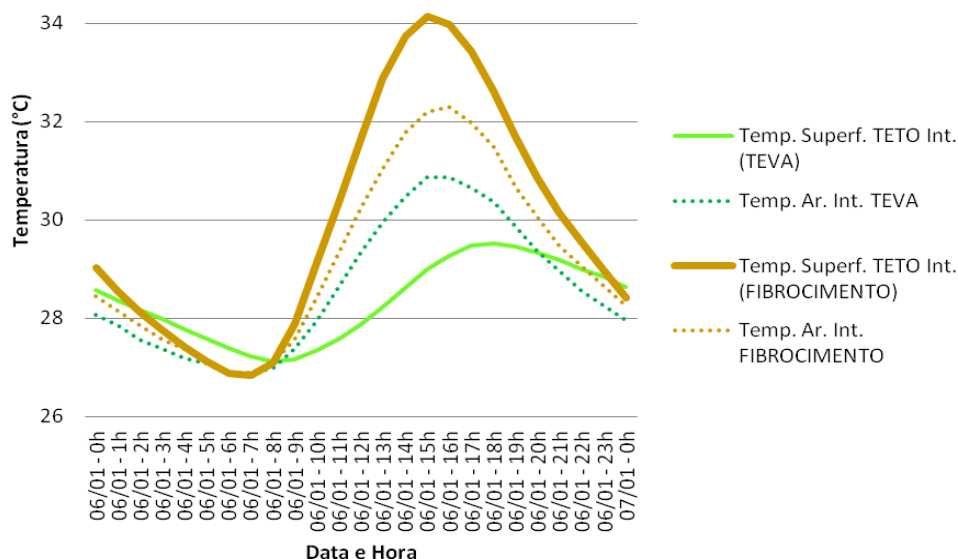


Gráfico 38: Temperaturas superficiais internas dos tetos do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telha de fibrocimento sobre laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

O Gráfico 39 apresenta o comportamento térmico dos dois protótipos com diferentes coberturas analisadas (telhado verde com blocos TEVA X telha fibrocimento), reunindo todos os registros no mesmo gráfico.

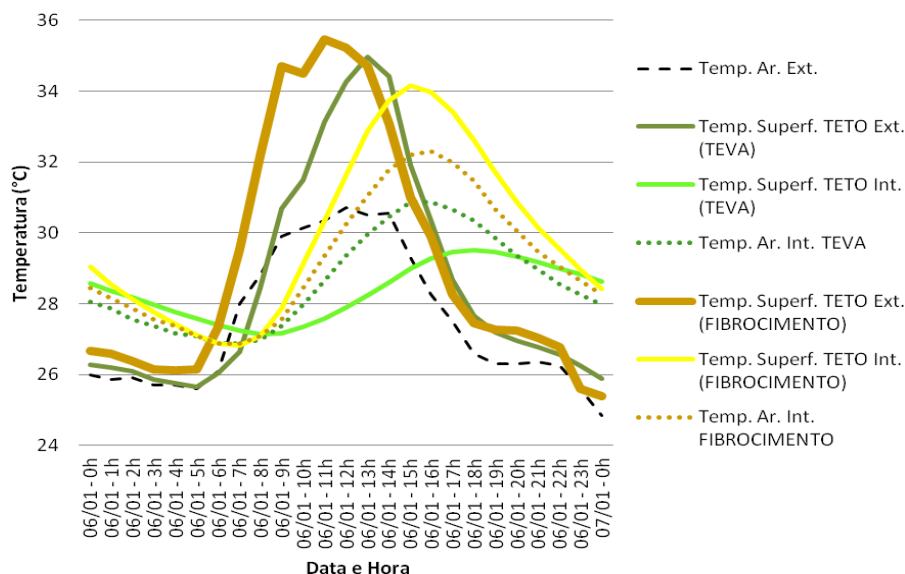


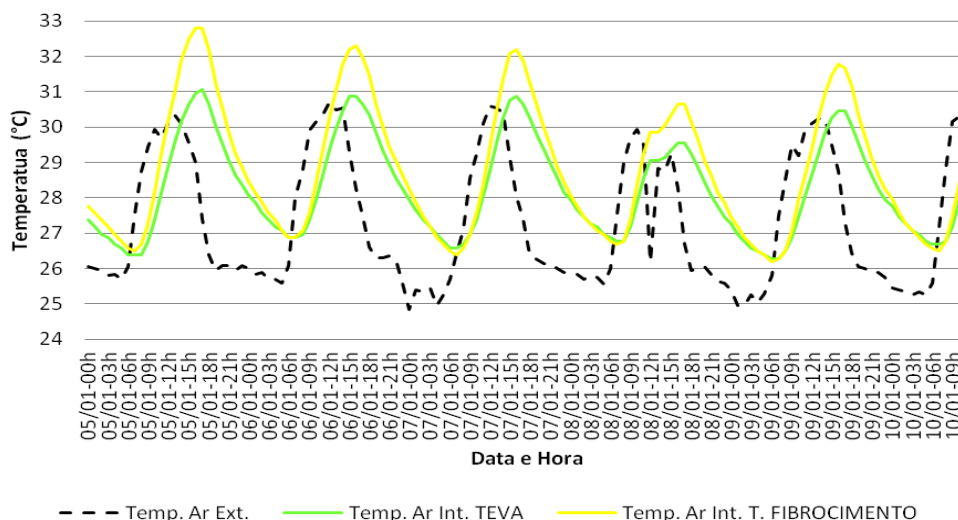
Gráfico 39: Comportamento térmico comparativo entre protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Como esperado, as temperaturas superficiais internas do teto do protótipo com telhado verde com blocos TEVA conservam-se menores praticamente durante

todo o período, quando comparadas às temperaturas superficiais internas do teto do protótipo com telha de fibrocimento sobre a laje. Deste modo, os resultados permitem concluir que a maior amenização das temperaturas do ar interno do protótipo com telhado verde com blocos TEVA, mais destacadamente durante o período de maior incidência solar, é decorrente da sua cobertura. Mais uma vez, fica demonstrada a eficiência do comportamento térmico da cobertura com telhado verde proposto com blocos TEVA.

Observa-se ainda que na comparação entre a temperatura do ar externo e as temperaturas do ar interno, em cada protótipo analisado, as diferenças são novamente marcantes. No protótipo com cobertura com telha de fibrocimento a temperatura do ar interna é significativamente mais elevada do que aquelas mesmas registradas no protótipo com cobertura de telhado verde com blocos TEVA, sendo essas últimas muito próximas da temperatura do ar externo. E isto, pode ser observado tanto para o dia típico de verão analisado, quanto para os demais dias da semana de medições, conforme se vê no Gráfico 40.



5.5.3. Telhado verde com blocos TEVA x Telha cerâmica

Na semana das medições simultâneas e comparativas entre protótipos com telhado verde com blocos TEVA e com telha cerâmica sobre a laje, o dia típico de verão selecionado foi 31-12-2014. Tal seleção seguiu o princípio de que, a partir de registros semelhantes de três dias de medições, deve-se selecionar o terceiro dia

como dia típico de verão para análise dos dados. Dessa forma, justifica-se a seleção do dia típico de verão nessa análise, conforme se destaca no Gráfico 41.

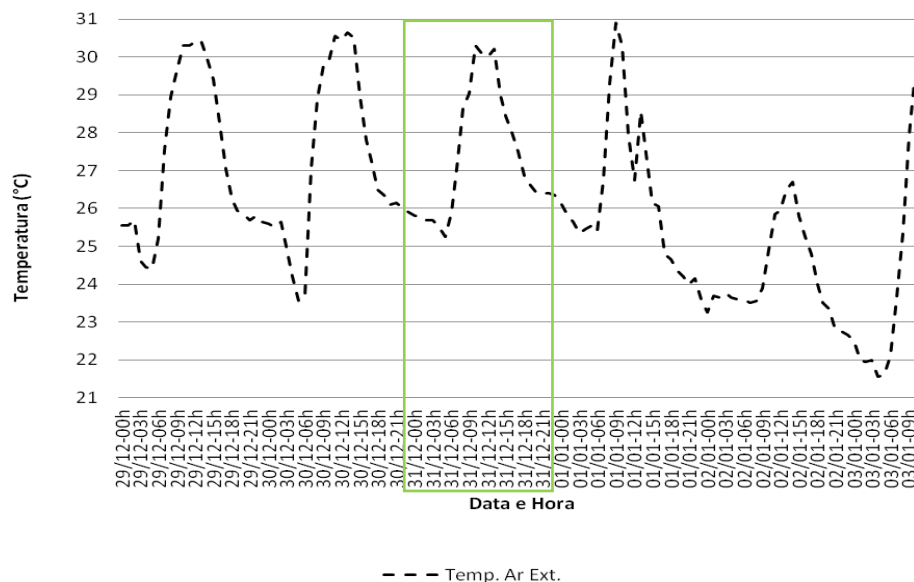


Gráfico 41: Temperatura do ar externo na semana 02 de análise (29 de Dezembro de 2014 a 04 de Janeiro de 2015 - TEVA x telha cerâmica), com destaque para o dia típico de verão selecionado.
Fonte: Acervo Pessoal

Conforme se vê na Tabela 33, de fato, tratou-se de uma semana com temperaturas máximas abaixo de 31°C, com ocorrência de pequenas precipitações pluviométricas, nos três últimos dias de medição.

Tabela 33: Elementos climáticos na semana 02 de análise (29 de Dezembro de 2014 a 04 de Janeiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.
Fonte: Acervo Pessoal

	Datas das medições					
	2014			2015		
Elementos Climáticos	29-12	30-12	31-12	01-01	02-01	03-01
Temperatura máxima (°C)	30,4	30,65	30,3	30,9	26,7	30,0
Amplitude diária (°C)	6,0	7,1	5,1	5,6	3,5	8,5
Temperatura mínima (°C)	24,4	23,55	25,25	25,35	23,25	21,5
Umidade relativa máxima (%)	83,5	89,5	85,5	94,0	97,0	97,0
Umidade relativa mínima (%)	63,5	65,5	69,0	63,0	84,5	67,5
Precipitação pluviométrica máxima (mm)	0	0	0	0,1	4,2	0,1

No dia típico de verão selecionado, o protótipo com telhado verde com blocos TEVA apresentou comportamento térmico mais estável comparado ao protótipo com telha cerâmica sobre a laje, conforme apresentado na Tabela 34.

Tabela 34: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telha cerâmica sobre laje, no dia típico de verão selecionado (31-12-14). Destaque para as temperaturas máximas e mínimas registradas.

Fonte: Acervo Pessoal

Hora	Teto			
	TEVAExt (°C)	TEVAInt (°C)	T.CERÂ.Ext (°C)	T.CERÂ.Int (°C)
00:00	26,41	29,32	26,37	29,20
01:00	26,29	29,11	26,20	28,76
02:00	26,28	28,89	26,11	28,36
03:00	26,19	28,70	26,22	28,04
04:00	25,90	28,51	25,68	27,77
05:00	25,74	28,32	25,52	27,50
06:00	26,15	28,12	26,53	27,25
07:00	26,43	27,93	29,36	27,09
08:00	27,99	27,77	33,36	27,18
09:00	29,57	27,75	35,91	27,67
10:00	32,52	27,84	37,47	28,44
11:00	32,89	28,06	38,58	29,57
12:00	32,52	28,81	39,98	30,71
13:00	33,26	28,67	40,29	31,75
14:00	31,16	29,01	33,76	32,35
15:00	30,03	29,25	32,05	32,53
16:00	29,05	29,44	30,57	32,46
17:00	28,05	29,51	28,94	32,17
18:00	27,39	29,50	28,18	31,71
19:00	26,94	29,43	27,61	31,17
20:00	26,69	29,31	27,46	30,62
21:00	26,54	29,15	27,35	30,12
22:00	26,41	28,97	27,26	29,65
23:00	26,28	28,79	27,11	29,23
24:00	26,05	28,60	26,76	28,88

Como esperado, o atraso térmico também foi maior na cobertura vegetada com blocos TEVA comparado com a cobertura com telhas cerâmicas, uma vez que ambas as coberturas atingiam a temperatura superficial máxima externa às 13 horas, mas apresentaram temperaturas superficiais máximas internas diferentes, sendo 15 horas e 17 horas, para a cobertura com telha cerâmica e com telhado verde com blocos TEVA, respectivamente. Portanto, o atraso térmico através da cobertura com telhado verde com blocos TEVA foi igual a quatro (4) horas, o dobro do atraso térmico verificado com cobertura em telhas cerâmicas. As reduções de temperatura no atraso térmico também são diferentes, 3,7°C e 7,7°C correspondente às coberturas com telhado verde com blocos TEVA e com telhas cerâmicas,

respectivamente. Curiosamente, aqui a maior redução de temperatura ocorre para o protótipo com telhas cerâmicas sobre a laje, devido a alcançar a maior temperatura superficial externa (40,2°C). Quanto às amplitudes térmicas tanto em relação ao ambiente externo, quanto ao interno, verifica-se que elas foram bem diferentes e bastante menores para o protótipo com telhado verde com blocos TEVA, quando comparadas com protótipo com o telhado cerâmico, como mostra a Tabela 35.

Tabela 35: Amplitude térmica das superfícies externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telha cerâmica sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (31-12-14).

Fonte: Acervo Pessoal

		TEVA	CERÂMICO
	Temperatura máx °C	33,26437	40,29273
EXTERNAMENTE	AMPLITUDE TERMICA	7,52	14,77
	Temperatura mín °C	25,73698	25,52036
	Temperatura máx °C	29,50928	32,53471
INTERNAMENTE	AMPLITUDE TERMICA	1,76	5,44
	Temperatura mín °C	27,74839	27,08736

As temperaturas superficiais máximas externas dos dois protótipos analisados estão distanciadas entre si por 7,02°C de diferença, conforme se observa no Gráfico 42. De fato, as temperaturas superficiais externas no protótipo com telhado verde com blocos TEVA são menores praticamente durante todo o período das medições, com a maior diferença (7,02°C) no início da tarde.

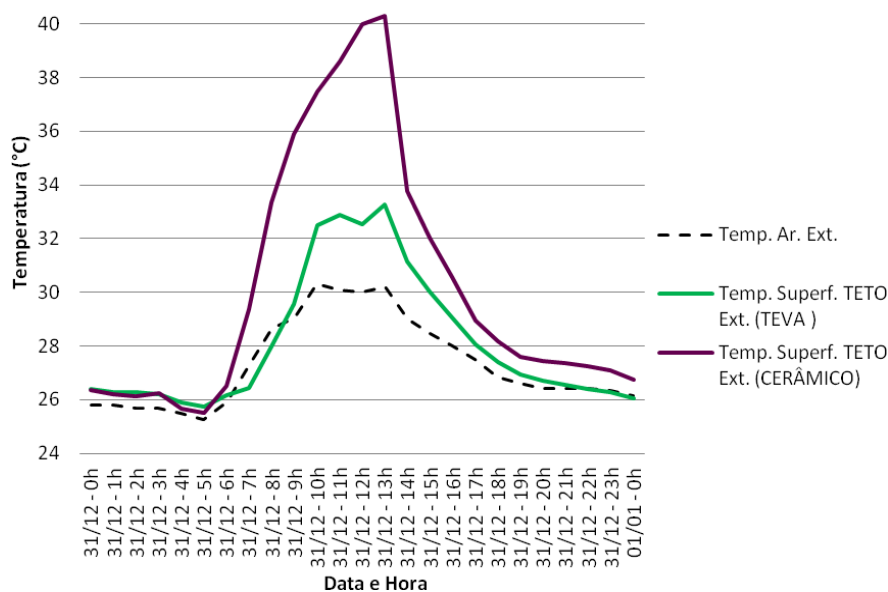


Gráfico 42: Temperaturas superficiais externas dos tetos do protótipo com telhado verde com blocos TEVA, e do protótipo com telha cerâmica sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Com relação à diferença entre as temperaturas máximas da superfície interna dos tetos dos dois protótipos analisados (telhado verde com blocos TEVA X telha cerâmica) o valor é menor, ou seja, apenas 3,02°C, porém ele constitui uma diferença significativa que certamente interfere na redução da temperatura do ar interno, conforme pode ser interpretado no Gráfico 43.

