Universidade de São Paulo

Núcleo de Apoio à Pesquisa em Materiais para Biossistemas

Avaliação do desempenho térmico de protótipos em EPS com cobertura de diferentes telhas

RELATÓRIO TÉCNICO

Solicitante: TOPTELHA S.A.

Pirassununga / SP

Fevereiro / 2022

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 2

2 OBJETIVOS 3

2.1 Objetivo geral 3

2.2 Objetivos específicos 3

3 MATERIAIS E MÉTODOS 4

3.1 Protótipos de EPS 4

3.2 Avaliação das temperaturas e da umidade relativa 5

3.3 Escolha dos eventos climáticos para análise 7

3.4 Colorimetria da superfície superior das telhas 9

4 RESULTADOS 11

4.1 Evento climático de 30 de janeiro de 2021 11

4.1.1 Gráficos comparativos entre pares de telhas 16

4.2 Evento climático de 3 de fevereiro de 2021 24

4.2.1 Gráficos comparativos entre pares de telhas 29

4.3 Evento climático de 12 de abril de 2021 37

4.3.1 Gráficos comparativos entre pares de telhas 40

4.4 Colorimetria 45

4.4.1 Gráficos comparativos entre pares de telhas 48

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 52

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 53

1 INTRODUÇÃO

Este relatório técnico tem como objetivo a apresentação da avaliação de desempenho térmico e a verificação dos resultados obtidos em protótipos confeccionados de EPS (isopor) com cobertura de 4 diferentes tipos de telhas: (1) Telha cerâmica (esmaltada) tipo Piso cor Marfim, (2) Telha cerâmica (natural) TOPTELHA Mediterrânea Terracota Plus, (3) Telha de concreto e (4) Telha cerâmica (engobada) TOPTELHA Mediterrânea Marfim. O estudo foi realizado pelo período de 3 meses no campo de envelhecimento localizado no campus Fernando Costa da USP e Pirassununga/SP. As temperaturas foram registradas por meio de sensores e dispositivos (*data-loggers*) nas superfícies superior e inferior da telha e temperatura de globo-negro no centro geométrico do protótipo. Foram registradas também a umidade relativa do interior dos protótipos e acompanhamento das condições climáticas através de uma estação meteorológica localizada no campus. Avaliações pontuais em eventos climáticos que se destacaram no período analisado possibilitaram a comparação do desempenho térmico entre os diferentes tipos de telhas. Adicionalmente foi realizado o estudo das diferenças de cor das superfícies superiores das telhas ao longo de 7 meses. As alterações de cor são apresentadas de forma gráfica possibilitando a avaliação das alterações de cor ao longo do tempo. Os ensaios foram realizados pelo Núcleo de Apoio à Pesquisa em Materiais para Biossistemas da Universidade de São Paulo (NAP BioSMat).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho térmico de protótipos de EPS (dispositivos de ensaio em escala reduzida) com quatro tipos distintos de cobertura, avaliados ao longo de 3 meses de exposição.

2.2 Objetivos específicos

- Estudar os gradientes de temperatura (por meio de registro e análise das temperaturas nas superfícies externas e internas das telhas) em dias críticos (maior insolação e índice de UV);
- Avaliar a evolução da temperatura e da umidade relativa no interior (centro geométrico) dos dispositivos de ensaio em dias críticos.
- Avaliar as diferenças de cor ocorridas nas superfícies superiores das telhas ao longo de 7 meses de exposição.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Protótipos de EPS

Os dispositivos de ensaio em escada reduzida (protótipos) foram confeccionados de poliestireno expandido (EPS – isopor) de 3 cm de espessura e com as dimensões de (45 x 40 x 45) cm³ (A x L x C) externamente. Foram utilizados 4 diferentes tipos de telhas para a cobertura dos protótipos: (1) Telha cerâmica (esmaltada) tipo Piso cor Marfim, (2) Telha cerâmica (natural) TOPTELHA Mediterrânea Terracota Plus, (3) Telha de concreto e (4) Telha cerâmica (engobada) TOPTELHA Mediterrânea Marfim. Foram utilizadas 2 telhas de cada tipo em cada protótipo e atribuído uma inclinação de 27% conforme mostrados na Figura 1. Os protótipos foram expostos no campo experimental localizado no Campus Fernando Costa da USP de Pirassununga/SP a uma latitude 21º59'46" Sul e longitude 47º25'33" Oeste, à altitude de 627 m. Os protótipos foram dispostos com a inclinação voltada para o norte conforme mostrado na planta baixa da Figura 2.

Figura 1 – Dispositivos de ensaio (protótipos) com as dimensões de (45 x 40 x 45) cm³ (A x L x C) externamente dispostos no campo experimental. Telhas de cobertura utilizadas: (1) Telha cerâmica (esmaltada) tipo Piso cor Marfim, (2) Telha cerâmica (natural) TOPTELHA Mediterrânea Terracota Plus, (3) Telha de concreto e (4) Telha cerâmica (engobada) TOPTELHA Mediterrânea Marfim.