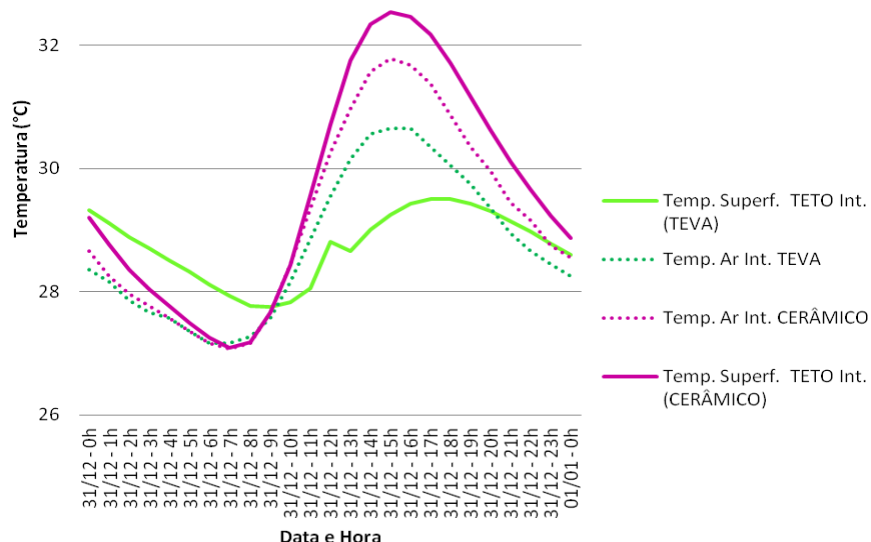


Gráfico 43: Temperaturas superficiais internas comparativas entre tetos dos protótipos com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e com telhado cerâmico sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

O comportamento térmico dos dois protótipos com diferentes coberturas (telhado verde com blocos TEVA X telha cerâmica), considerando todos os registros de medições feitos durante o período, pode ser vistos no Gráfico 44.

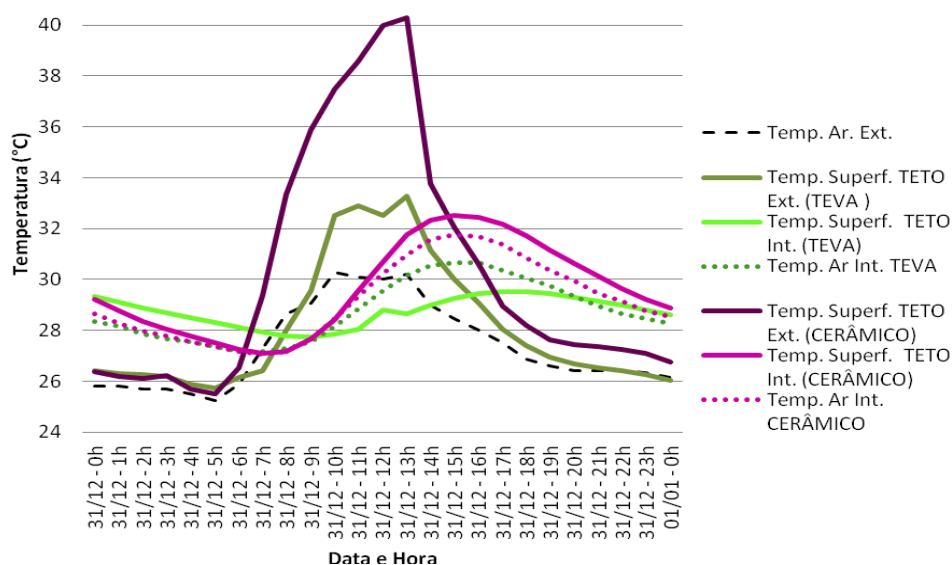


Gráfico 44: Comportamento térmico comparativo entre protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e protótipo com telha cerâmica sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Mais uma vez, observa-se que as temperaturas superficiais internas do teto do protótipo com telhado verde com blocos TEVA são menores durante todo o período entre às 9 horas da manhã até às 24 horas (meia noite), quando comparadas às temperaturas superficiais internas do teto do protótipo com telha cerâmica. Conforme tem sido observado nos casos anteriores, somente no protótipo com telhado verde com blocos TEVA verifica-se que a temperatura do ar interno ao protótipo se mantém maior do que a temperatura superficial interna do próprio teto, durante grande parte do dia (manhã e tarde), conforme apresentado no Gráfico 44. Contudo, na comparação entre as temperaturas do ar internas aos dois protótipos analisados (telhado verde com blocos TEVA X telha cerâmica) percebe-se a maior redução para o protótipo com telhado verde com blocos TEVA, como tem sido visto também nos casos anteriores. Isso reforça o desempenho térmico desse tipo de telhado proposto neste trabalho.

Na verdade, a temperatura do ar interno do protótipo com telhado verde com blocos TEVA apresentou-se mais baixa ao longo de toda semana de medições, quando comparada ao protótipo com cobertura com telha cerâmica, como pode ser visto no Gráfico 45.

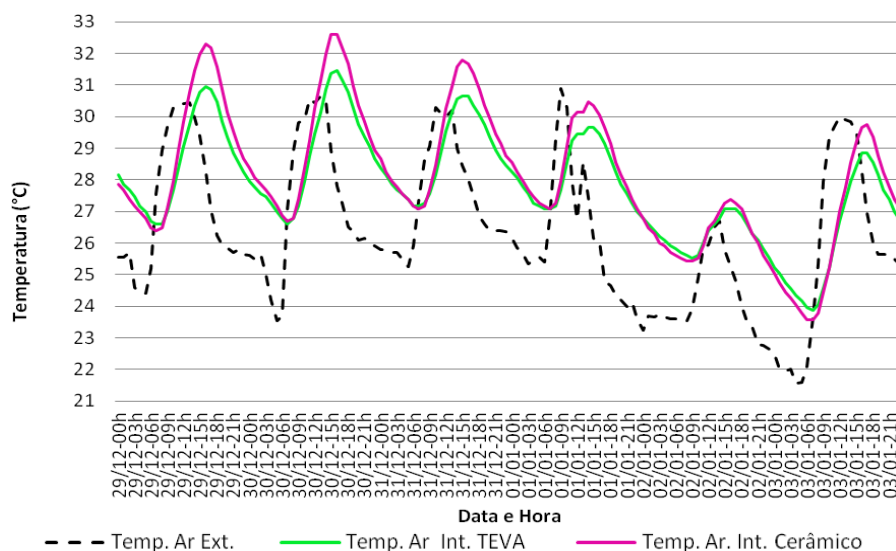


Gráfico 45: Temperatura do ar externo, e do ar interno nos protótipos com Telhado verde com blocos TEVA, e com telhas cerâmicas sobre laje.

Fonte: Acervo Pessoal

Outra análise interessante é quando se comparam os resultados obtidos precisamente no dia 02-01-2015, no qual houve maior precipitação pluviométrica sobre os protótipos analisados. Para isso, leva-se em conta a constatação de que as telhas cerâmicas por serem porosas conforme demonstrado experimentalmente por

Bueno (1994), absorvem umidade do ar no período noturno, ou quando há ocorrência de chuvas, mas quando elas estão sob temperaturas maiores, durante o dia ou logo após o término da chuva, por exemplo, perdem essa umidade, de modo que isto poderia favorecer a redução das temperaturas internas do ar no protótipo, inclusive aquela máxima diária. Diante disso, pode-se justificar a aproximação de comportamento entre os registros de temperatura do ar interno dos dois protótipos analisados (telhado verde com blocos TEVA X telha cerâmica), exatamente para o dia 02-01-2015.

Essa aproximação entre tais comportamentos, praticamente igualando as curvas de temperatura do ar interna aos protótipos no dia 02-01-2015, devido à ocorrência de chuvas, é bastante positiva, porém deve-se lembrar das funções ecológicas promovidas pelo telhado vegetado com relação às coberturas convencionais com telha cerâmica e ainda a relação apenas quando ocorrem chuvas. Evidentemente, isso merece maiores investigações para esclarecer melhor a discussão levantada aqui nessa análise.

5.5.4. Telhado verde com blocos TEVA x Telhado Verde com blocos concreto

As medições simultâneas comparativas entre os protótipos com telhado verde com blocos TEVA e com blocos de concreto foram realizadas numa semana com temperatura elevadas (Gráfico 46).

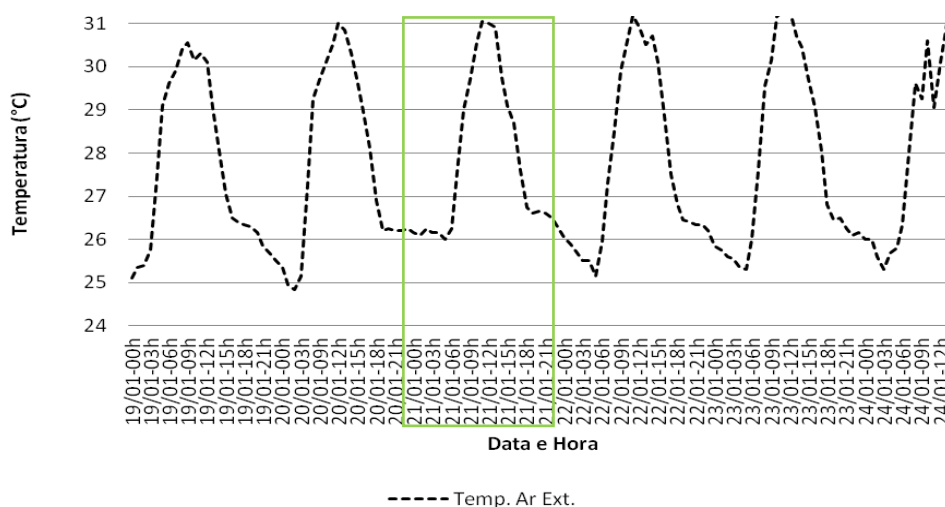


Gráfico 46: Temperatura do ar externo na semana 05 de análise (19 de Janeiro a 24 de Janeiro de 2015 - TEVA x Concreto), com destaque para o dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

O dia típico de verão (21/01-2015) foi precedido por outro dia similar em termos de registros das temperaturas, bem como em relação aos elementos climáticos, inclusive também sem ocorrência de precipitação pluviométrica, conforme se pode vê no Gráfico 46 e na Tabela 36.

Tabela 36: Elementos climáticos na semana 05 de análise (19 de Janeiro a 24 de Janeiro de 2015), com destaque para o dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Elementos Climáticos	Datas das medições em 2015					
	19-01	20-01	21-01	22-01	23-01	24-01
Temperatura máxima (°C)	30.7	31.1	31.1	31.3	31.4	31.1
Amplitude diária (°C)	5,6	6,3	5,1	6,2	6,1	5,8
Temperatura mínima (°C)	25.1	24.8	26	25.1	25.3	25.3
Umidade relativa máxima (%)	89	85	86	85	82	87
Umidade relativa mínima (%)	70	65	67	65	64	67
Precipitação pluviométrica máxima (mm)	0.2	0	0	0.2	0	0

Na Tabela 37, encontram-se os dados de temperatura superficial dos tetos, referentes ao dia típico de verão analisado.

Tabela 37: Temperaturas superficiais externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (21-01-2015). Destaque para as temperaturas máximas e mínimas registradas.

Fonte: Acervo Pessoal

Hora	Teto ("continua")			
	TEVA.Ext (°C)	TEVA.Int (°C)	TVcon.Ext (°C)	TVcon.Int (°C)
00:00	26,01	29,28	27,27	29,55
01:00	26,09	29,01	27,29	29,27
02:00	26,22	28,76	27,27	29,00
03:00	26,04	28,54	27,03	28,77
04:00	25,91	28,33	26,87	28,56
05:00	25,78	28,12	26,71	28,36
06:00	26,31	27,92	27,06	28,16
07:00	29,92	27,64	29,86	27,91
08:00	32,94	27,62	31,97	27,95
09:00	35,79	27,70	34,58	28,11
10:00	37,99	27,92	37,90	28,46
11:00	38,52	28,27	43,86	28,94
12:00	38,99	28,71	40,36	29,55
13:00	36,46	29,22	36,66	30,21
14:00	34,47	29,70	34,50	30,78
15:00	32,98	30,09	33,32	31,18
16:00	30,64	30,42	31,55	31,45
17:00	28,64	30,60	29,86	31,54
18:00	27,91	30,60	29,22	31,41
19:00	27,58	30,52	28,97	31,19

Hora	Teto ("continuação")			
	TEVA.Ext (°C)	TEVA.Int (°C)	TVcon.Ext (°C)	TVcon.Int (°C)
20:00	27,32	30,38	28,65	30,92
21:00	26,93	30,17	28,25	30,61
22:00	26,63	29,92	27,94	30,29
23:00	26,22	29,67	27,58	29,98
00:00	25,96	29,38	27,31	29,66

Há de se destacar que na comparação entre esses dois tipos de cobertura com telhado verde a única diferença entre elas é a presença do resíduo de EVA como agregado leve nos blocos TEVA. Portanto, a expectativa é no sentido de caracterizar a contribuição da presença desse agregado de EVA no desempenho térmico do telhado verde proposto com uso dos blocos TEVA. Sabendo disso, pode-se partir para a análise.

O atraso térmico das temperaturas máximas é de 5 horas para o telhado verde com bloco TEVA, com redução dessa temperatura igual a 8,3°C, enquanto que para o telhado verde com blocos de concreto esse atraso é de 6 horas, com redução dessa temperatura igual a 12,3°C. Conforme se nota na Tabela 38, o telhado verde com blocos de concretos possui temperatura máxima mais elevada em 4,87°C, com relação do telhado verde com blocos TEVA, por isso, a amplitude térmica externamente para esse tipo de cobertura torna-se mais elevada também.

Tabela 38: Amplitude térmica das superfícies externas e internas do teto, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado (21-01-2015).

Fonte: Acervo Pessoal

		TEVA	TVconc
	Temperatura máx °C	38,98925	43,86108
EXTERNAMENTE	AMPLITUDE TERM	13,21	17,15
	Temperatura mín °C	25,78415	26,7102
	Temperatura máx °C	30,60019	31,53849
INTERNAMENTE	AMPLITUDE TERM	2,90	3,63
	Temperatura mín °C	27,699	27,91088

As amplitudes térmicas internas dos diferentes tipos de telhados verdes são bem próximas (2,9°C e 3,6°C), se comparadas com os resultados dos outros tipos de coberturas (casos anteriores). Contudo, as temperaturas máxima e mínima nos ambientes externos e internos aos protótipos são sempre menores para a cobertura

com telhado verde com blocos TEVA, o que resulta também em menores amplitudes térmicas para esse tipo de cobertura.

Com relação às temperaturas externas registradas ao longo das 24 horas, comparando as duas diferentes coberturas (no Gráfico 47), observa-se que possuem um comportamento similar em parte do período da manhã (das 6 horas até às 10 horas) e em parte do período da tarde (das 13 horas até às 16 horas). No período entre às 10 horas e 13 horas, no protótipo com telhado verde com blocos de concreto há elevação acentuada da temperatura, atingindo a máxima às 11 horas. A temperatura máxima para o protótipo com telhado verde com blocos TEVA, somente ocorre às 13 horas, sendo 4,87°C mais baixa do que o telhado verde com blocos de concreto. Outro resultado interessante é que somente com o telhado verde com blocos TEVA a temperatura superficial externa no teto consegue se igualar à temperatura do ar externo, durante a madrugada, precisamente entre a 0 (zero) hora e 6 horas da manhã. Portanto, pode concluir que o calor armazenado pelo bloco de concreto durante o dia, sobretudo no período de pico de temperatura (entre às 10 e 13 horas), acaba impactando nas maiores temperaturas superficiais no teto desse protótipo, durante a madrugada, o que não parece interessante para os ambientes internos, em regiões de clima quente, como é o caso de João Pessoa-PB, uma vez que tais ambientes passariam a receber, nesses horários, radiação térmica proveniente o teto, com o telhado verde com blocos de concreto.

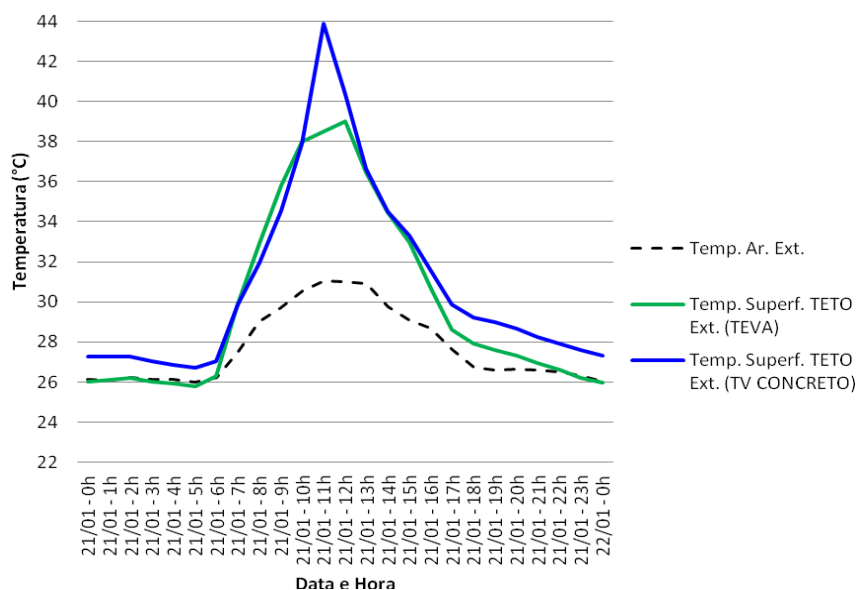


Gráfico 47: Temperaturas superficiais externas dos tetos do protótipo com telhado verde com blocos TEVA, e do protótipo com telhado verde com blocos de concreto, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Levando-se em conta os registros de temperatura no ambiente interno aos dois protótipos, verifica-se que as temperaturas do ar são próximas, tendo o protótipo com telhado verde com blocos TEVA sempre ligeiramente mais baixas ao longo das 24 horas (Gráfico 48). No período que coincide com as máximas temperaturas superficiais externas, há um pequeno aumento da temperatura do ar interna no protótipo com telhado verde com blocos de concreto. Por outro lado, se nota que as temperaturas superficiais internas nos tetos dos dois protótipos em análise são distantes, ao longo das 24 horas de medições, com a temperatura de superfície do teto de telhado verde com blocos TEVA conservando-se bem abaixo, mais destacadamente no período de pico das temperaturas. Mais uma vez, o resultado confirma todas as análises comparativas anteriores, quando demonstrou a menor contribuição térmica dessa superfície (telhado verde com blocos TEVA) no aumento das temperaturas internas (superfície do teto e do ar) do ambiente do protótipo. Na comparação entre os resultados obtidos com dois protótipos em análise, confirma-se a contribuição do agregado de EVA na redução das temperaturas superficiais internas no teto do protótipo com telhado verde com blocos TEVA.