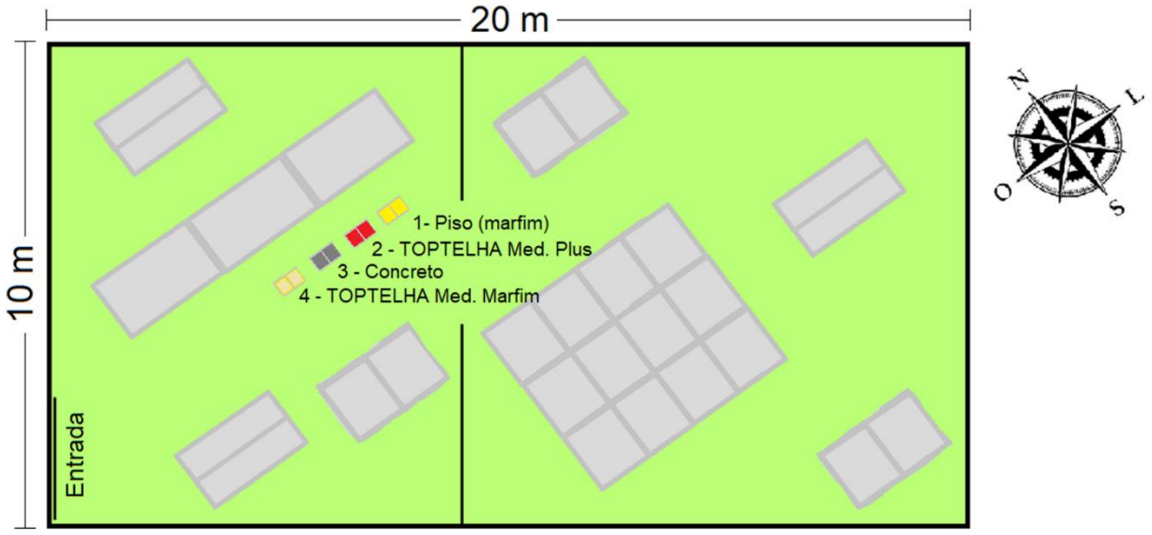


Figura 2 – Planta baixa do campo de envelhecimento natural. Campus Fernando Costa da USP - Pirassununga – SP mostrando o posicionamento dos protótipos. As estruturas em cinza representam outros trabalhos de envelhecimento em andamento.

3.2 Avaliação das temperaturas e da umidade relativa

Foram utilizados sensores aplicados às superfícies das telhas para a avaliação das temperaturas de superfície superior e temperatura de superfície inferior. A Figura 3 mostra um sensor aplicado à superfície superior da telha de concreto. Cada sensor em cada telha e posição foi interligado em um registrador de dados (*Data-logger*, fabricante HOBO) e as informações de temperatura foram registradas em intervalos de 5 em 5 minutos. Uma telha de cada tipo teve sensores aplicados tanto na superfície superior, quanto na superfície inferior.

A temperatura de globo negro foi registrada através de um sensor de temperatura (fabricante HOBO) acoplado no interior de uma esfera de 5 cm de diâmetro com pintura cor preta fosca na sua superfície externa, também interligado ao registrador de dados. Esta forma de avaliar a temperatura leva em consideração as incidências de radiação infravermelha que ocorrem dentro do ambiente a ser analisado pela absorção desta radiação pelo globo negro.

O globo negro foi posicionado no centro geométrico do protótipo, conforme é mostrado na Figura 4.

A umidade relativa do interior do protótipo foi registrada por meio do sensor de umidade, que existe no interior do próprio registrador de dados (*Data-logger*, fabricante HOBO) que foi posicionado próximo ao globo negro conforme mostrado na Figura 4. Adicionalmente, foram calculados por meio da calculadora online disponível em: https://www.suto-itec.com/pt/calculadora-de-umidade/ os pontos de orvalho em determinados horários do dia. O ponto de orvalho refere-se à dada temperatura e condição de umidade relativa necessárias para condensação do vapor de água presente no ar. Este índice pode ser utilizado como parâmetro de conforto em um ambiente.

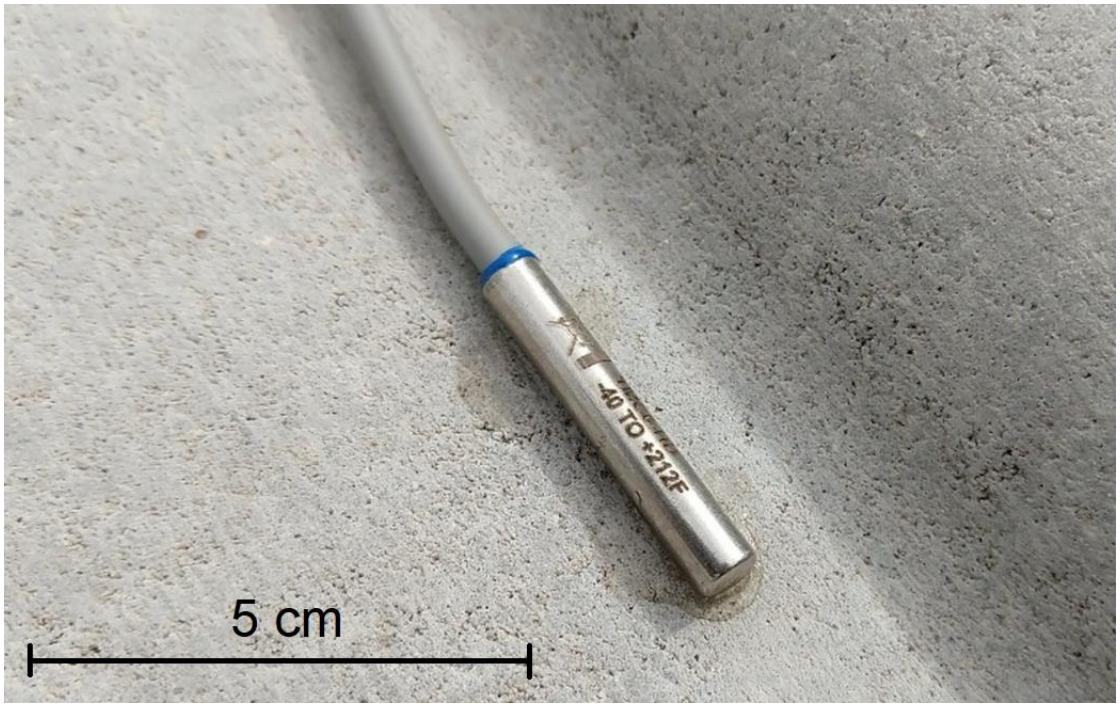


Figura 3 – Sensor de temperatura, fabricante HOBO, aplicado à superfície superior da telha de concreto para avaliação da temperatura superior da telha. Uma telha de cada tipo teve sensores aplicados tanto na superfície superior, quanto na superfície inferior.