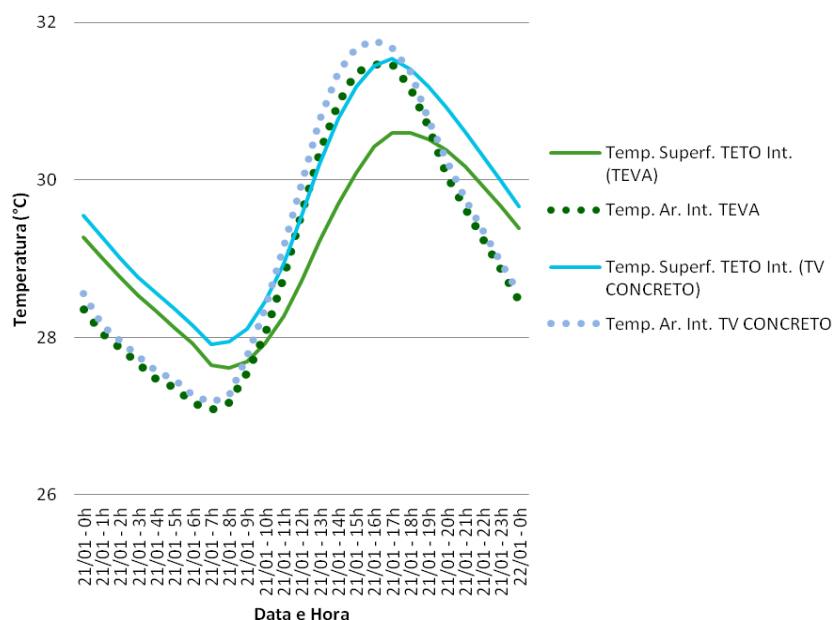


Gráfico 48: Temperaturas superficiais internas comparativas dos tetos do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

No Gráfico 49, tem-se o comportamento térmico com todos os registros de temperaturas utilizadas na comparação entre os protótipos com telhado verde

(blocos TEVA *versus* bloco Concreto), para o dia típico de verão selecionado para essa análise.

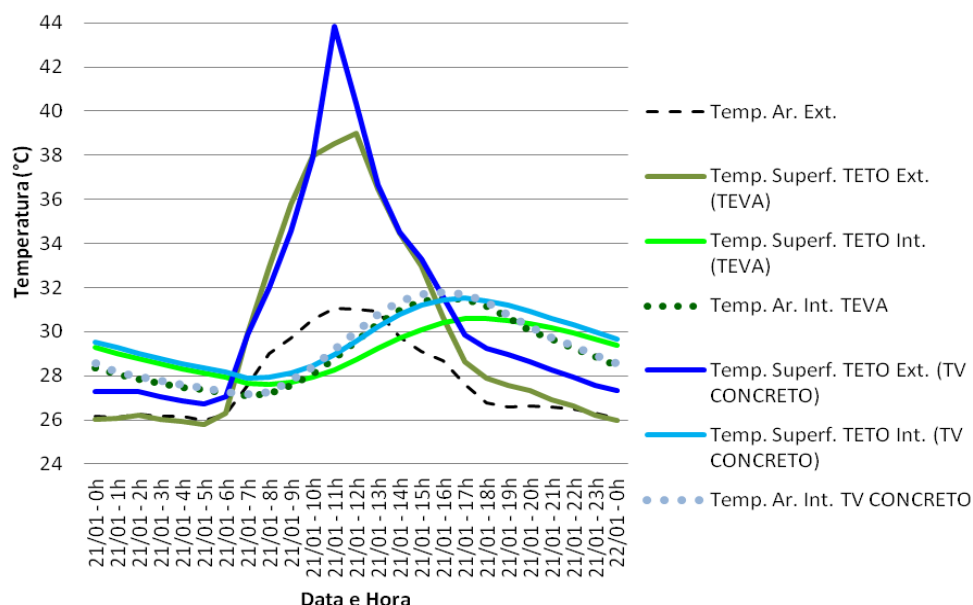


Gráfico 49: Comportamento térmico comparativo, com todos os registros de temperatura, do protótipo com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje, e do protótipo com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, no dia típico de verão selecionado.

Fonte: Acervo Pessoal

Nota-se aqui que há pequenas diferenças entre os resultados obtidos com os dois protótipos com relação, principalmente, o ambiente interno. De fato, é perceptível que ambos os telhados verdes (blocos TEVA e blocos concreto) apresentam temperaturas máximas superficiais do teto e do ar interno praticamente similar à temperatura máxima do ar externo, sendo descartados os atrasos térmicos (5 horas ou 6 horas) para os telhados verdes. Porém, somente o telhado verde com blocos TEVA consegue manter a temperatura máxima superficial interna do teto inferior à temperatura máxima do ar interno, o que é uma diferenciação bastante interessante para o desempenho térmico do bloco TEVA.

Portanto, apesar de pequenas as diferenças encontradas aqui, entre os dois tipos de telhados verdes comparados, pode ser conclusiva a identificação da contribuição do resíduo de EVA, como agregado leve presente nos blocos TEVA, que de alguma maneira favoreceu uma maior amortização da carga térmica para o interior do protótipo. A seguir, encontra-se no Gráfico 50 o comportamento térmico semanal das temperaturas do ar, externa e interna aos dois diferentes protótipos com telhados verdes analisados. Nessa escala de registros de temperatura é possível perceber que, durante toda a semana há o atraso térmico, já caracterizado anteriormente, e, além disso, a temperatura do ar interno ao protótipo com telhado

verde com blocos TEVA é sempre um pouco mais baixa comparado com o protótipo ao telhado verde com blocos de concreto. Também se percebe o quanto as máximas temperaturas do ar, externa e interna aos protótipos, se aproximam diferentemente das análises com os telhados convencionais comparados anteriormente (laje exposta, telha de fibrocimento sobre a laje e telha cerâmica sobre a laje).

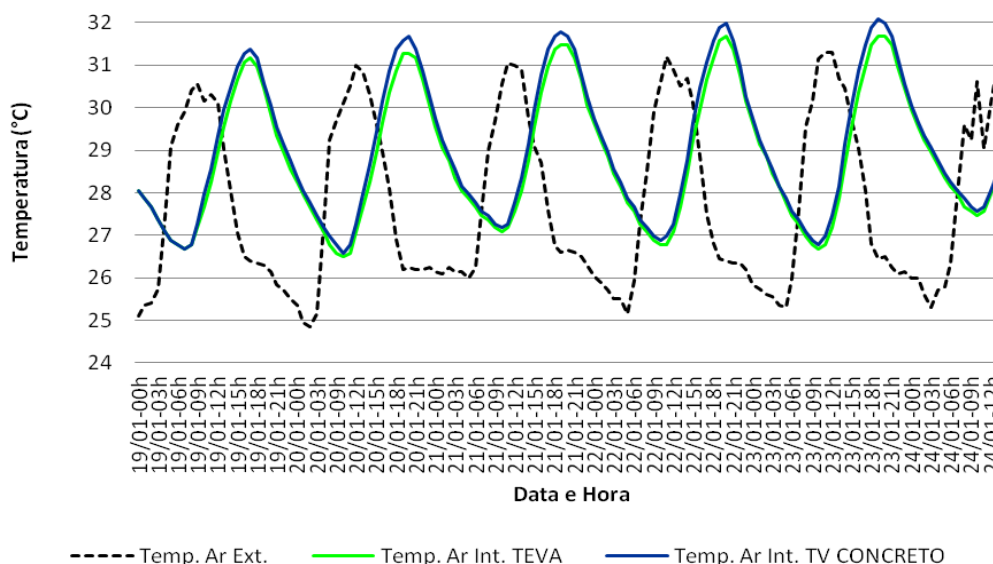


Gráfico 50: Temperatura do ar externo, e do ar interno nos protótipos com Telhados verdes com blocos TEVA, e com os blocos de concreto.

Fonte: Acervo Pessoal

Conforme afirma Lamberts (2010), a “magnitude dos efeitos térmicos de um telhado vegetado no verão dependerá de seus parâmetros físicos, tais quais tipo de substrato e vegetação”. Tendo em conta os experimentos realizados, Lamberts (2010) ainda afirma ainda que, “enquanto a evapotranspiração, sombreamento e alta refletividade à radiação solar fornecida pela vegetação diminuem grande parte da radiação solar incidente, as camadas de terra, brita e seixo adicionam massa térmica ao sistema, atrasando e amortecendo o processo de transferência de calor”. Diante disso, tendo em vista as pequenas diferenças, pode-se deduzir que um dos fatores determinantes no desempenho térmico em um telhado verde refere-se à presença do substrato e da vegetação. O material que compõe um telhado verde, entre eles os blocos como módulos para receber a vegetação, como é proposto aqui, tem sua contribuição, certamente menor, uma vez que os fatores que parecem interferir mais no comportamento térmico, especificamente, deve ser em relação à parte orgânica do sistema, inclusive o quanto a vegetação da cobertura se adensa. Cabe lembrar que praticamente não há diferença entre as variáveis destacadas (altura

do substrato e tipo e adensamento da vegetação no interior dos blocos) na análise comparativa feita com os telhados verdes com blocos TEVA e de concreto.

Dessa forma, o comportamento térmico entre os protótipos, da maneira como foi comparado nesse trabalho, deve ser considerado restrito e intrínseco as características dos sistemas de telhados verdes analisados aqui.

Por outro lado, como a presente pesquisa teve como foco um bloco cimentício (bloco TEVA), que incorpora agregados leves, obtidos a partir de resíduo de EVA (resíduos da indústria calçadista), pode-se afirmar que ficou caracterizada a viabilidade técnica do sistema de telhado verde proposto. Para, além disso, as vantagens térmicas reconhecidas desse resíduo também devem ser adicionadas aos ganhos identificados para o sistema de telhado proposto, uma vez que ficou clara a contribuição atrasando e amortecendo o processo de transferência de calor, através da cobertura.

Na Figura 101, são apresentadas algumas imagens termais, como ensaio acessório na presente pesquisa, que ilustram um comportamento interessante do bloco de concreto, quando comparado ao bloco TEVA.

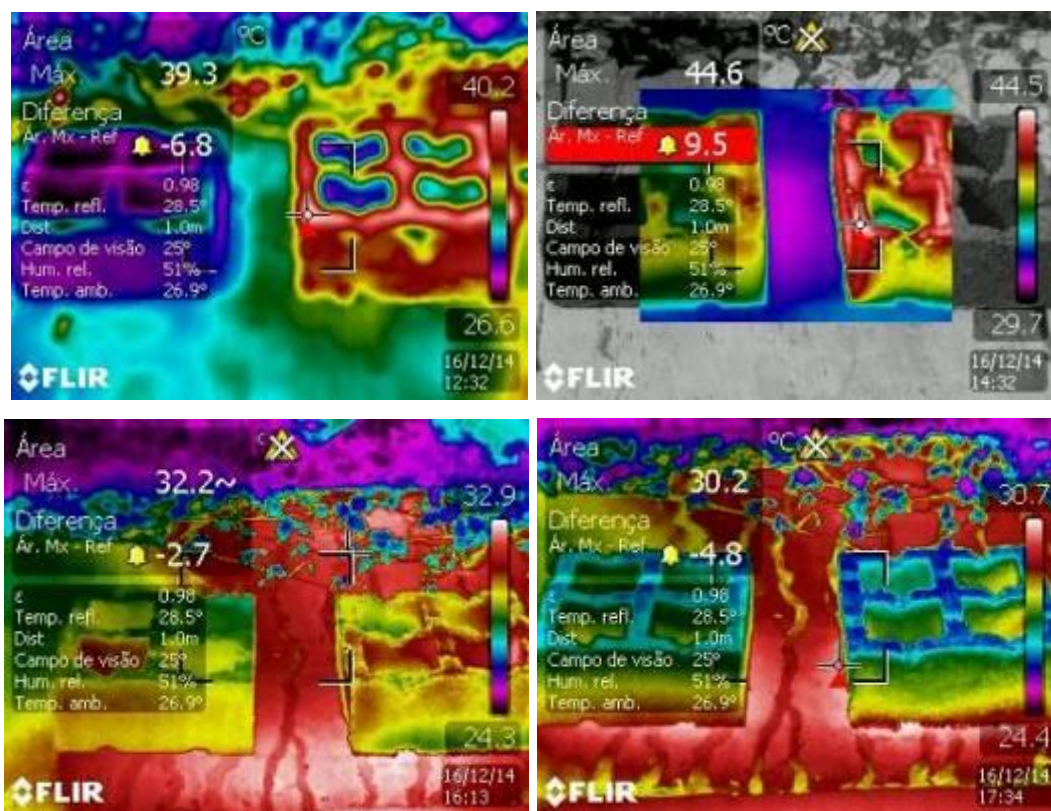


Figura 101: Imagens termais (acima, durante aquecimento, e abaixo, durante resfriamento) dos blocos de concreto (lado esquerdo) e blocos TEVA (lado direito).

Fonte: Acervo Pessoal.

Após pouco tempo de exposição de ambos os blocos à insolação direta, o bloco TEVA aparece com temperatura mais elevada na imagem (cor vermelha). A interpretação para esse resultado é que apesar de absorver mais rapidamente o calor, o bloco TEVA por ter menor condutividade térmica do que o bloco de concreto acaba dificultando as trocas de calor entre ele e a laje, onde está apoiado. De modo contrário, o bloco de concreto absorve menos calor no mesmo período de tempo, uma vez que ele conduz mais rápido a temperatura para a laje onde se apoia. Essa é uma hipótese que merece ser mais bem investigada em outros estudos experimentais.

5.5.5. Análise simultânea da temperatura do ar interno em todos os protótipos

Os cinco protótipos com diferentes coberturas (com laje exposta; com telha de fibrocimento sobre laje; com telha cerâmica sobre a laje; com telhado verde com blocos de concreto sobre a laje; e com telhado verde com blocos TEVA sobre a laje) tiveram suas temperaturas do ar internas comparadas, considerando os registros feitos a cada uma das 9 (nove) semanas de medição. Como já bem ressaltado, as temperaturas do ar dos ambientes internos, conservam-se superiores que as do ambiente externo, mediante tratar-se de um estudo em escala reduzida, e sem ventilação no ambiente interno. Compreendido isto, conforme se vê na série de nove (9) gráficos, (Gráfico 51 até Gráfico 59), é possível identificar um padrão de comportamento, que se reproduziu em todos eles, quando as máximas temperaturas do ar no interior dos protótipos foram organizadas em ordem decrescente, nas seguintes coberturas: a laje exposta, sempre com os registros mais elevados, posicionando-se no topo; telha de fibrocimento sobre a laje em segundo lugar, às vezes se sobrepondo a cobertura com laje exposta; telha cerâmica na terceira posição, às vezes se sobrepondo com o protótipo com cobertura de telhas de fibrocimento; o telhado verde com blocos de concreto, ficando na quarta posição, e por fim, o telhado verde com blocos TEVA sempre com temperaturas do ar interno mais amenas, ficando com a curva mais baixa em todas as semanas. Este comportamento do telhado verde de sempre conservar as temperaturas mais baixas

também foi encontrado por Vecchia (2005), o que reforça os resultados desse estudo.