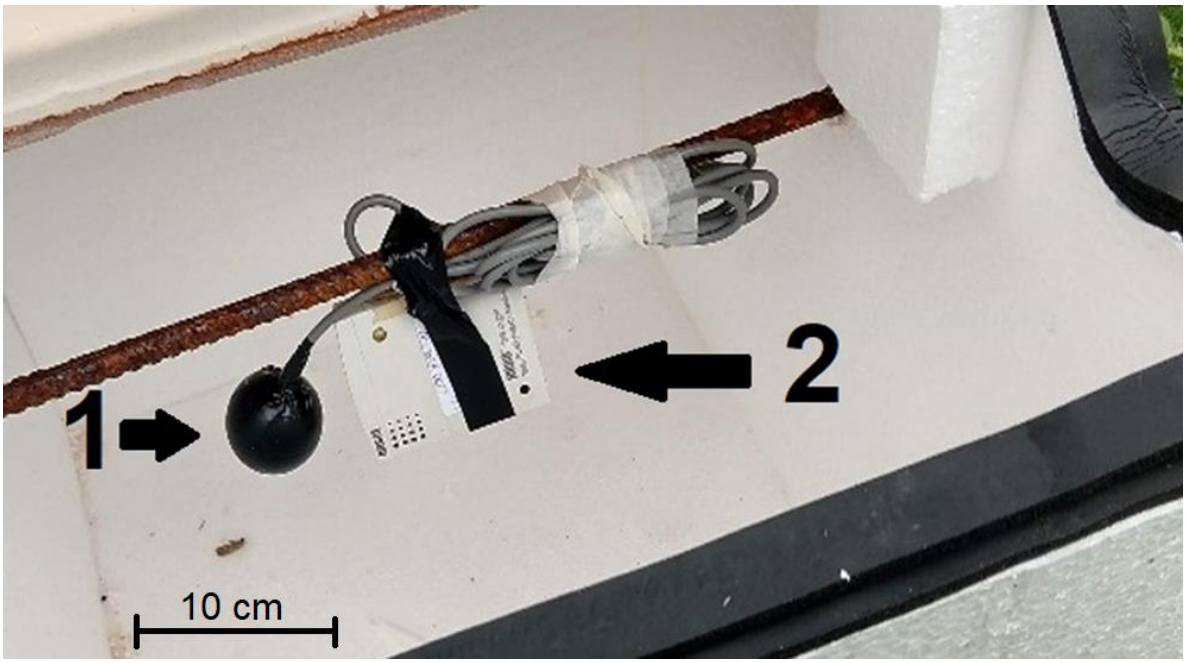


Figura 4 – 1 – Globo negro para registro da temperatura de globo negro posicionado no centro geométrico do protótipo. 2 – Registrador de dados (*Data-logger*, fabricante HOBO) para registro de dados de temperaturas e umidade relativa.

3.3 Escolha dos eventos climáticos para análise

Durante todo o período de exposição dos protótipos, foram registrados os dados meteorológicos locais, por meio de estação meteorológica localizada no Laboratório de Ciências Agrárias, FZEA, Campus Fernando Costa da USP – Pirassununga/SP. Através da análise dos dados meteorológicos, foram selecionados dias críticos de temperaturas altas, grande amplitude térmica, ausência de nuvens e de chuva. A Tabela 1 mostra os índices de chuva em mm, temperaturas máximas e mínimas dos meses de janeiro a abril de 2021, que englobam os meses de permanência dos protótipos sob avaliação.

Tabela 1 – Índices de chuva em mm, temperaturas máximas e mínimas registradas nos meses de janeiro a abril de 2021, que englobam os meses de permanência dos protótipos sob avaliação. Dados: Estação meteorológica Laboratório de Ciência Agrárias. Campus Fernando Costa da USP - Pirassununga – SP.

Mês	Chuva (mm)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
Janeiro	243,8	34,9	16,8
Fevereiro	108,6	34,4	17,6
Março	125,4	33,2	12,0
Abril	2,6	33,0	12,0

A Figura 5 mostra o comportamento da temperatura avaliada pela estação meteorológica no mês de janeiro de 2021. O dia 30 de janeiro foi um dia de altas temperaturas à tarde e grande amplitude térmica. Em uma análise mais pontual selecionando apenas o dia 30 de janeiro obtemos o gráfico da Figura 6, onde é possível verificar as temperaturas ao longo do dia de forma mais clara.

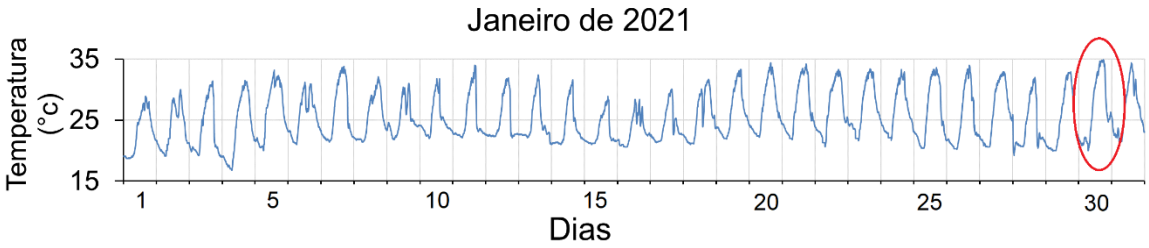


Figura 5 – Temperaturas registradas pela estação meteorológica ao longo do mês de janeiro de 2021. Em destaque o dia 30 de janeiro que obteve altas temperaturas à tarde e grande amplitude térmica.

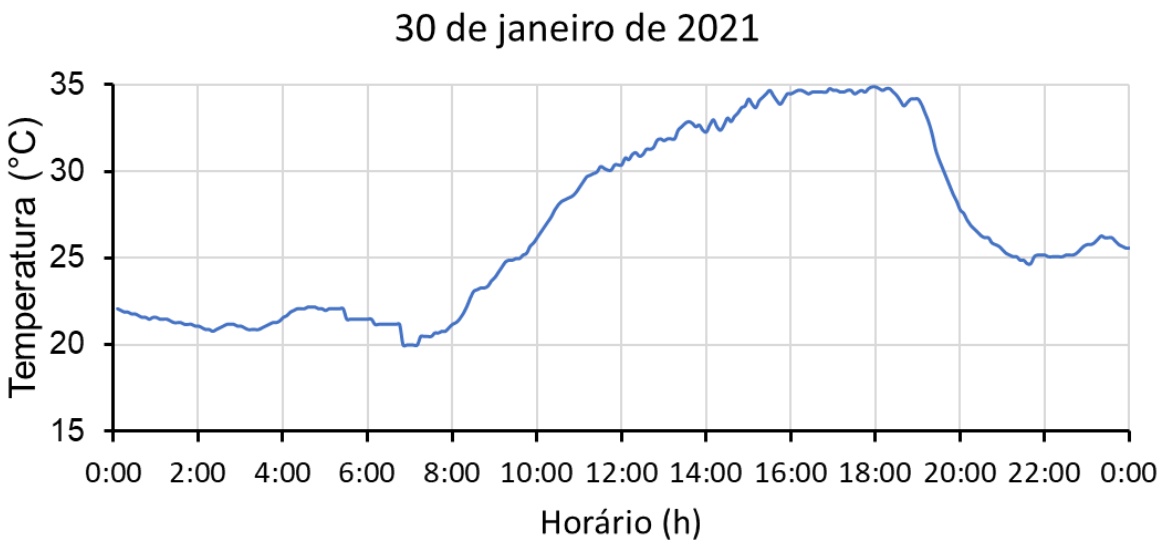


Figura 6 – Temperaturas registradas pela estação meteorológica do Laboratório de Ciências Agrárias da FZEA USP ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

3.4 Colorimetria da superfície superior das telhas

Dados de cor da superfície superior das telhas foram coletados por meio de um colorímetro da marca Konica-Minolta, modelo CM 2500 D. Foram realizadas as médias de medidas em 10 pontos diferentes da superfície superior das telhas. O espaço de cor CIELAB, marcado pelas coordenadas L*a*b*, é atualmente o mais popular dos espaços de cores uniformes usados para avaliar as cores. Esse espaço de cor é amplamente utilizado pois correlaciona consistentemente os valores de cor com a percepção visual. Indústrias como as de plástico, tintas, impressão, alimentos e têxtil, além de universidades, utilizam este espaço para identificar, comunicar e avaliar os atributos da cor além das inconsistências ou desvios de uma cor padrão. O espaço de cor L*a*b* foi criado após a teoria de cores opostas, onde duas cores não podem ser verdes e vermelhas ao mesmo tempo, ou amarelas e azuis ao mesmo tempo. O L* indica a luminosidade, o a* representa a coordenada vermelho/verde (+a indica vermelho e –a indica verde) e b* representa a coordenada amarelo/azul (+b indica amarelo e –b indica azul). As diferenças de cor são definidas pela comparação numérica entre a amostra e o padrão (inicial). Indica as diferenças absolutas nas coordenadas de cor entre a amostra e o padrão e são conhecidas como Deltas (Δ). Os Deltas para L* (ΔL), a* (Δa) e b*

(Δb) podem ser negativas (-) ou positivas (+). A diferença total, Delta E (ΔE), todavia, é sempre positiva e é calculada pela Eq. 1.

$$\Delta E = [\Delta L^{2} + \Delta a^{2} + \Delta b^{2}]^{0,5} \qquad \text{Eq. 1}$$

A Figura 7 mostra o espaço de cor CIELAB mostrando as coordenas -a* - +a* (eixo das abscissas) e -b* - +b* (eixo das ordenadas) no espectro de cor e L* de 0 a 100 para a luminosidade.

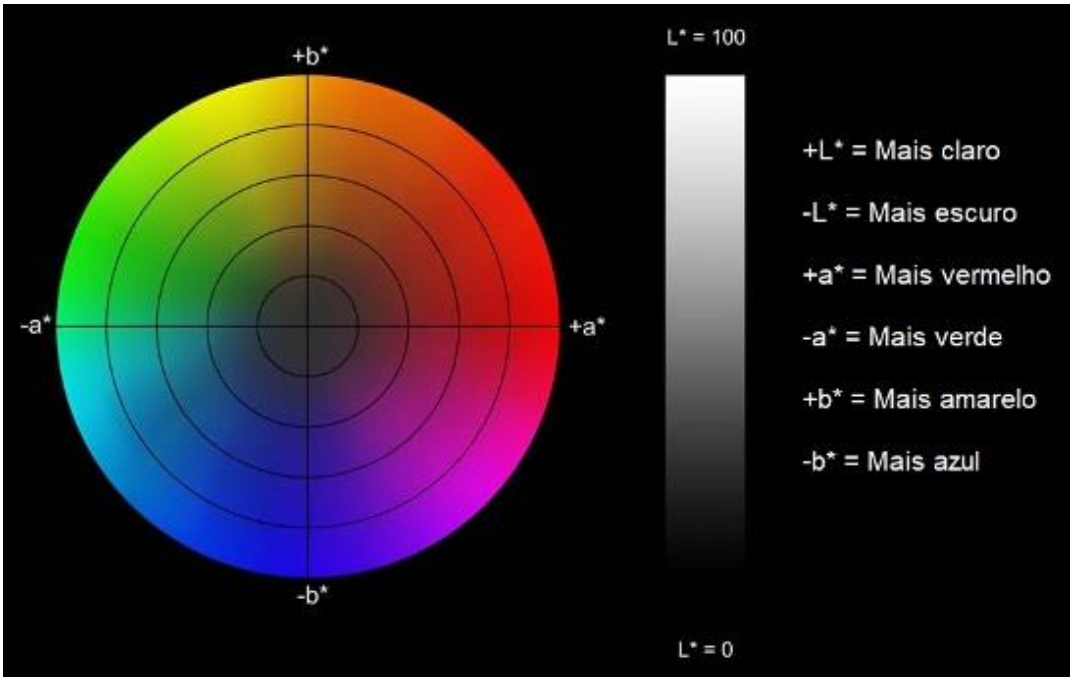


Figura 7 – Espaço de cor CIELAB com as coordenas -a* - +a* (eixo das abscissas) e -b* - +b* (eixo das ordenadas) no espectro de cor e L* de 0 a 100 para a luminosidade. Fonte: https://www.ctborracha.com/colorimetria/ Acesso em: 20 de setembro de 2021.