SEMANA 01-

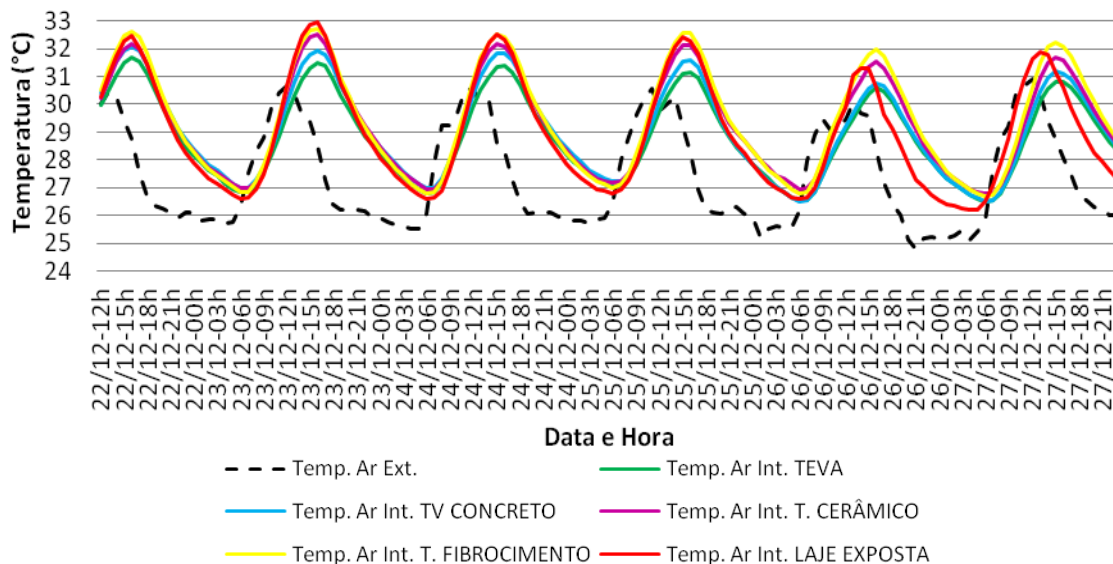


Gráfico 51: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 01 (22 de Dezembro a 27 de Dezembro de 2014).
Fonte: Acervo Pessoal

SEMANA 02-

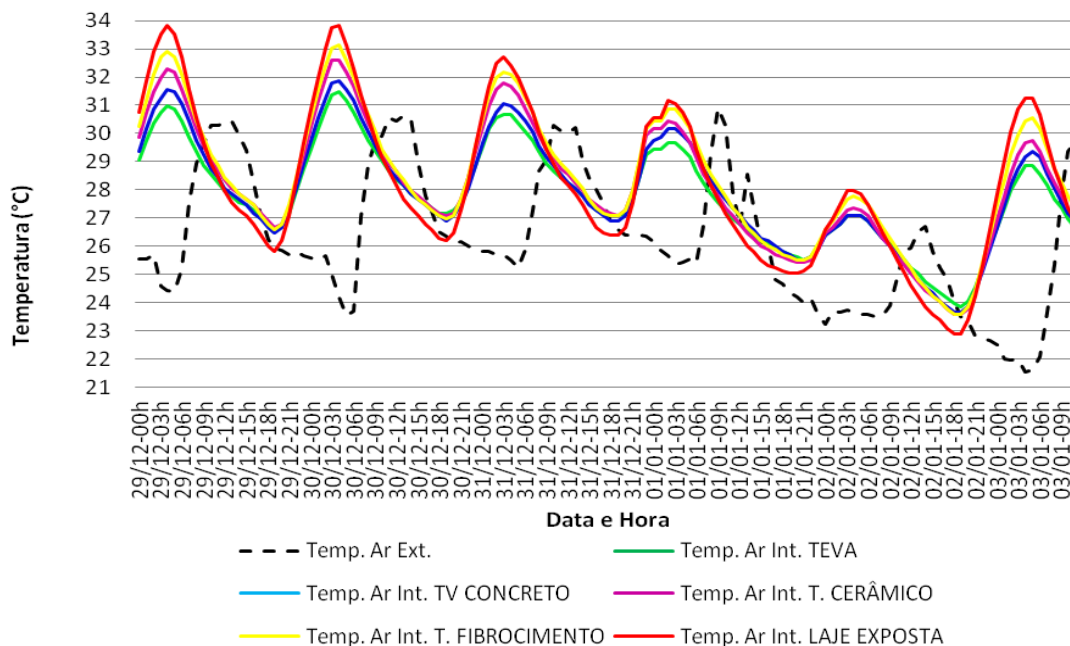


Gráfico 52: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 02 (29 de Dezembro de 2014 a 03 de Janeiro de 2015).
Fonte: Acervo Pessoal

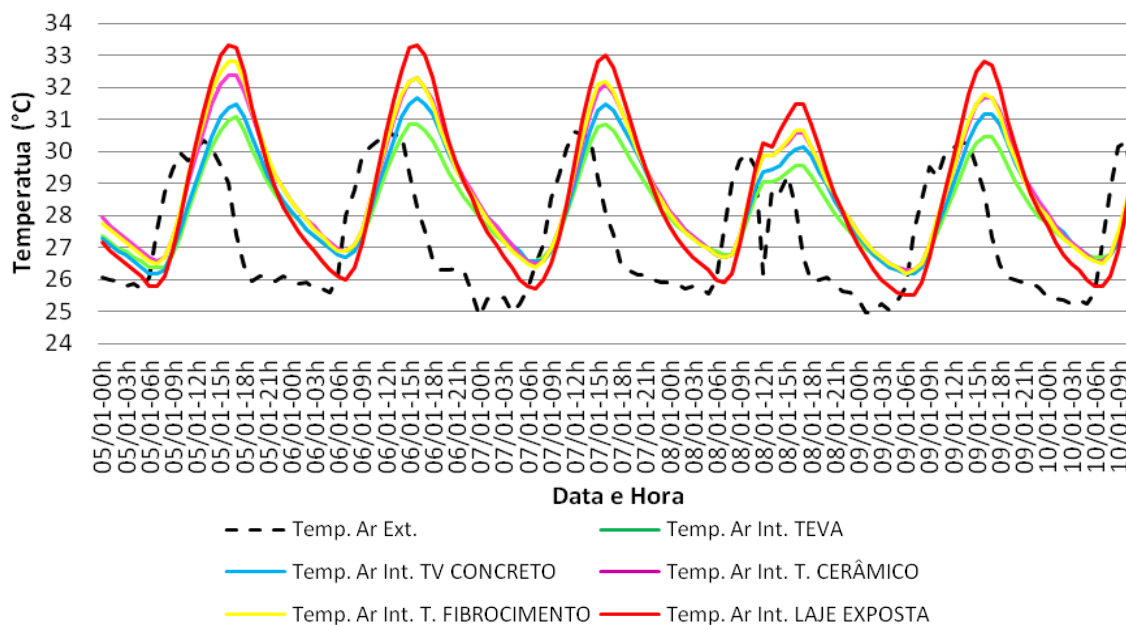
SEMANA 03

Gráfico 53: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 03 (05 de Janeiro a 10 de Janeiro de 2015).
Fonte: Acervo Pessoal

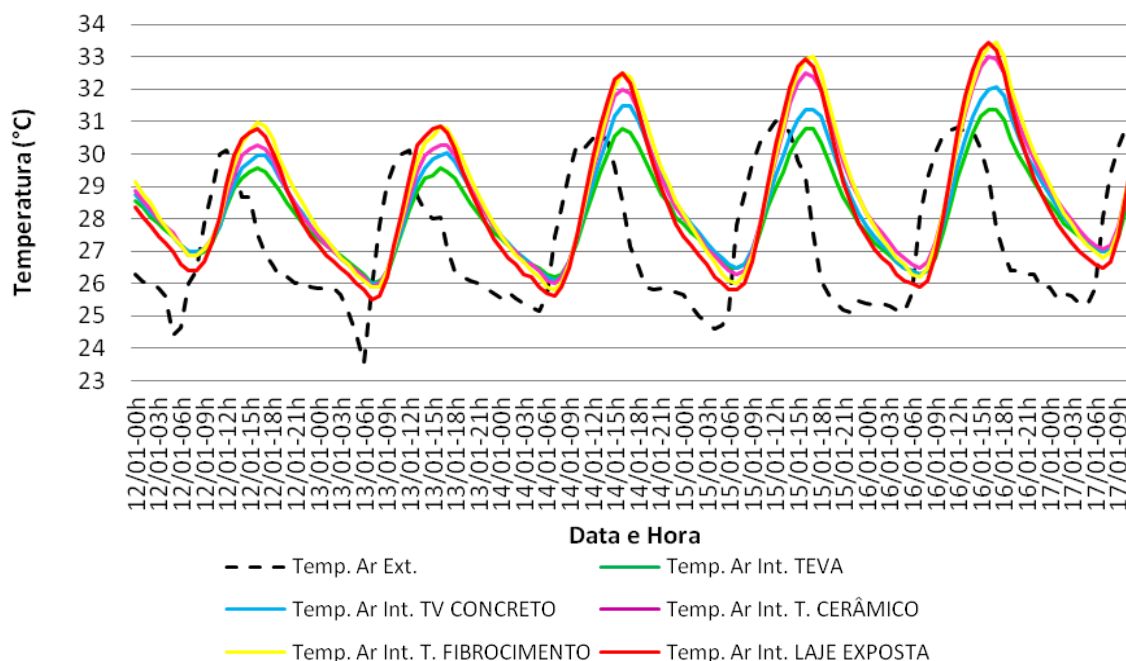
SEMANA 04-

Gráfico 54: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 04 (12 de Janeiro a 17 de Janeiro de 2015).

Fonte: Acervo Pessoal

SEMANA 05-

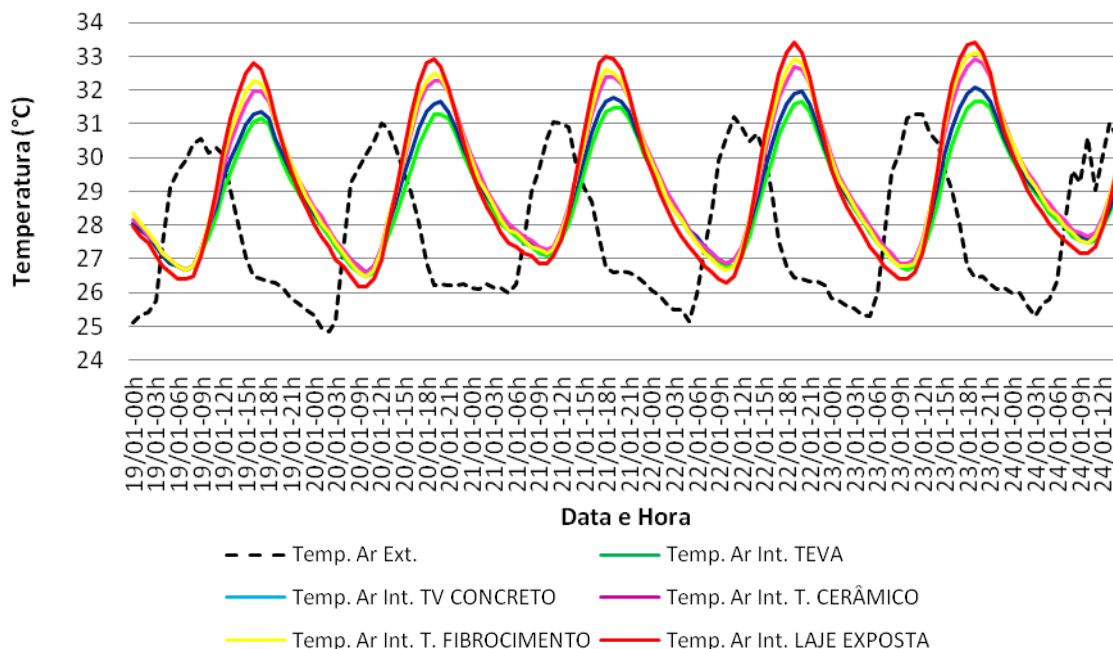


Gráfico 55: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 05 (19 de Janeiro a 24 de Janeiro de 2015).
Fonte: Acervo Pessoal

SEMANA 06-

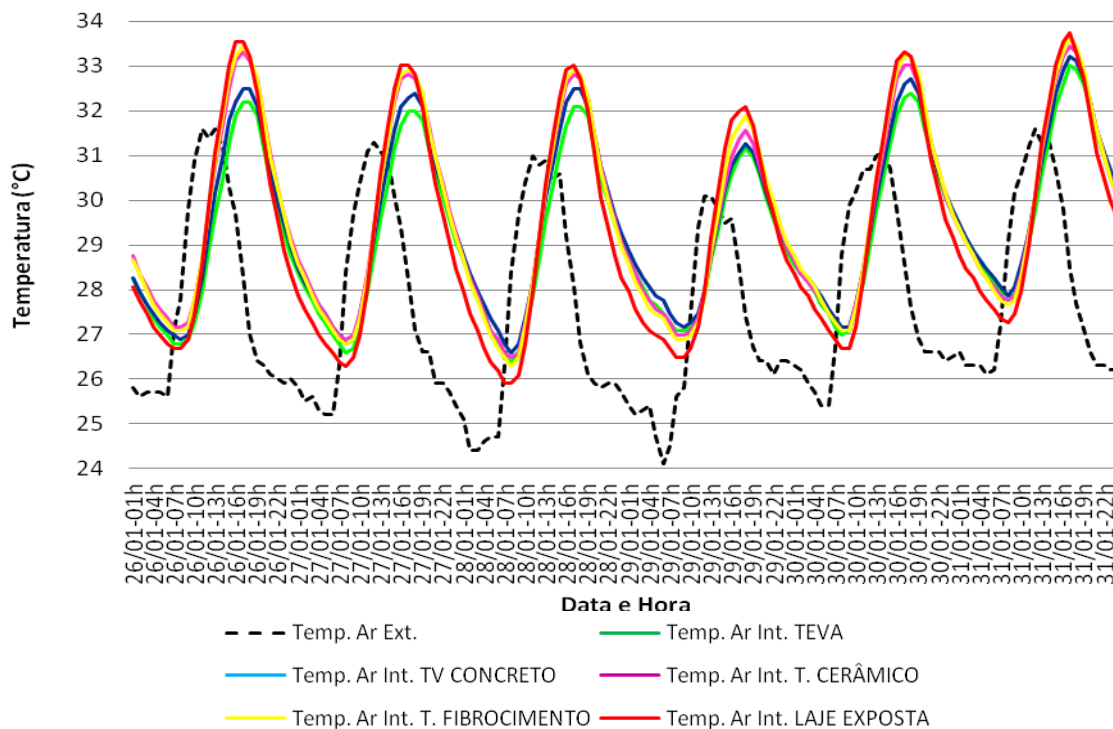


Gráfico 56: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 06 (26 de Janeiro a 31 de Janeiro de 2015).
Fonte: Acervo Pessoal

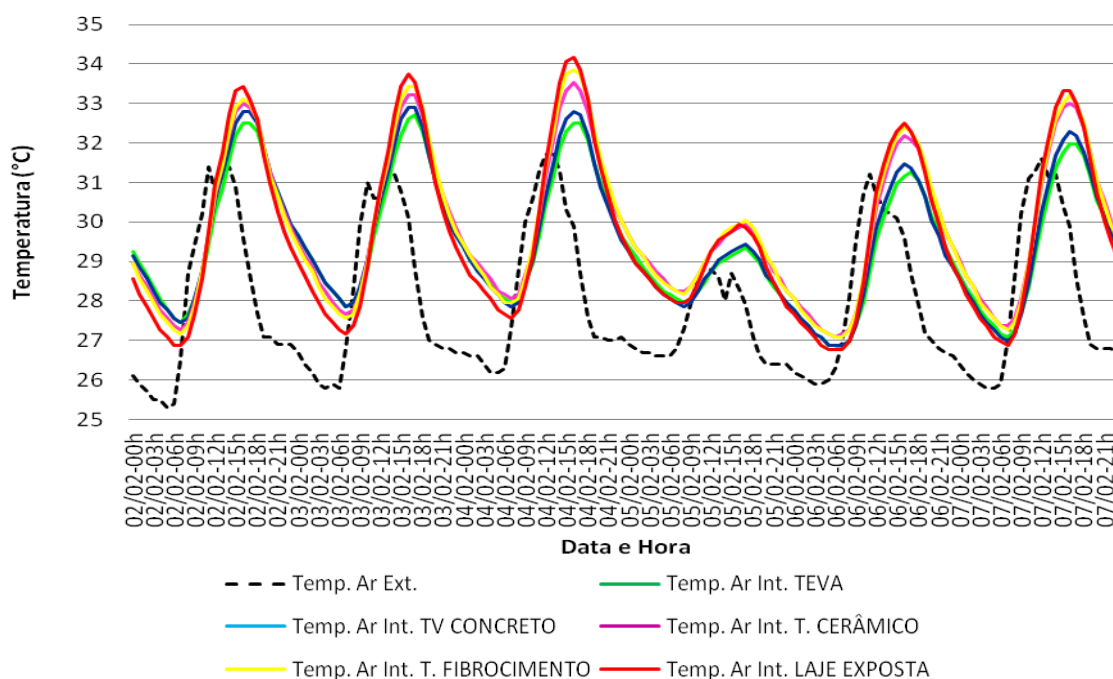
SEMANA 07-

Gráfico 57: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 07 (02 de Fevereiro a 07 de Fevereiro de 2015).