4 RESULTADOS

Os resultados foram obtidos a partir de 3 eventos climáticos escolhidos com base na metodologia apresentada no item 3.3 e representam eventos de verão em dias quentes sem ocorrência de chuvas e início de outono com uma amplitude térmica (diferença entre a maior e menor temperatura registrada pela estação meteorológica) na casa dos 20°C.

4.1 Evento climático de 30 de janeiro de 2021

A Figura 8 apresenta as temperaturas das superfícies superiores das telhas, registradas ao longo do dia com o evento climático escolhido, com característica de dia quente com ocorrência de nuvens à tarde, típico da estação de verão. É possível observar-se o aumento da temperatura da superfície superior das telhas logo que a temperatura registrada pela estação meteorológica também registra o aumento da temperatura nas primeiras horas do dia. No entanto, a taxa de aquecimento da superfície superior das telhas é mais elevada em comparação à temperatura da estação meteorológica. As máximas temperaturas das superfícies superiores são atingidas logo após o meio dia, enquanto a temperatura máxima registrada pela estação meteorológica ocorre no final da tarde. Em comparação umas às outras, destacam se a telha de concreto por apresentar as maiores temperaturas e a telha TOPTELHA Mediterrânea Marfim por apresentar as menores temperaturas em suas superfícies superiores. Este efeito é devido à radiação solar que incide sobre as superfícies das telhas, e devido tanto às características intrínsecas (condutividade, calor específico, porosidade) e extrínsecas (formato, rugosidade das superfícies, pintura) dos materiais proporcionam efeitos térmicos de diferentes magnitudes. Observa-se ainda no gráfico da Figura 8, variações de temperatura entre 13:00 e 15:00, influenciadas pela presença de nuvens neste período.

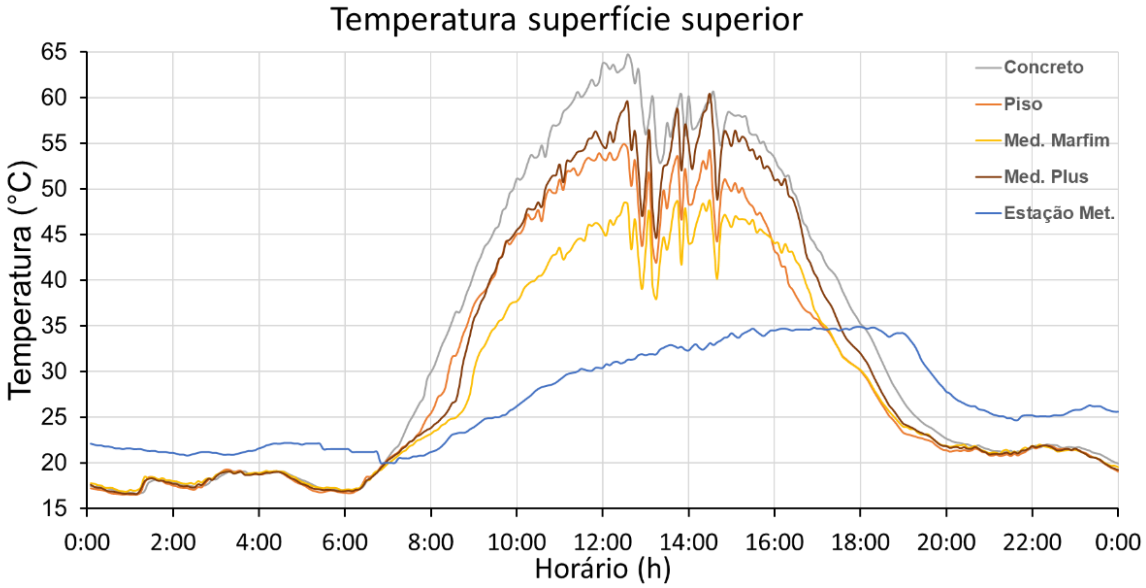


Figura 8 – Temperaturas das superfícies superiores das telhas ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

A Figura 9 apresenta as temperaturas das superfícies inferiores das telhas registradas ao longo do dia escolhido. É possível observar o aumento da temperatura da superfície inferior das telhas logo que a temperatura registrada pela estação meteorológica também registra o aumento da temperatura nas primeiras horas do dia. Da mesma forma como nas superfícies superiores, a taxa de aquecimento da superfície inferior das telhas é mais elevada em comparação à temperatura da estação meteorológica. As máximas temperaturas das superfícies inferiores são atingidas logo após o meio dia, enquanto a temperatura máxima registrada pela estação meteorológica ocorre no final da tarde. Assim como na superfície superior, destacam se a telha de concreto por apresentar as maiores temperaturas e maior taxa de aquecimento e a telha TOPTELHA Mediterrânea Marfim por apresentar as menores temperaturas e menores taxas de aquecimento em suas superfícies inferiores. As mesmas observações de variações de temperatura entre 13:00 e 15:00, influenciadas pela presença de nuvens neste período foram observadas nas temperaturas de superfície inferior. O gráfico da Figura 10 apresenta as diferenças de temperatura entre a superfície superior e inferior das telhas, levando ainda em consideração a espessura de cada uma das telhas no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados. Pelas inclinações das retas que ligam os dois pontos no gráfico, podem ser observados as taxas de condução de temperatura ao longo da espessura.

A telha de concreto apresentou a maior taxa de condução térmica em relação às demais telhas. Esse comportamento é influenciado por diversas características como condutividade térmica e calor específico do material, porosidade, espessura, rugosidade das superfícies, permeabilidade ao vapor d'água entre outros fatores tanto intrínsecos como extrínsecos dos materiais que constituem as telhas.