Fonte: Acervo Pessoal

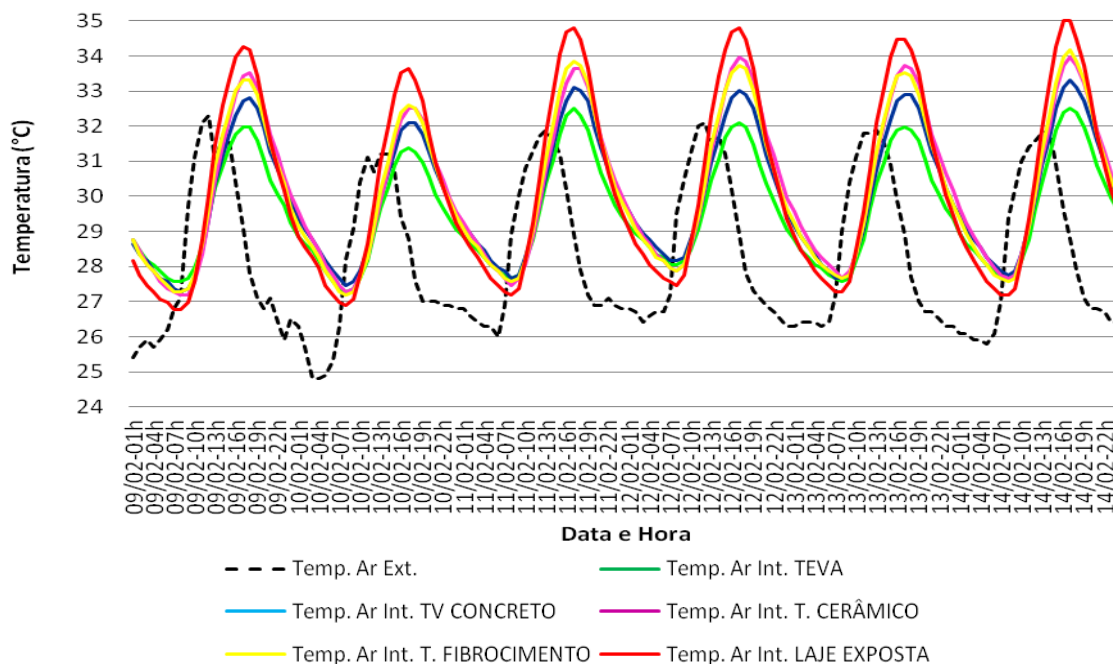
SEMANA 08-

Gráfico 58: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 08 (09 de Fevereiro a 14 de Fevereiro de 2015).

Fonte: Acervo Pessoal

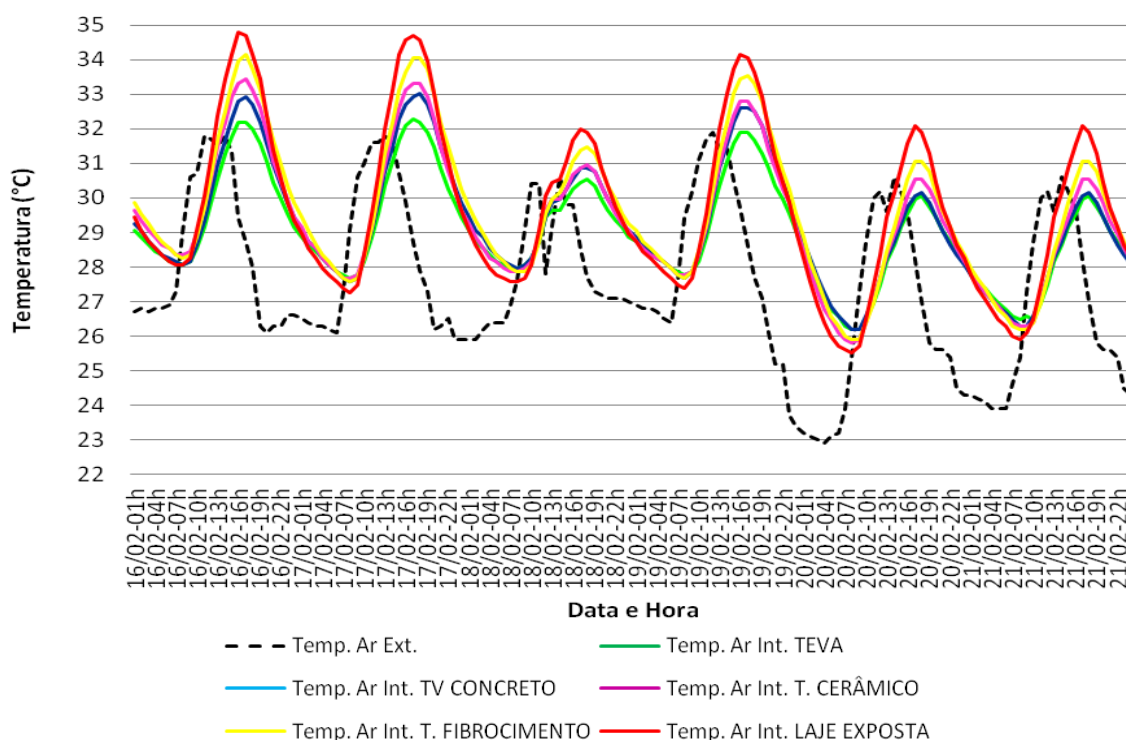
Semana 09

Gráfico 59: Temperatura do ar externo, e do ar interno dos protótipos com diferentes coberturas. Análise da SEMANA 09 (16 de Fevereiro a 21 de Fevereiro de 2015).

Fonte: Acervo Pessoal

5.6. Comparativo do escoamento das águas pluviais em diferentes tipos coberturas

O interesse nessa parte do estudo é caracterizar a capacidade de absorção da água de chuva, através dos telhados verdes (com blocos TEVA e de concreto), sempre comparando com os telhados convencionais, estando todos os protótipos com suas coberturas submetidas às mesmas condições de precipitações pluviométricas, no local onde foram construídos.

As águas drenadas por diferentes coberturas, após precipitações pluviométricas, foram comparadas, considerando os registros desses eventos como se encontram apresentados na Tabela 39.

Tabela 39: Quantitativos de água de chuva escoada por diferentes tipos de coberturas.

Fonte: Acervo Pessoal

Data das medições	Precipitação pluviométrica registradas na Davis mm/dia	Quantidade de água escoada pelas diferentes coberturas				
		Bloco TEVA litros/dia	Bloco Concreto litros/dia	Telha Cerâmica litros/dia	Telha fibrocimento litros/dia	Laje exposta litros/dia
17/01/2015	17,0	18,0 (78,2%)	19,0 (82,6%)	22,5 (93,8%)	21,5 (93,4%)	23,0 (100%)
29/01/2015	2,6	0,5 (9,5%)	0,75 (14,2%)	3,0 (57,1%)	4,75 (90,4%)	5,25 (100%)
01/02/2015	2,0	0,25 (6,6%)	0,5 (13,3%)	1,5 (40%)	3,5 (93,3%)	3,75 (100%)
08/02/2015	1,6	0,25 (9,0%)	0,5 (18,1%)	1,25 (45,4%)	2,5 (90,9%)	2,75 (100%)
10/02/2015	1,4	0,25 (10%)	0,5 (20%)	0,75 (30%)	1,75 (70%)	2,5 (100%)
17/02/2015	0,8	0,25 (16,6%)	0,25 (16,6%)	0,25 (16,6%)	0,5 (33,3%)	1,5 (100%)
18/02/2015	0,4	0,25 (50%)	0,25 (50%)	0,25 (50%)	0,5 (100%)	0,5 (100%)
19/02/2015	1,8	0,5 (25%)	0,75 (37,5%)	1,75 (87,5%)	2,0 (100%)	2,0 (100%)
20/02/2015	11,8	5,5 (23,9%)	7,5 (32,6%)	20,5 (87,1%)	22,5 (97,8%)	23,0 (100%)
21/02/2015	6,6	4,0 (26,6%)	5,25 (35%)	11,0 (73,3%)	14,5 (96,6%)	15,0 (100%)

Conforme se nota nos registros, como esperado, pode-se afirmar que os telhados verdes possuem maior capacidade de retenção em relação aos demais tipos de coberturas. Na comparação entre as coberturas convencionais, observa-se que a laje exposta é a que mais drena água de chuva, em seguida, ocorre com a cobertura com telhas de fibrocimento e, por fim, ocorre com a cobertura com telhas cerâmicas.

Na comparação entre os dois telhados verdes, pode-se ver que aquele com blocos TEVA tem maior capacidade de retenção da água de chuva, na medida em que, para precipitações pluviométricas maiores do que 1 mm (registrada pela Davis), ele sempre teve menores medidas da água drenada através da sua cobertura. Lembra-se também que os blocos TEVA, apesar de serem porosos e facilitarem a drenagem do eventual excesso de água no substrato, esse mesmo bloco TEVA, devido à presença do agregado leve de resíduo de EVA, apresenta a propriedade física com maior absorção de água (cerca de três vezes) comparado com o bloco de concreto. Jobim (2013) comparando a capacidade de diferentes sistemas na retenção da água pluvial concluiu que o telhado verde modular com os blocos de EVA (o intitulado módulo galocha) desenvolvidos pela Ecotelhado foi o mais

promissor, corroborando os resultados daqui. Isto justifica a maior capacidade de retenção da água de chuva para a cobertura com telhado verde com blocos TEVA.

Os 10 (dez) eventos de chuva registrados no período de medições nos protótipos com diferentes coberturas podem ser mais bem visualizados no Gráfico 60.

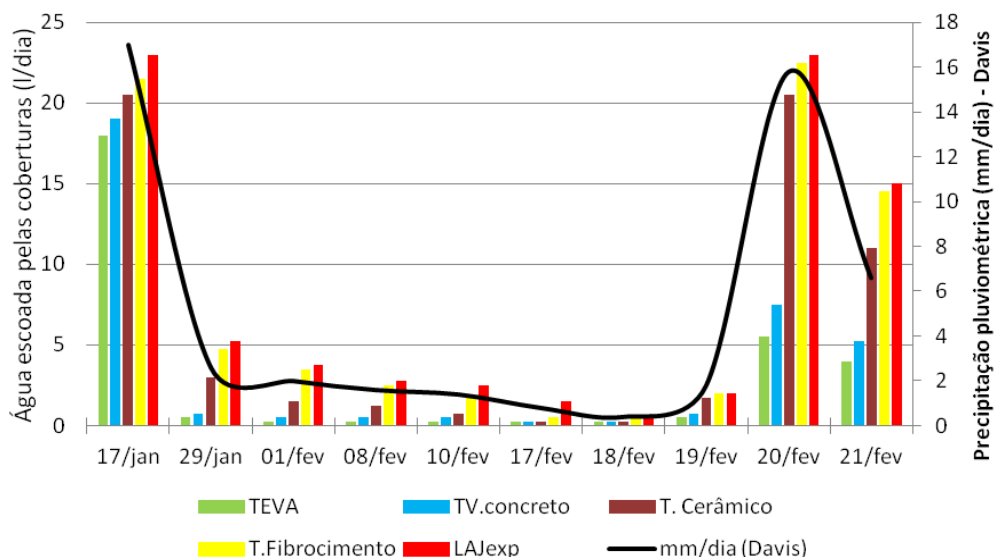


Gráfico 60: Registros da água escoada por diferentes tipos de coberturas dos protótipos, em função de diferentes quantidades de precipitações pluviométricas.

Fonte: Acervo Pessoal

A diferença mais marcante entre os dias com registros de precipitação pluviométrica é quando se compara o evento ocorrido no dia 17 de janeiro de 2015 com o do dia 20 de fevereiro de 2015. Nota-se que ambos os dias tiveram quantidade de precipitação pluviométrica muito próxima, tendo os volumes drenados pelas coberturas com laje exposta com telhas de fibrocimento e com telhas cerâmicas sido reproduzidas com um comportamento similar para os dois dias. Contudo, destaca-se uma grande divergência entre os volumes drenados pelas coberturas dos dois protótipos com telhados verdes para os registros dos dois dias referidos. Acredita-se que esse fenômeno se deve ao fato de que as condições de umidade dos sistemas, compostos pelos blocos (TEVA ou Concreto) e os respectivos substratos, estarem bastante diferentes entre os dois dias analisados. No dia 16 de janeiro de 2015, por exemplo, a vegetação presente nos telhados verdes havia recebido irrigação com água no período da tarde, deixando desse modo, o sistema com certa saturação, reduzindo parcialmente sua capacidade de absorção de água. O detalhe que chama atenção é que esse procedimento foi horas

antes de ocorrer a precipitação pluviométrica, o que certamente contribuiu para que grande parte da água dessa chuva ter sido drenada através de ambas as coberturas (para o dia 17-01-2015 as quantidades são maiores). De modo bem diferente, ocorreu nos dias que antecederam o dia 20 de fevereiro de 2015, quando as plantas não receberam irrigação com água, e embora tenha havido precipitação pluviométrica nos dias anteriores, estas foram em quantidades muito baixas, de modo que quando ocorreu a chuva no dia 20/02/2015 o sistema (bloco + substrato) estava com sua uma capacidade de retenção de água da chuva maior do que aquela apresentada no dia 17/02/2015.

Van Woert (2005), em suas análises, encontrou uma retenção de 82,5 para o telhado verde, Tassi et al. (2014) de 62% de retenção, Jobim (2013) de 88,1%, já DeNardo et al. (2005), encontraram uma variação de 19% a 98%. Nesse estudo os resultados se aproximam mais dos resultados encontrados pelo DeNardo et al. (2005), uma vez que se obteve uma variação de retenção de 21,8% até 93,4%.

Com isso, pode-se deduzir com essa análise, que com relação aos telhados verdes, o aumento de sua capacidade de retenção da água da chuva deve ser relativizado, considerando-se a umidade presente no sistema, composto pelo bloco (TEVA ou concreto) e seus substratos. Ou seja, a capacidade de retenção da água de chuva é maior à medida que o sistema (bloco e substrato) está mais seco; em contra posição, quando esse sistema está saturado, essa capacidade de retenção da água diminui.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O telhado verde extensivo modular, com uso de blocos TEVA, conforme foi proposto nesse trabalho, se mostrou bastante promissor, destacando-se o procedimento metodológico adotado, desde o processo de concepção do pré-moldado, passando pelo monitoramento do desenvolvimento da vegetação no interior dos módulos, até avaliar o desempenho térmico e a capacidade de retenção das águas pluviais do telhado verde, comparado a coberturas convencionais. Dentre os aspectos conclusivos podem ser destacados os principais, conforme se apresenta a seguir.

A partir da geometria projetada para o bloco TEVA, as moldagens experimentais com uso de molde de madeira foram decisivas para os testes iniciais, a baixo custo, que permitiram realizar alterações importantes nas dimensões do bloco. Nesta etapa, identificou-se que a espessura das paredes do bloco TEVA com apenas 2 cm de espessura o fragilizava, sendo necessária a confecção de um novo molde em madeira para novos testes de moldagem de blocos com paredes com 3 cm de espessura, quando se alcançou a robustez adequada, sem perder a leveza do bloco TEVA proposto. Depois de definida a geometria do bloco a suas dimensões gerais, na sequência do estudo de dosagem, que se desenvolvia em paralelo, obteve-se sucesso na produção de blocos TEVA leves e com resistência mecânica suficiente para receberem vegetação e, em posição invertida, serem utilizados como passeio, como havia sido proposto desde o início. O traço mais adequado para essa proposta foi utilizar a proporção 1:5 (cimento: agregados), com 90% de incorporação de EVA e 10% de areia. Cumprida a etapa dos testes iniciais com a produção do bloco TEVA com uso de molde de madeira partiu-se para a confecção de um molde metálico compatível para a máquina vibro-prensa existente em laboratório. Nesse processo, um novo ajuste dimensional foi feito no bloco TEVA, com a definição final das suas dimensões externas da seguinte forma: 30 cm x 30 cm x 13 cm (comprimento, largura, altura). Cabe lembrar que as definições geométricas do módulo inicial proposto foram mantidas. Com o referido molde metálico, foi possível realizar a moldagem de blocos de concreto com a mesma geometria do bloco TEVA, de modo a possibilitar nas avaliações se identificar as efetivas contribuições do agregado EVA na redução da carga térmica e na maior capacidade de retenção da água pluvial dos telhados verde comparados nos experimentos. As moldagens de placas TEVA também foram importantes para simular em laboratório a proposta de três tipos de sistemas para telhados verdes: o modular, o contínuo e o aéreo.

A tecnologia do concreto, no que se refere à necessidade de controlar rigorosamente o processo de moldagens e cura dos componentes se mostrou fundamental para garantir qualidade dos blocos TEVA, fabricados. Tanto os blocos de concreto, quanto os blocos TEVA quando vegetados se mostraram adequados para este fim, permitindo às plantas espaços suficientes para o seu desenvolvimento, mas somente os blocos TEVA vegetados atendem ao critério de sobrecarga, numa laje de cobertura, de até 150 kg/m², que é o requisito para o caso de telhado verde extensivo. A flexibilidade para os arranjos de acomodação entre os

blocos TEVA vegetados e os blocos TEVA invertidos como piso são notáveis, considerando que os blocos TEVA se mostraram bastante adequados para configurar caminhos variados de acesso do pedestre ao telhado verde, seja durante as atividades de sua manutenção, seja simplesmente para sua contemplação.

O telhado verde modular extensivo com uso dos blocos TEVA, instalado em escala real, e monitorado ao longo de 10 meses, bem como instalado em escala de protótipos, e monitorado ao longo de quatro meses, possibilitou concluir que as plantas medicinais ali cultivadas para a condição de clima tropical quente e úmido, como é o caso de João Pessoa-PB, precisam de manutenção mensal, e o fornecimento de água, no período de verão, deve ser, no mínimo, 3 a 4 vezes por semana. Durante o período de monitoramento dos telhados verde testados, observou-se que a drenagem do sistema foi eficiente, levando em conta apenas a inerente alta permeabilidade à água dos blocos TEVA, sendo desnecessário qualquer procedimento adicional para esse fim. Por outro lado, também se conclui que é necessário o uso de uma manta, com barreira antirraiz, sob os blocos TEVA, de modo a proteger a laje das raízes das plantas ali cultivadas, uma vez que se constatou que tais raízes atravessam a base do bloco TEVA.

Quanto à avaliação térmica, constatou-se que o telhado verde com blocos TEVA apresentou as menores temperaturas superficiais no teto, no interior dos protótipos, quando comparado com outras coberturas convencionais, e também em relação ao próprio telhado verde com blocos de concreto. Além disso, os dois telhados verdes, com blocos TEVA e com blocos de concreto, apresentaram sempre temperaturas do ar interna menores, bem como superficiais internas nos tetos dos protótipos, inferiores às temperaturas superficiais internas das suas paredes, diferentemente do que ocorreu com os protótipos com cobertura com laje exposta e com telha de fibrocimento sobre a laje, quando as maiores temperaturas superficiais foram na cobertura. No protótipo com a cobertura em telha cerâmica o comportamento foi intermediário, tendo a temperatura do ar interno recebido contribuição de forma igual às parcelas provenientes da parede e do teto.

Na verdade, constatou-se que as coberturas convencionais nos protótipos avaliados são responsáveis por manter as temperaturas do ar interno mais elevadas quando comparadas aos protótipos com telhados verdes. Na sequência de resultados entre o protótipo com a maior até a menor temperatura do ar interno alcançada durante os experimentos, foi a seguinte: Laje exposta, Telha de

fibrocimento sobre laje, telha cerâmica sobre a laje, telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, telhado verde modular com blocos TEVA sobre a laje. Destaca-se que é também com as coberturas vegetadas onde se encontra um maior equilíbrio, com baixas amplitudes térmicas. Desse modo, pode-se dizer que o telhado verde como proposto apresentou maior inércia térmica para as análises em dias típicos de verão, quando comparado com os demais tipos de coberturas tratadas aqui.

Quanto ao escoamento da água pluvial drenada por diferentes coberturas, a sequência das coberturas que drenam mais água, para as que têm uma maior retenção da água pluvial, foi a seguinte: Laje exposta, Telha de fibrocimento sobre laje, telha cerâmica sobre a laje, telhado verde com blocos de concreto sobre a laje, telhado verde modular com blocos TEVA sobre a laje. Assim, constata-se a coerência entre os resultados do comportamento térmico e da drenagem da água de chuva, quando indica o telhado verde com blocos TEVA como a melhor alternativa mitigadora, tanto para a amenização das temperaturas nos ambientes internos, quanto na retenção das águas pluviais da cobertura.

Por fim, pode-se afirmar que o resíduo da indústria de calçados, especificamente o EVA utilizado nesses experimentos, tem grande potencial para ser utilizado na composição de blocos pré-moldados (bloco TEVA) para serem aplicados em telhados verdes extensivos modulares, apontando-se aqui essa proposta como uma interessante tecnologia local, mais sustentável, visando incentivar as instalações de telhados verdes nos edifícios nas cidades. Dessa forma, destaca-se ainda a agregação de vários aspectos favoráveis na proposta do telhado verde com bloco TEVA: o próprio produto por ele absorver um resíduo industrial gerado na região; o melhor desempenho térmico e a maior capacidade de retenção das águas pluviais caracterizados para o módulo; e ainda a maior flexibilidade de arranjos e facilidade de execução do telhado verde com o módulo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 45**. Agregados- Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 248**. Agregados- Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 12118**. Bloco vazado de concreto simples para alvenaria. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 248**. Edificações Habitacionais- Desempenho- Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR NM 248**. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria- Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1992.

ANDRADE, N. C.; RORIZ, M. **Comportamento Térmico de Cobertura Verde Utilizando a Grama Brachiaria Humidicola na Cidade de São Carlos, SP**. (2009). X Encontro e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal- RN. (16 a 18 de setembro).

ARCO, W. **Telhado verde modular**. 2009. Disponível em <<http://arcoweb.com.br/tecnologia/ecoeficiencia-telhados-e-21-12-2009>> acesso em 14 de set. 2014

BALDESSAR, S. M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. 124 f.

BARBUGLI, R. A. **Influência do ambiente construído na distribuição da temperatura do ar em Araraquara/SP**. 2004. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos. 2004.

BERARDI, U; GHAFARIANHOSEINI, A; GHAFARIANHOSEINI, A. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. **Appl. Energy**, 115, pp. 411–428, 2014.

BEZERRA, A. J. V. **Utilização do resíduo da indústria de calçados EVA como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural**. Dissertação de mestrado, Univ. Federal da Paraíba, Campina grande, 2002.

BINDO, M. (2010). **Desenvolvido no Japão, o tapete de grama Skygarden está sendo implantado em lajes e quintais do Brasil pelo especialista em botânica Ricardo Cardim**. Revista Vida Simples. Disponível em <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/cidade/skygarden-tapete-grama-verde-ricardo-cardim-vidasimples-535414.shtml>> Acesso em 12/11/14.

BIANCHINI, F., HEWAGE, K. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. **Building and environment**, vol. 48, pp. 57-65, 2012.

BOWLER, D.E., BUYUNG-ALI, L., KNIGHT, T.M., PULLIN, A.S. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. **Landscape and Urban Planning**. 97 (3), pp. 147-155. 2010.

BUCCHERI-FILHO, A.T; NUCCI, J.C. Espaços livres, áreas verdes e cobertura vegetal no bairro alto da XV, Curitiba/PR. **Revista do departamento de Geografia, UFPR**, n. 18, p.48-59, 2006.

BUENO. André Duarte. **Tranferência de Calor e Umidade em Telhas: Simulação e Análise Experimental**. 1994. 133p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1994.

CASTLETON, H.F.; STOVIN, V.; BECK, S.B.M.; DAVISON, J.B. Green roofs; Building energy savings and the potential for retrofit. **Energy and Buildings**, 42 (10), pp. 1582-1591. 2010.

COFFMAN, R.R; WAITE, T. Vegetated roofs as reconciled habitats: Rapid assays beyond mere species counts. **Urban Habitats**. Volume 6, Issue 1, July 2011.

CORUMLUOGLU, O; ASRI, I. The effect of urban heat island on Izmir’s city ecosystem and climate. **Environ Sci Pollut. Res.** 22: 3202- 3211. 2015.

CLICKOBRA. **Paisagismo.** 2014. Disponível em <<http://clickobra.com/paisagismo/trepadeiras-especie-charmosa-que-oferece-beleza-natural>> acesso em 14 de set. 2014.

TECHNOLOGY, C. **Green roof systems.** 2008. Disponível em: <<http://www.conservationtechnology.com>>. Acesso em 03 fev. 2014.

CHICAGO, C. of. **City hall's rooftop garden.** 2014. Available: <http://www.cityofchicago.org/city/en/depts/dgs/supp_info/city_hall_green_roof.html>. Acesso em: 28 Mai. 2014.

CRUGER, R. **Green roofs growing in us.** 2009. Available: <<http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/green-roofs-growing-in-us.html>>. Acesso em: 28 Mai. 2014.

DEL BARRIO, E. P. **Analysis of the green roofs cooling potential in buildings.** Energy and Buildings, 27 (2), pp. 179-193. 1998.

DENARDO, J.C., JARRETT, A.R., MANBECK, H.B., BEATTIE, D.J., BERGHAGE, R.D. Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, 48 (4), pp. 1491-1496, 2005.

DIRETO DA FONTE, A. **Comissão aprova projeto que obriga telhado verde em Curitiba.** Disponível em: <<http://revistasustentabilidade.com.br/direto-da-fonte-comissao-aprova-projeto-que-obriga-telhado-verde-em-curitiba/>>. Acesso em: 28 mai. Brasil. 2014.

DUNNETT, N., NAGASE, A., Hallam, A. The dynamics of planted and colonising species on a green roof over six growing seasons 2001-2006: Influence of substrate depth. **Urban Ecosystems**, 11 (4), pp. 373-384. 2008.

ESTADÃO, O. **Projeto de 2009 está parado.** 2012. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,projeto-de-2009-esta-parado,916116,0.htm>>. Acesso em: 28 mai. 2014.

ECOTELHADO. **Lei nº 14.243, de 11 de dezembro de 2007.** Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com.br/informacoesinterna/lei%20em%20santa%20catarina.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2014.

ENERGY, U.S. **Department of. green roof improvement fund.** 2012. Available: <<https://www.energycodes.gov/resource-center/policy/green-roof-improvement-fund-chicago-il-2006>>. Acesso em: 28 Mai. 2014.

FERREIRA, M. F., **Teto verde: o uso de coberturas vegetais em edificações**, Relatório PIBIC, Rio de Janeiro, PUC, 2007. Disponível em: <http://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio_resumo2007/relatorios/art/art_manoela_de_freitas_ferreira.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2014.

FLIR, S. **Câmaras térmicas FLIR.** 2014. Disponível em <<http://www.flir.es/cs/display/?id=41931>> acesso em 13/11/14.

FREIRE, E. **Projeto do telhado verde é aprovado na câmara do recife.** 2014. Disponível em: <<http://euricofreire.com/projeto-do-telhado-verde-e-aprovado-na-camara-do-recife/>> Acesso em 12/01/15.

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de EVA (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil.** Dissertação de mestrado, Univ. Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

GETTER, K.L., ROWE, D.B. The role of extensive green roofs in sustainable development . **HortScience**, 41 (5), pp. 1276-1285. 2006.

HAX, S. P. **Estudo do potencial dos resíduos de EVA. No isolamento de ruído de impacto nas edificações.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

ISHIMATSU, K., ITO, K. Brown/biodiverse roofs: A conservation action for threatened brownfields to support urban biodiversity. **Landscape and Ecological Engineering**, 9 (2), pp, 299-304, 2013.

IGRA. **Green roof types.** 2014. Available: <<http://www.igra-world.com/>>. Access: 28 May. 2014.

JARDIM, S. C. **Revestimento Vivo Modular.** 2014. Disponível em <<http://www.institutocidadejardim.com.br/>> acesso em 14 de set. 2014

JAFFAL, I.; OULDBOUKHITINE, S.; BELARBI. R. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. **Renew Energy**, 43, pp. 157–164, 2012.

JOBIM, A. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial**. Dissertação (mestrado)- Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2013.

JUSBRASIL. **Lei nº 10.047 de 09 de julho de 2013**. Disponível em <<http://www.jusbrasil.com.br/diarios/56458222/doepb-10-07-2013-pg-3> > Acesso em 12/10/14.

JUSCLIP¹. **Projeto de lei defende uso de telhado verde em áreas urbanas**. Disponível em: <http://jusclip.com.br/projeto-de-lei-defende-uso-de-telhado-verde-em-areas-urbanas/>>. Acesso em: 28 mai. 2014.

JUSCLIP². **Lei nº 6.349 , de 30 de novembro de 2012**. Disponível em <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/1033548/lei-6349-12-rio-de-janeiro-rj>>. Acesso em: 08 Dez. 2014.

JUSBRASIL. **Lei nº 6.349/12, de 30 de novembro de 2012**. (2010). Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/1033548/lei-6349-12-rio-de-janeiro-rj>>. Acesso em: 28 mai. 2014.

KÖHLER, M. **Urban Habitats**. 4 (1), pp. 3-26. 2006.

KÖHLER, M., POLL, P.H. Long-term performance of selected old Berlin greenroofs in comparison to younger extensive greenroofs in Berlin. **Ecological Engineering**, 36 (5), pp. 722-729. 2010.

KOLB, W. Good reasons for roof planting - Green roofs and rainwater. **Acta Horticulturae** 643, pp. 295-300, 2004.

LAMBERTS, R. et al. **Casa eficiente : Bioclimatologia e desempenho térmico**. – Florianópolis: UFSC/LabEEE; 2010. v. 1 (123 p.) : il. ; graf. ; tabs.

LEAL, L.C., MARQUETTO, L., NUNES, M.F.O, and TUTIKAN, B.F. Lightweight concrete with eva recycled aggregate for impact noise attenuation. **Materiales de construcción**, vol. 63, pp. 309-316, 2013.

Lion d'Or. **Informações técnicas sobre a borracha de eva (etil-vinil-acetato)**. Disponível em <<http://siteimages.radarindustrial.com.br/SiteImages/Client/55227/Document/eva-informacoes-tecnicas-323.pdf>> acesso em 09/12/14.

LLC, G. **Industry support.** 2013. Available: <http://www.greenroofs.com/greenroofs101/industry_support.htm>. Acesso em: 28 Mai. 2014.

LLC, G. **Projects.** 2014. disponível em <www.greenroofs.com/projects/warsaw_u_library/warsaw_u_library10.gif> Acesso em 28. Mai. 2014

LIMA FILHO, M. R. F. **Avaliação do desempenho mecânico de protótipo executado com blocos de EVA: estudo de impactos horizontais em alvenarias e suas interações com outros elementos da construção.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Univ. Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

MELO, A. B. de, LIMA FILHO, M. R. F. Avaliação de desempenho estrutural de protótipo com paredes construídas com blocos EVA. **Ambiente construído**, vol. 9, pp. 141-155, Out. 2009.

MENDONÇA, T.N.M., HENRIQUES, V.M. and MELO, A. B. Extensive Green Roofs (modulars, continuous and aerial) Supported on Premolded Concrete Bases. 2014. **International Journal of Engineering and Technology (IJET)**, vol. 7 (5): 370-376, Oct. 2015.

MENTENS, J., RAES, D., HERMY, M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? **Landscape and Urban Planning**, 77 (3), pp. 217-226, 2006.

MINKE, G. **Techos Verdes.** Espanha: EcoHabitar, 2005.

MORAIS, C. S. **Desempenho Térmico de Coberturas Vegetais em Edificações na Cidade de São Carlos- SP.** Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de São Carlos. 2004.

MORGAN, S., CELIK, S. and RETZLAFF, W. Green Roof Storm-Water Runoff Quantity and Quality. **Journal of environmental engineering**, vol. 139, pp.471-478, 2013.

NAGASE, A. and DUNNETT, N. Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. **Landscape and Urban Planning**, vol. 104, pp.356-363, 2012.

NGAN, G. **Green Roof Policies: Tools for Encouraging Sustainable Design**. Landscape Architecture Canada Foundation, Canadá, 2004.

NOWAK, D.J; CRANE, D.E; STEVENS, J.C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. **Urban Forestry and Urban Greening**. 4, 115-123, 2006.

NUCCI, J.C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano**. Humanitas/FAPESP. São Paulo. 2001.

NIU, H.; CLARK, C.; ZHOU J.; ADRIAENS, P. Scaling of economic benefits from green roof implementation in Washington, DC. **Environmental Science and Technology**, 44 (11), pp. 4302-4308. 2010.

OULDBOUKHITINE, S.-E.; BELARBI, R.; JAFFAL, I.; TRABELSI, A. Assessment of green roof thermal behavior: A coupled heat and mass transfer mode. **Building and Environment** 46 (12), pp. 2624-2631, 2011.

OBERNDORFER, E; LUNDHOLM, J; BASS, B; COFFMAN, R.R; DOSHI, H; DUNNETT, N; GAFFIN, S; KÖHLER, M; LIU, K.K.Y; ROWE, B. Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. **Bioscience**, 57, pp. 823–833, 2007.

OPÇÃO J. **Prefeitura quer aprovar projeto de IPTU verde**. 2012. Disponível em: <<http://www.jornalopcao.com.br/posts/ultimas-noticias/prefeitura-quer-aprovar-projeto-de-iptu-verde->>. Acesso em: 28 mai. 2014

OHNUMA, A. A. **Medidas não convencionais de reservatório d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares**. Tese (doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental)- Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo, 2008.

PARIZOTTO, S.; LAMBERTS, R. Investigations of green roof thermal performance in temperature climate: a case study of an experimental building in Florianopolis city, Southern Brazil. **Energy Build**, 43, pp. 1712–1722, 2011.

PAULA, L. S. **Utilização de resíduo de EVA como agregado graúdo em concretos**. Monografia em Engenharia Civil, Univ. Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

PECK, S. W; CALLAGHAN, C; KUHN, M. E; BASS, B. **Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada status report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion.** Canada: Canada Mortgage and Housing Corporation. 1999.