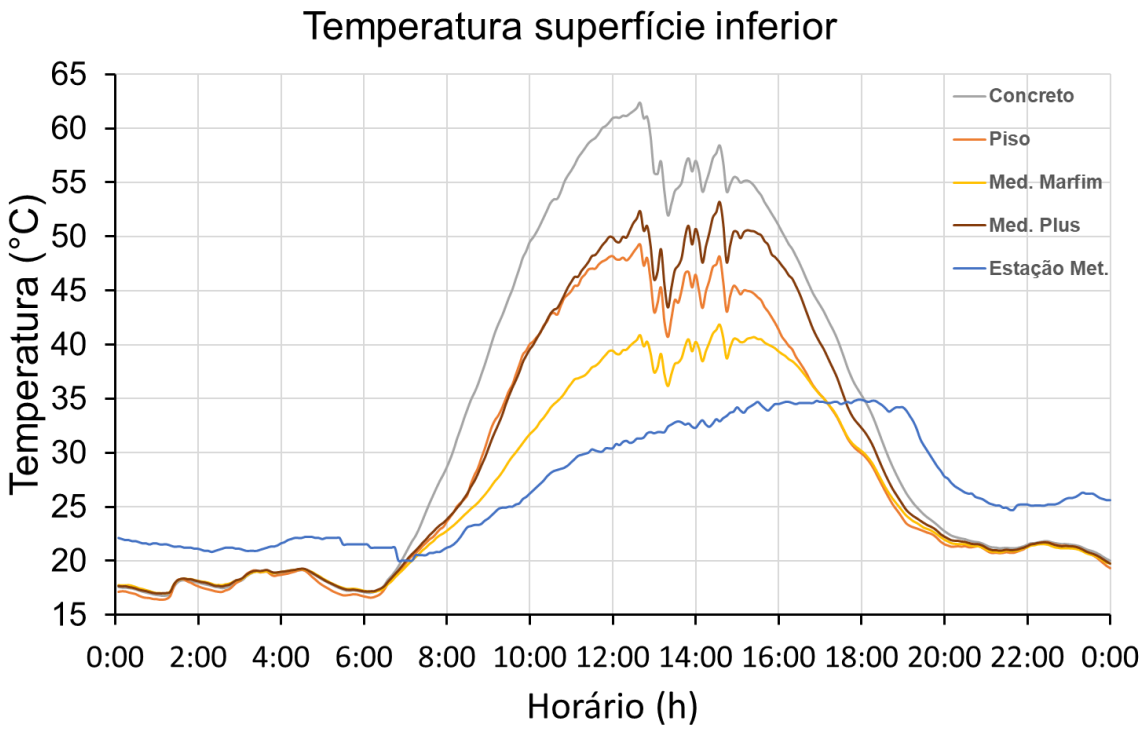


Figura 9 – Temperaturas das superfícies inferiores das telhas ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

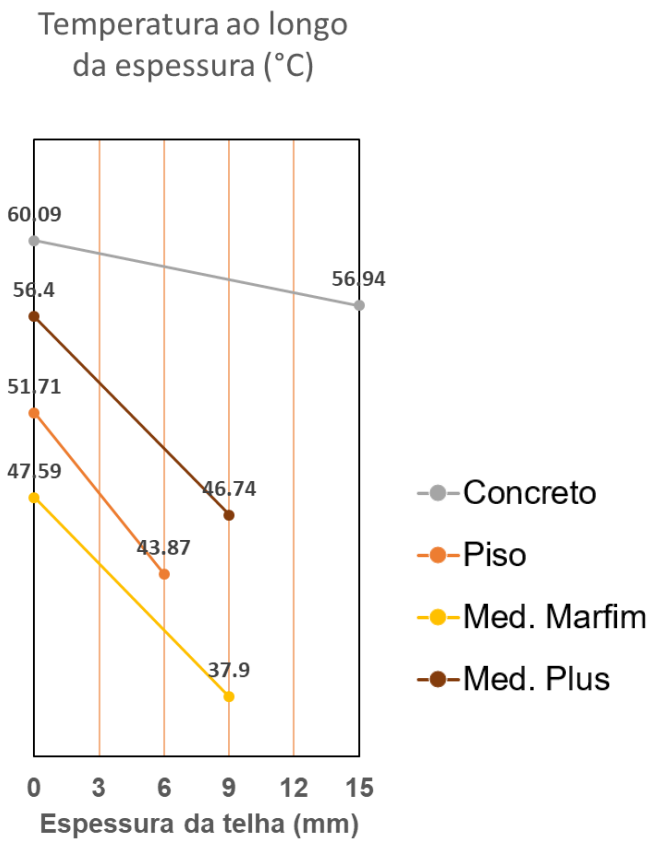


Figura 10 – Diferença entre as temperaturas de superfície superior e inferior das telhas, levando em consideração a espessura da telha no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados, avaliados às 12:30 da tarde no dia 30 de janeiro de 2021.

A Figura 11 mostra a temperatura de globo negro do centro geométrico do protótipo enquanto a Figura 12 mostra a umidade relativa no interior do protótipo, ambas ao longo do dia escolhido. As tendências de temperatura de globo negro são as mesmas observadas nas temperaturas superiores e inferiores das telhas, destacando-se a telha de concreto com maiores temperaturas e taxas de aquecimento e a telha TOPTELHA Mediterrânea Marfim com as menores temperaturas e menores taxas de aquecimento. A umidade relativa é dependente da temperatura, logo as telhas com menores temperaturas conservaram maior umidade dentro do protótipo. Além do fator temperatura, este fato pode ser explicado por diversos fatores que influenciam no sistema, como pelas capacidades de as telhas permitirem que a umidade presente no interior do protótipo permeie pelas telhas. A Tabela 2 apresenta os valores de temperatura de ponto de orvalho calculados para às 12:30 da tarde no dia 30 de janeiro de 2021.