PIMENTEL, U. H. O. **Utilização de resíduos da indústria de calçados em blocos de vedação com novas geometrias- bloco EVANG.** Dissertação (mestrado em Engenharia Urbana), Univ. Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

POLARI FILHO, R. S. **Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da indústria de calçados na construção civil: bloco EVA uma alternativa às alvenarias das construções.** Dissertação de mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

PRESTES, S. M. D. **Reaproveitamento de resíduos de EVA reticulado através de reciclagem química.** Tese de doutorado. Dept. de Ciência e Tecnologia de Materiais, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Sorocaba, 2013.

PROWELL, E. S. **An analysis of stormwater retention and detention of modular green roof blocks.** M.S. thesis, Univ. of Georgia, Athens, Georgia, 2006.

PBAGORA. **Projeto prevê redução de até 50% do IPTU para cidadão que promover atitudes sustentáveis.** (2013) Disponível em: <<http://www.pbagora.com.br/conteudo.php?id=20130605122502&cat=politica&keys=projeto-preve-reducao-ate-iptu-cidadao-promover-atitudes-sustentaveis>>. Acesso em: 28 mai. 2014.

ROCHA, F. M. D. **Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca: bloco EVA – intertravamento e racionalização das alvenarias.** Dissertação de mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

ROSSETI, K. A. C. **Estudo do desempenho de coberturas verdes como estratégia passiva de condicionamento térmico dos edifícios na cidade de Cuiabá, MT.** Dissertação de mestrado, Programa de Pós Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

ROWE. D.B. Green roofs as a means of pollution abatement. **Environ. Pollut.**, 159 pp. 2100–2110, 2011.

SAIZ, S., KENNEDY, C., BASS, B., PRESSNAIL, K. Comparative life cycle assessment of standard and green roofs. **Environmental Science and Technology**, 40 (13), pp. 4312-4316. 2006.

SANTOS, F. A. **Avaliação de placas cimentícias com resíduo de EVA quanto ao seu nível de isolamento acústico em sistemas de pisos flutuantes**. Dissertação de mestrado. Dept. de Arquitetura e Urbanismo, Univ. Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

SAVI, A. C. **Telhados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura**. monografia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SILVA, N. C. **Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. Monografia, Dept. de Engenharia de Materiais e Construção, Univ. Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2011.

SCOPUS. **Analyze search results: Documents by year**. Disponível em < <http://www-scopus-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em 11 de Março de 2015.

SCOPUS. **Analyze search results: Documents by country/territory**. Disponível em < <http://www-scopus-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em 11 de Março de 2015.

SUSCA, T., GAFFIN, S.R., DELL'OSSO, G.R. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. **Environmental Pollution**, 159 (8-9), pp. 2119-2126. 2011.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. da S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014.

THEODOSIOU, T.G. Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. **Energy and Buildings**, 35 (9), pp. 909-917, 2003.

TONIETTO, R., FANT, J., ASCHER, J., ELLIS, K., LARKIN, D. A comparison of bee communities of Chicago green roofs, parks and prairies. **Landscape and Urban Planning**, 103 (1), pp. 102-108, 2011.

TORONTO, C. of. **Toronto green roof bylaw**. 2014. Available: <<http://www.toronto.ca/greenroofs/>>. Acesso em: 16 Mai. 2014.

WILLIAMS, N.S.G.; RAYNER, J.P.; RAYNOR, K.J. Green roofs for a wide brown land: opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. **Urban Forest Urban Green**, 9 (2010), pp. 245–251.

VANWOERT, N.D., ROWE, D.B., ANDRESEN, J.A., RUGH, C.L., FERNANDEZ, R.T., XIAO, L. Green roof stormwater retention: Effects of roof surface, slope, and media depth. **Journal of Environmental Quality**, 34 (3), pp. 1036-1044, 2005.

VECCHIA, F. (2005). **Cobertura Verde Leve (Cvl): Ensaio Experimental, Maceió**, In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e IV Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Disponível em <http://www.shs.eesc.usp.br/pessoal/docentes/technotes/14/COBERTURA_VERDE_LEVE-ENSAIO_EXPERIMENTAL.pdf>, acesso em 27/12/14.

WILLIAMS, N.S.G; LUNDHOLM, J; MACIVOR, J. S. Do green roofs help urban biodiversity conservation? **Journal of Applied Ecology**, 51, 1643–1649, 2015.

WONG, N.H., CHEN, Y., ONG, C.L., SIA, A. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. **Building and Environment**, 38 (2), pp. 261-270, 2003.

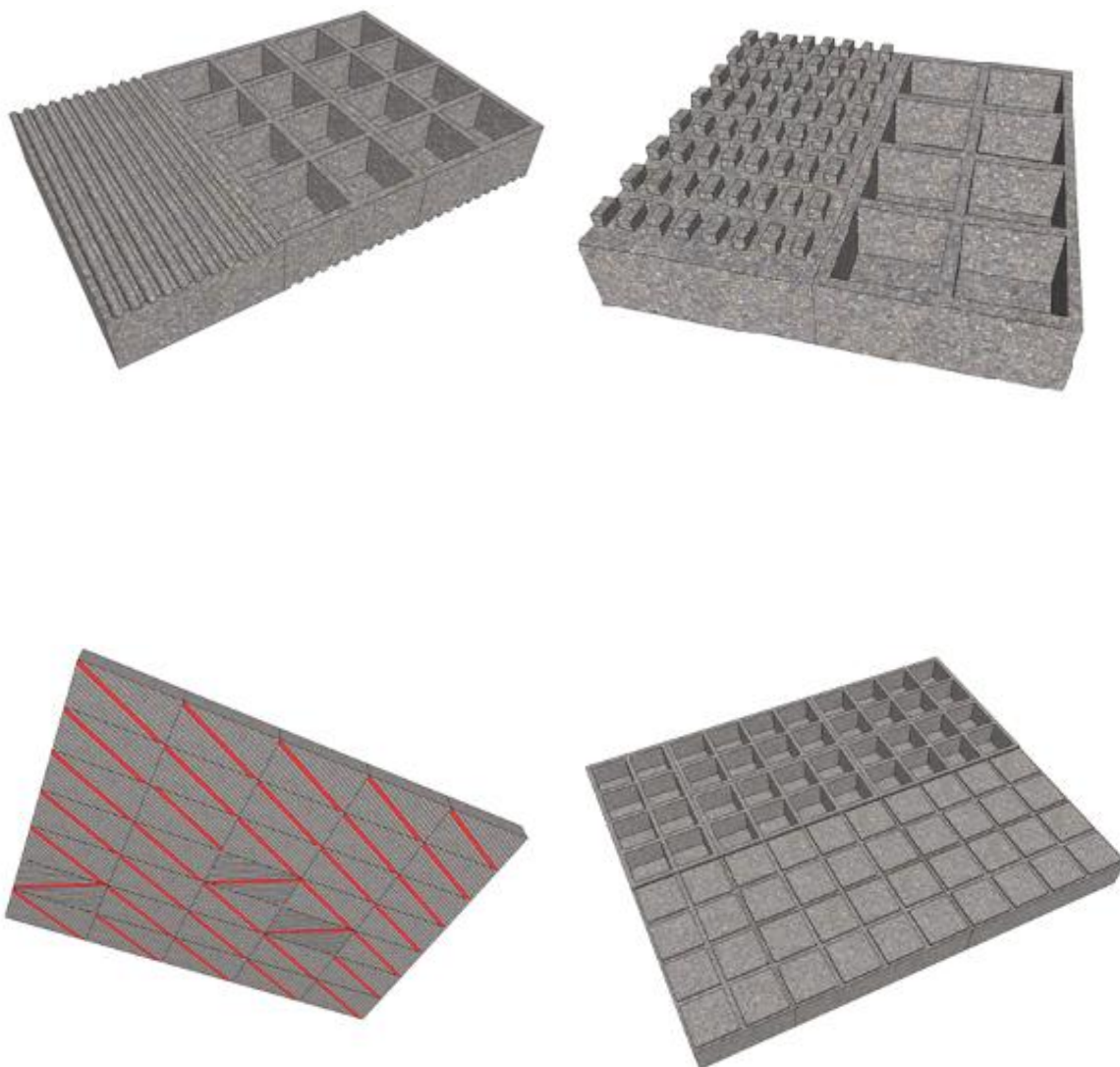
YANG, J., YU, Q. and GONG, P. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. **Atmospheric environment**, vol. 42, pp. 7266–7273, 2008.

ZATTERA, A. J.; BIANCHI, O.; ZENI, M. ;FERREIRA, C. A. Caracterização de Resíduos de Copolímeros de Etileno-Acetato de Vinila – EVA. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 15, nº 1, p. 73-78, 2005.

ZINCO. **Green Roof Systems**. 2015. Disponível em <http://www.zinco-greenroof.com/EN/greenroof_systems/index.php> acesso em 17 Abril 2015.

8. APÊNDICES

APÊNDICE A- Desenhos feitos num processo de aprimoramento contínuo do bloco TEVA.



APÊNDICE B- Ensaio de granulometria do EVATabela B¹: Resultados do primeiro ensaio de granulometria para o agregado de EVA.

ENSAIO DE GRANULOMETRIA - EVA (12/12/13)				
SÉRIE	Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Massa retida	% Massa retida acumulada
N	9,5	0	0	0
I	6,3	0	0	0
N	4,75	173,3	86,65	86,65
N	2,36	16,2	8,1	94,75
N	1,18	7,4	3,7	98,45
N	0,6	1,8	0,9	99,35
N	0,3	0,8	0,4	99,75
N	0,15	0,4	0,2	99,95
	Fundo	0,4	0,2	100,15
$\Sigma\%_{\text{Massa retida}}$		200,3		

Tabela B²: Resultados do segundo ensaio de granulometria para o agregado de EVA.

ENSAIO DE GRANULOMETRIA - EVA (17/01/13)				
SÉRIE	Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Massa retida	% Massa retida acumulada
N	9,5	0	0	0
I	6,3	0	0	0
N	4,75	141,4	70,7	70,7
N	2,36	50,8	25,4	96,1
N	1,18	2,9	1,45	97,55
N	0,6	0,8	0,4	97,95
N	0,3	0,2	0,1	98,05
N	0,15	0	0	98,05
	Fundo	0	0	98,05
$\Sigma\%_{\text{Massa retida}}$		196,1		

APÊNDICE C- Ensaio de granulometria da AREIA

Tabela C¹: Resultados do primeiro ensaio de granulometria da areia.

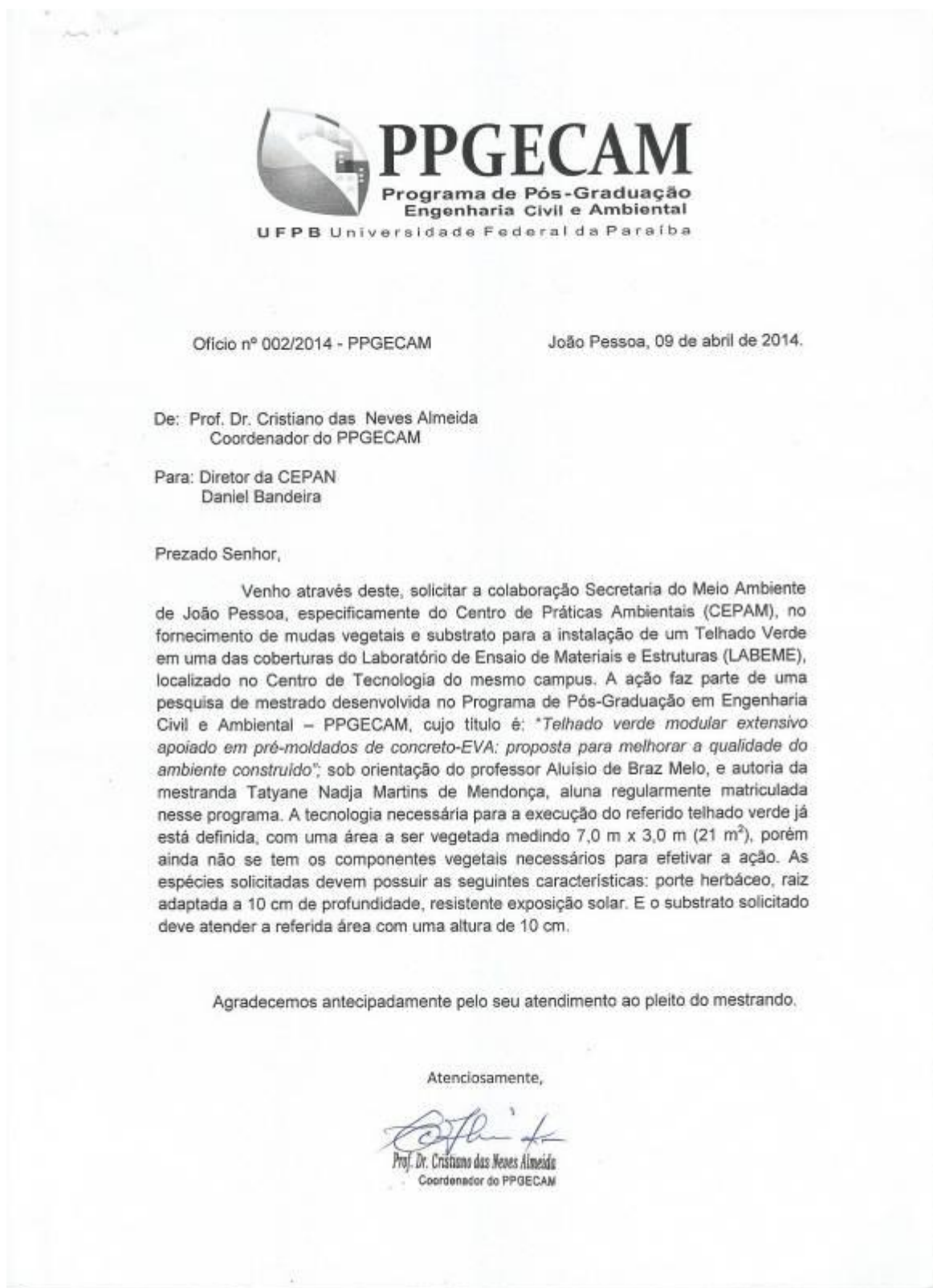
ENSAIO DE GRANULOMETRIA - AREIA (05/12/13)				
SÉRIE	Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Massa retida	% Massa retida acumulada
N	4,75	0	0	0
N	2,36	5,4	0,54	0,54
N	1,18	35,1	3,51	4,05
N	0,6	308,4	30,84	34,89
N	0,3	405,6	40,56	75,45
N	0,15	145,6	14,56	90,01
	Fundo	98	9,8	99,81
	$\Sigma\%$ Massa retida		998,1	

Tabela C²: Resultados do segundo ensaio de granulometria da areia.

ENSAIO DE GRANULOMETRIA - AREIA (16/01/14)				
SÉRIE	Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Massa retida	% Massa retida acumulada
N	4,75	0	0	0
N	2,36	3,1	0,31	0,31
N	1,18	33,8	3,38	3,69
N	0,6	275,9	27,59	31,28
N	0,3	444,5	44,45	75,73
N	0,15	160	16	91,73
	Fundo	80,3	8,03	99,76
	$\Sigma\%$ Massa retida	997,6		

APÊNDICE D- Solicitação oficiais de mudas vegetais

¹Centro de Práticas Ambientais (CEPAN-JP/PB)



APÊNDICE D- Solicitação oficiais de mudas vegetais

²Prefeitura universitária (na UFPB)

*Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
Programa de pós-graduação em engenharia civil e ambiental
Mestrado*

Memorando nº 030/2014- PPGECAU-UFPB João Pessoa, 09 de abril de 2014.

**Ao: Coordenador de Logística
Amauri de Souza Félix**

Assunto: Solicitação de mudas vegetais para pesquisa

Prezado Professor,

Venho através deste, solicitar a colaboração da Prefeitura Universitária - Campus I/UFPB, no fornecimento de mudas vegetais e substrato para a instalação de um Telhado Verde em uma das coberturas do Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LABEME), localizado no Centro de Tecnologia do mesmo campus. A ação faz parte de uma pesquisa de mestrado desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – PPGECAU, cujo título é: “Telhado verde modular extensivo apoiado em pré-moldados de concreto-EVA: proposta para melhorar a qualidade do ambiente construído”; sob orientação do professor Aluisio de Braz Melo, e autoria da mestranda Tatyane Nadja Martins de Mendonça, aluna regularmente matriculada nesse programa. A tecnologia necessária para a execução do referido telhado verde já está definida, com uma área a ser vegetada medindo 7,0 m x 3,0 m (21 m²), porém ainda não se tem os componentes vegetais necessários para efetivar a ação. As espécies solicitadas devem possuir as seguintes características: porte herbáceo, raiz adaptada a 10 cm de profundidade, resistente exposição solar. E o substrato solicitado deve atender a referida área com uma altura de 10 cm.

Atenciosamente,


Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida
Coordenador do PPGECAU



Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia - Campus Universitário - Castelo Branco - CEP 58.051-870 - João Pessoa - PB - Brasil
Fone: + 55 (83) 3216-7363 e-mail: ppgecam@ct.ufpb.br - site: www.ct.ufpb.br/ppgecam

APÊNDICE D- Solicitação oficiais de mudas vegetais

³Ao CBIOTEC/UFPB

*Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
Programa de pós-graduação em engenharia civil e ambiental
Mestrado*

Memorando nº 029/2014- PPGECAU-UFPB João Pessoa, 09 de abril de 2014.