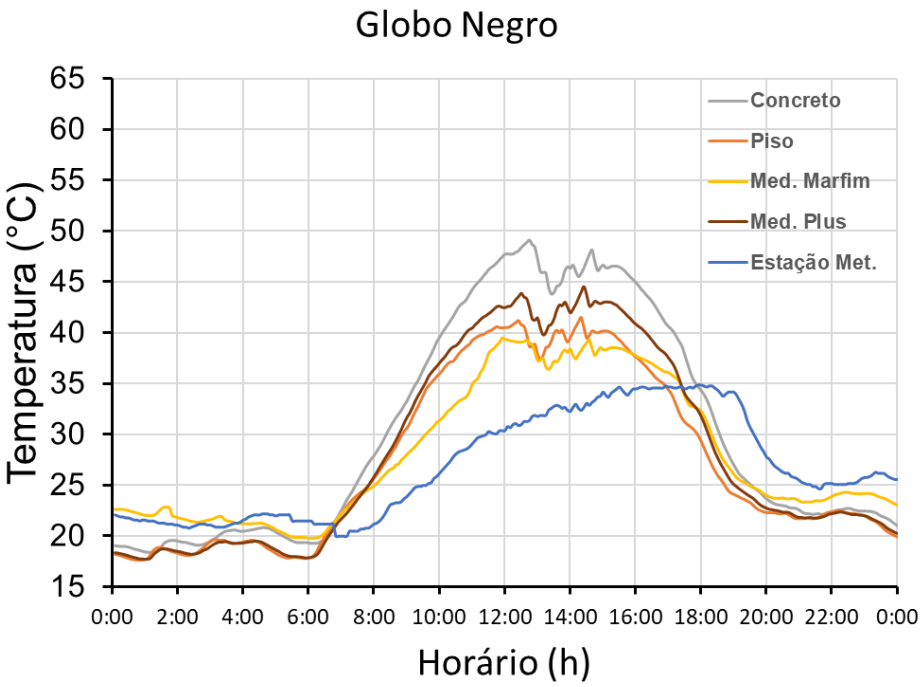


Figura 11 - Temperaturas de globo negro do interior dos protótipos ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

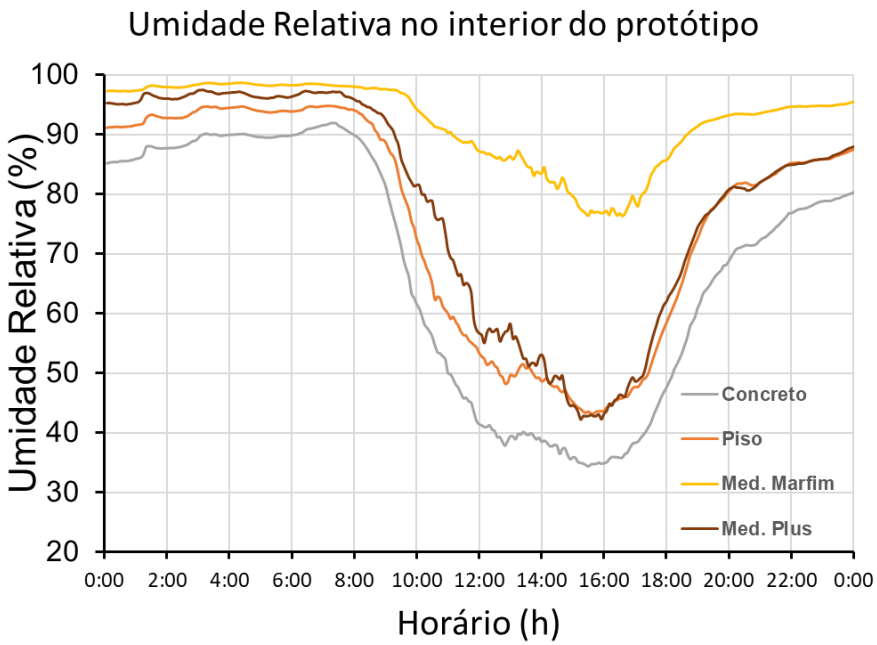


Figura 12 – Umidades relativas do interior dos protótipos ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

Tabela 2 - Temperatura de ponto de orvalho calculada com os dados das 12:30 da tarde no dia 30 de janeiro de 2021.

	Telha Piso	**Mediterrânea Plus**	**Telha Concreto**	**Mediterrânea Marfim**
TPO 12:30 (°C)	28,4	33,1	31,0	36,3

Gráficos comparativos entre pares de telhas

4.1.1 Os gráficos da Figura 13 até a Figura 27 mostram os resultados para o evento climático de 30 de janeiro de 2021 de forma comparativa entre pares de telhas para facilitar a interpretação e análise. Os pares comparados foram definidos como sendo: Telha Concreto *versus* Telha Mediterrânea Plus; Telha Concreto *versus* Telha Mediterrânea Marfim; e Telha Piso *versus* Telha Mediterrânea Marfim.

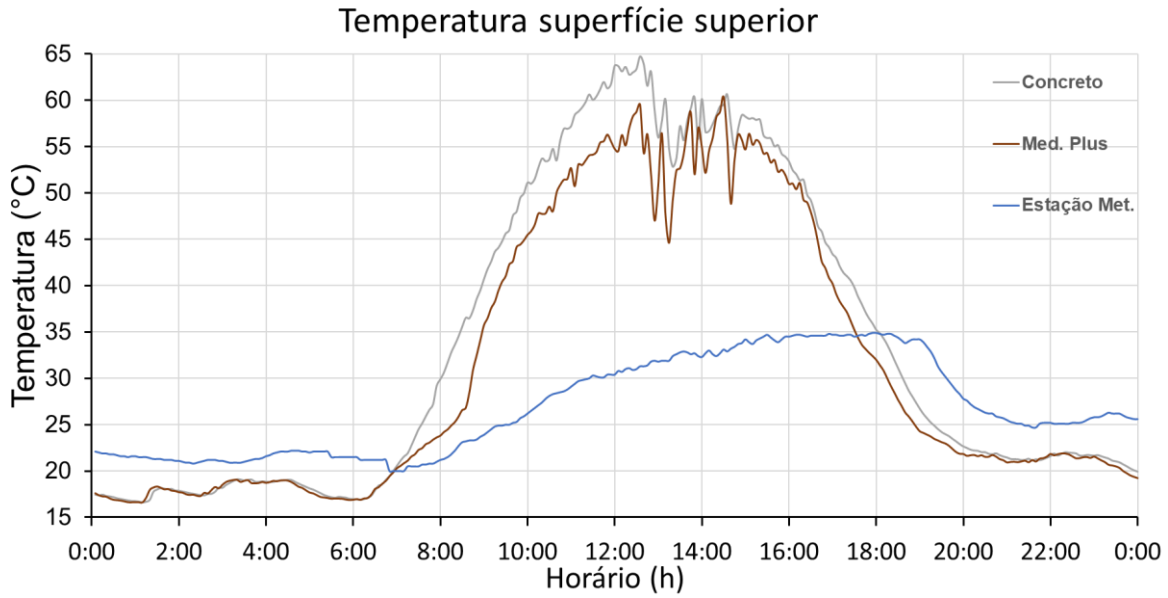


Figura 13 - Temperaturas das superfícies superiores das telhas Concreto e Mediterrânea Plus ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