Ao: Prof. Fernando Viana

Assunto: Solicitação de mudas vegetais para pesquisa

Prezado Professor,

Venho através deste, solicitar a colaboração do CBIOTEC- Campus I/UFPB, no fornecimento de mudas vegetais para a instalação de um Telhado Verde em uma das coberturas do Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LABEME), localizado no Centro de Tecnologia do mesmo campus. A ação faz parte de uma pesquisa de mestrado desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – PPGECAU, cujo título é: *"Telhado verde modular extensivo apoiado em pré-moldados de concreto-EVA: proposta para melhorar a qualidade do ambiente construído"*; sob orientação do professor Aluisio de Braz Melo, e autoria da mestrandia Tatyane Nadja Martins de Mendonça, aluna regularmente matriculada nesse programa. A tecnologia necessária para a execução do referido telhado verde já está definida, com uma área a ser vegetada medindo 7,0 m x 3,0 m (21 m²), porém ainda não se tem os componentes vegetais necessários para efetivar a ação. As espécies solicitadas devem possuir as seguintes características: porte herbáceo, raiz adaptada a 10 cm de profundidade, resistente exposição solar.

Atenciosamente,

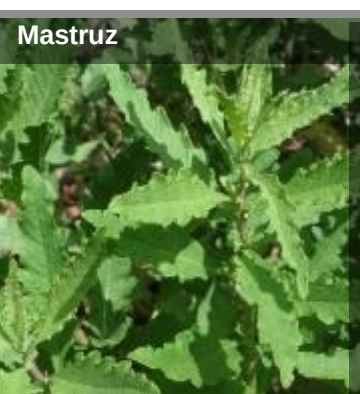

Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida
Coordenador do PPGECAU

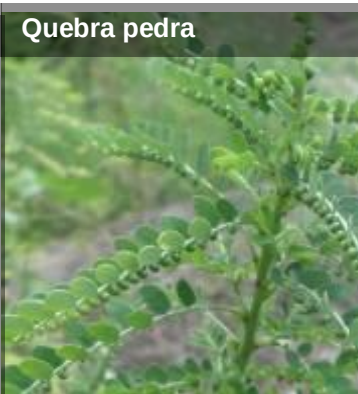
*Recebido
Em 10/4/14*

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia - Campus Universitário - Castelo Branco - CEP: 58.051-970 - João Pessoa - PB - Brasil
Fone: + 55 (83) 3216-7393 e-mail: ppgecam@ct.ufpb.br - site: www.ct.ufpb.br/ppgecam

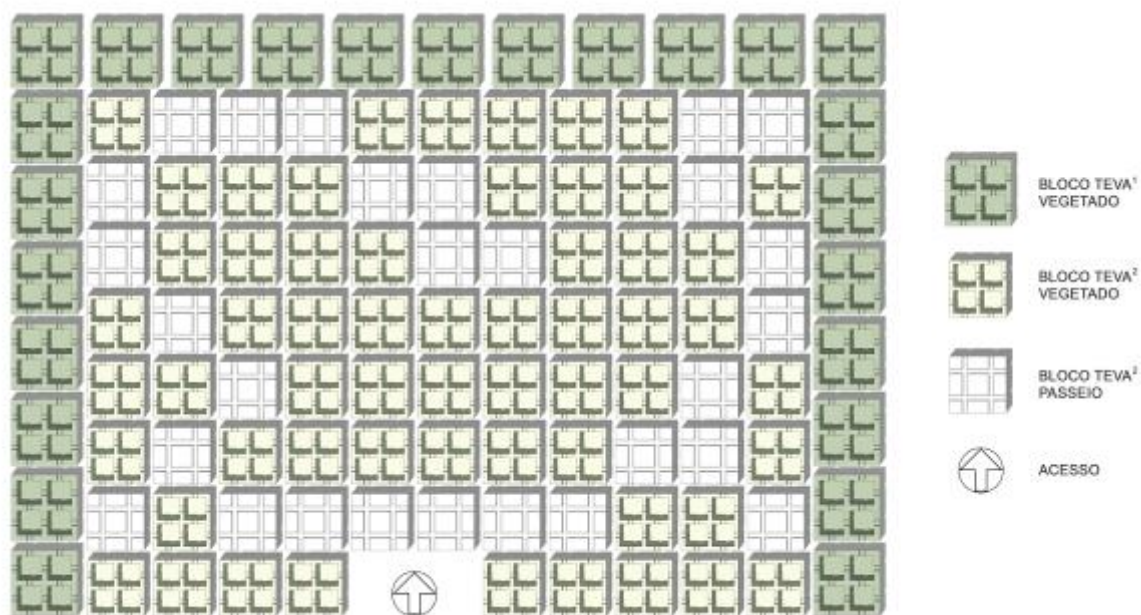
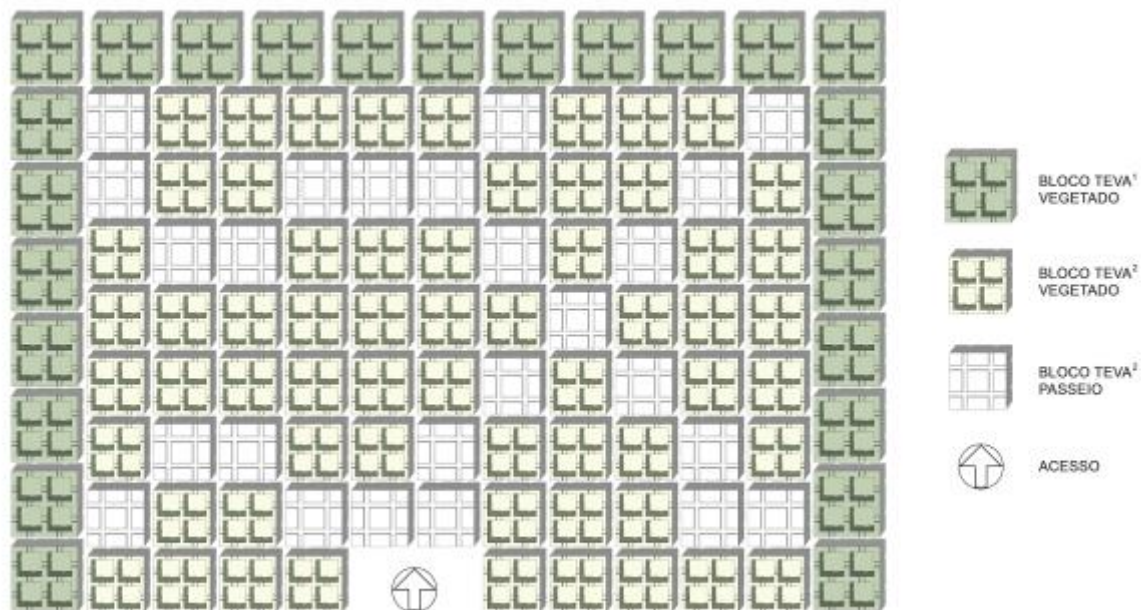
APÊNDICE E- Quadro ilustrado das espécies vegetais utilizadas na pesquisa.

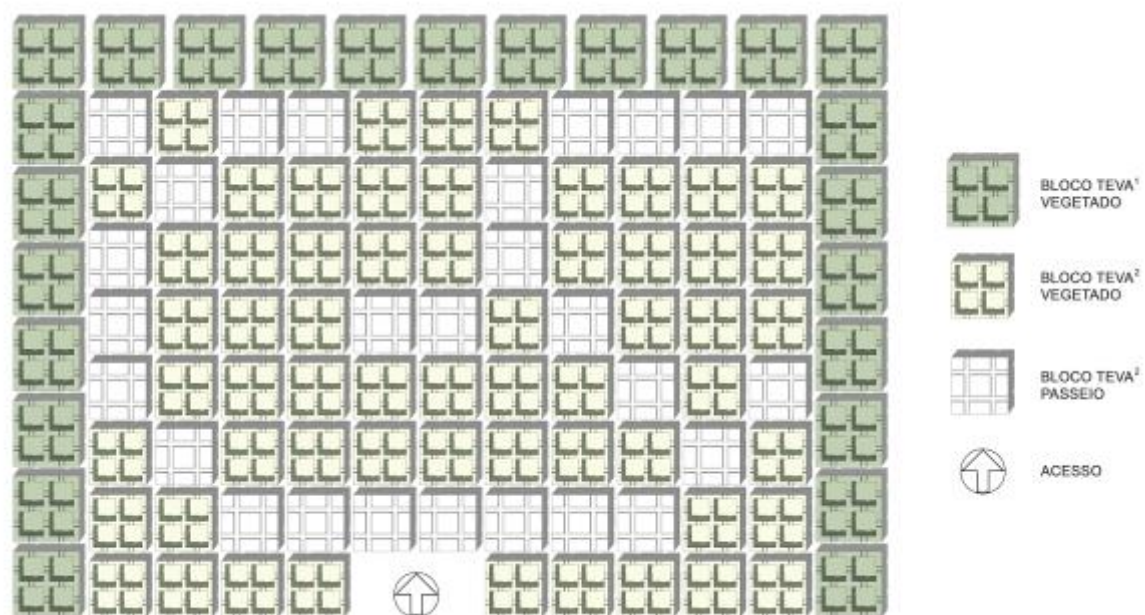
Alecrim  <i>Rosmarinus officinalis</i>	Agrião do brejo  <i>Spilanthes acnella</i>	Agrião do Pará  <i>Nasturtium officinale</i>
Alho do mato  <i>Cipura paludosa</i>	Babosa  <i>Aloe vera</i>	Boldo  <i>Plectranthus barbatus</i>
Bonina  <i>Mirabilis jalapa</i>	Cavalinha  <i>Equisetum giganteum</i>	Chachambá  <i>Justicia pectoralis</i>
Capim santo  <i>Cymbopogon citratus</i>	Cana de macaco  <i>Costus spicatus</i>	Camomila  <i>Matricaria recutita</i>

Colônia		<i>Alpinia zerumbet</i>	Erva lanceta		<i>Solidago chilensis</i>	Erva cidreira		<i>Melissa officialis</i>
Hortelã Homem		<i>Plectranthus barbatus</i>	Hortelã da folha miúda		<i>Mentha piperita</i>	Hortelã da folha graúda		<i>Coleus amboinicus</i>
Gengibre		<i>Zingiber officinale</i>	Mangericão do roxo		<i>Ocimum Basilicum</i>	Mangericão menino		<i>Ocimum minimum</i>
Malmequer amarelo		<i>Aspilia montevidensis</i>	Mangerona		<i>Origanum majorana</i>	Mastruz		<i>Chenopodium ambrosioides</i>

Milona  <i>Cissampelos sympodialis</i>	Poejo  <i>Mentha Pulegium</i>	Quebra pedra  <i>Phyllanthus niruri</i>
Penicilina  <i>Alternanthera brasiliana</i>	Saião  <i>Kalanchoe brasiliensis</i>	Saião do roxo  <i>Kalanchoe crenata</i>
Salsa  <i>Petroselinum sativum</i>	Tansagem  <i>Plantago major</i>	

APÊNDICE F- Três (3) arranjos distintos (possíveis) para a laje do LABEME.





APÊNDICE G- Solicitação de espaço físico ao NUPPA para a construção dos protótipos.



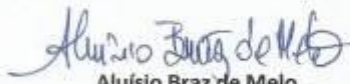
Ao coordenador do NUPPA,
Sr. Ivanildo de Paiva Alves

Venho através deste, solicitar a autorização de uso de espaço físico no NUPPA para o acréscimo de cinco protótipos de 1m³, distanciados entre si por 2,70 m, na área onde já se encontram seis protótipos com as mesmas dimensões e distanciamentos dos que serão acrescidos. Os protótipos serão executados para realizações de medições térmicas e pluviométricas em dois estudos de telhados verdes desenvolvidos pela Universidade Federal da Paraíba, o primeiro sob minha orientação intitulado "Telhado verde extensivo apoiado em pré-moldados de concreto EVA: proposta para melhorar a qualidade do ambiente construído" de responsabilidade da mestranda Tatyane Nada Martins de Mendonça; e o segundo intitulado "Telhados verdes: análise do desempenho térmico com o reuso de garrafas pet e o sistema alveolar" de responsabilidade da mestranda Kaline Cunha Aranha. Inicialmente, o período das pesquisas nos protótipos vai desde setembro de 2014 a Dezembro de 2015.

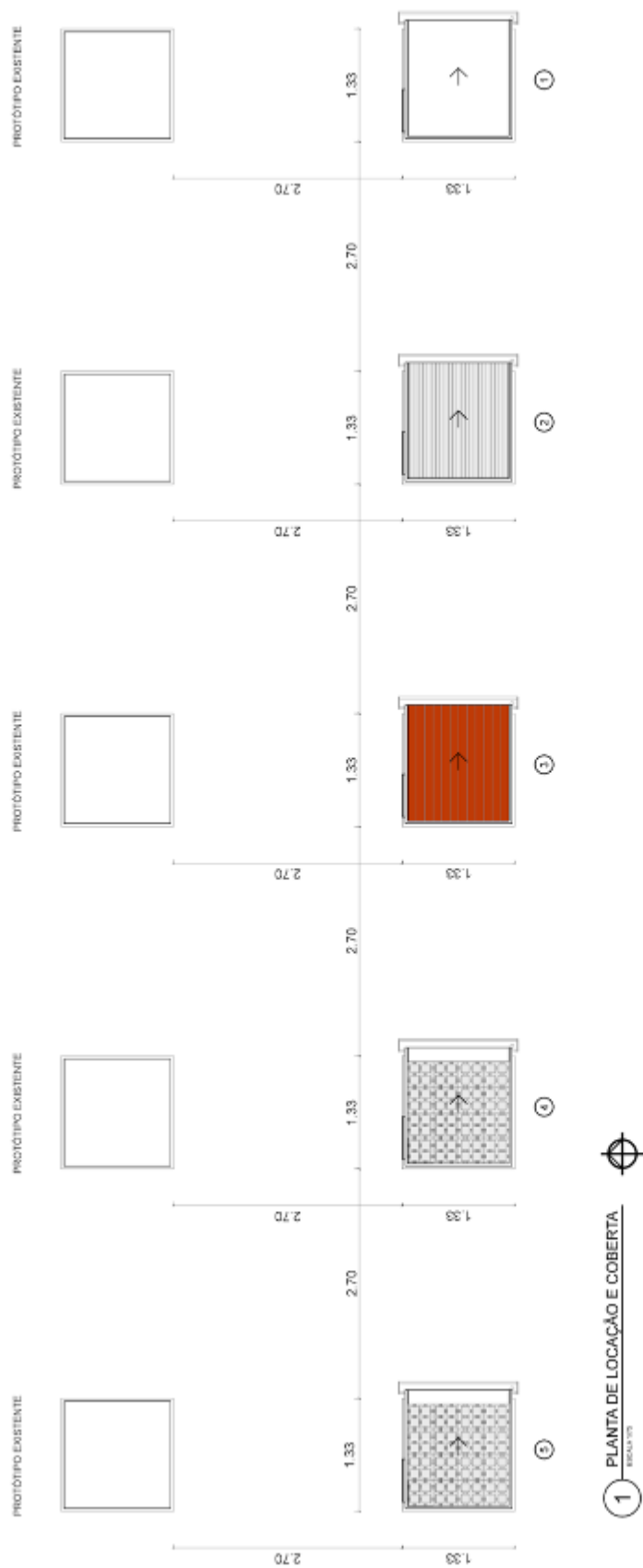
Agradecemos antecipadamente pelo seu atendimento a esta solicitação.

Atenciosamente,


Ivanildo de Paiva Alves
Coord. NUPPA-CAMPUS V / UFPA
SIAPE 337815


Aluísio Braz de Melo
PPGECAM/PPGAU
DA/CT/LABEME/UFPA

APÊNDICE H- Planta de Localização e Coberta



PROTÓTIPOS
1. PROTÓTIPO COM LAJE EXPOSTA (LAJexp)
2. PROTÓTIPO COM TELHA DE FIBROCIMENTO SOBRE A LAJE (T.FIBROC)
3. PROTÓTIPO COM TELHA CERÂMICA SOBRE A LAJE (T.CERÁ)
4. PROTÓTIPO COM TELHADO VERDE COM BLOCOS DE CONCRETO (30 x 30 x 13 cm) SOBRE A LAJE (TVconcreto)
5. PROTÓTIPO COM TELHADO VERDE COM BLOCOS TEVA SOBRE A LAJE (TEVA)

OBSERVAÇÕES:
1. OS 5 PROTÓTIPOS SERÃO INSTALADOS EM PARALELO COM OS EXISTENTES.
2. DEVE-SE SEMPRE MANTER A DISTÂNCIA DE 2.70 m ENTRE ELES EM TODOS OS SENTIDOS.
3. ATENÇÃO À ORIENTAÇÃO DO PROTÓTIPO.
4. ATENÇÃO À LOCALIZAÇÃO DA PORTA.