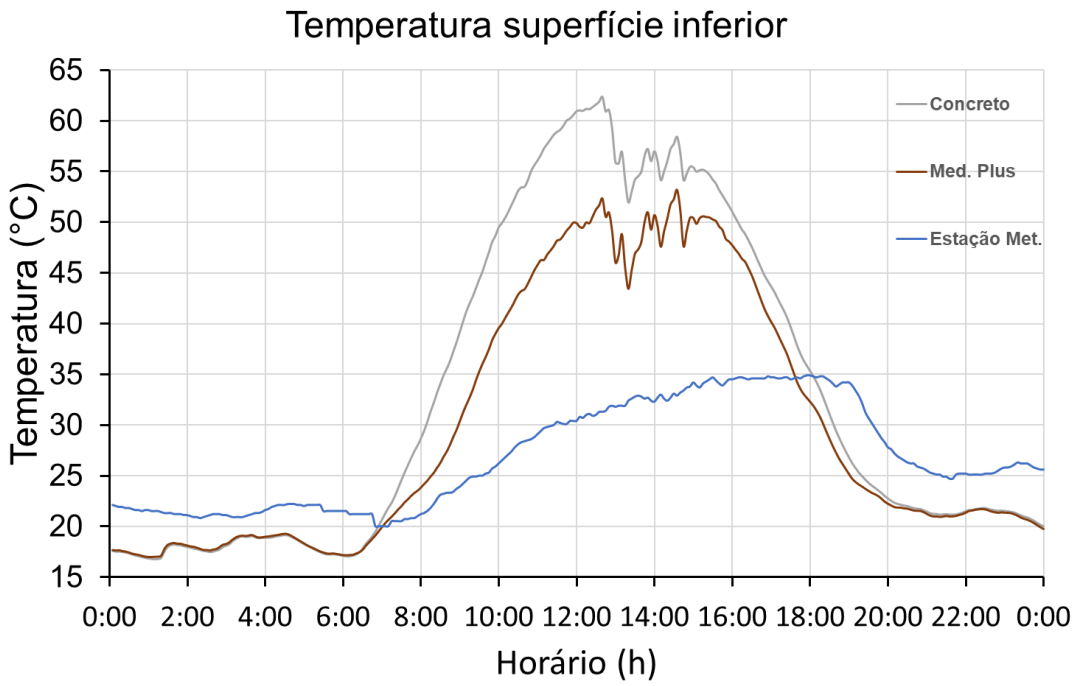


Figura 14 - Temperaturas das superfícies inferiores das telhas Concreto e Mediterrânea Plus ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

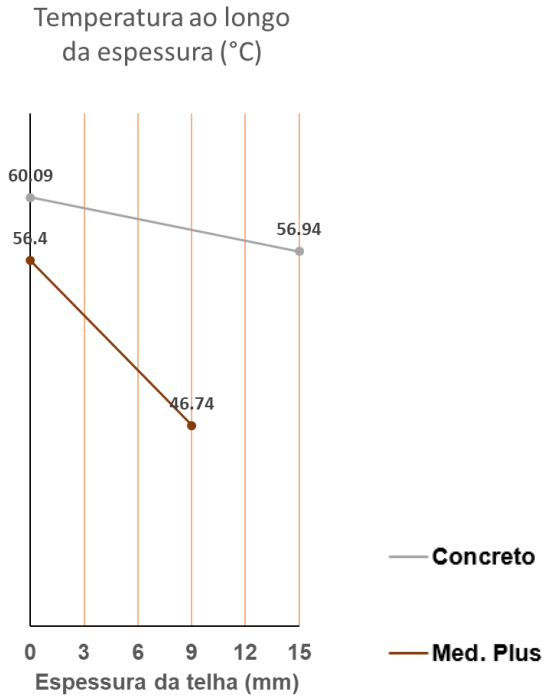


Figura 15 - Diferença entre as temperaturas de superfície superior e inferior das telhas Concreto e Mediterrânea Plus, levando em consideração a espessura da telha no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados, avaliados às 12:30 da tarde no dia 30 de janeiro de 2021.

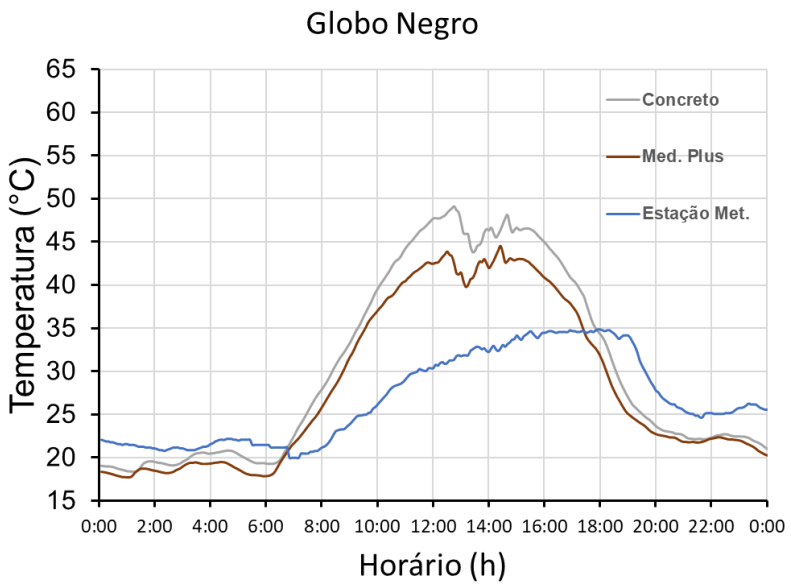


Figura 16 - Temperaturas de globo negro do interior dos protótipos cobertos com as telhas Concreto e Mediterrânea Plus ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

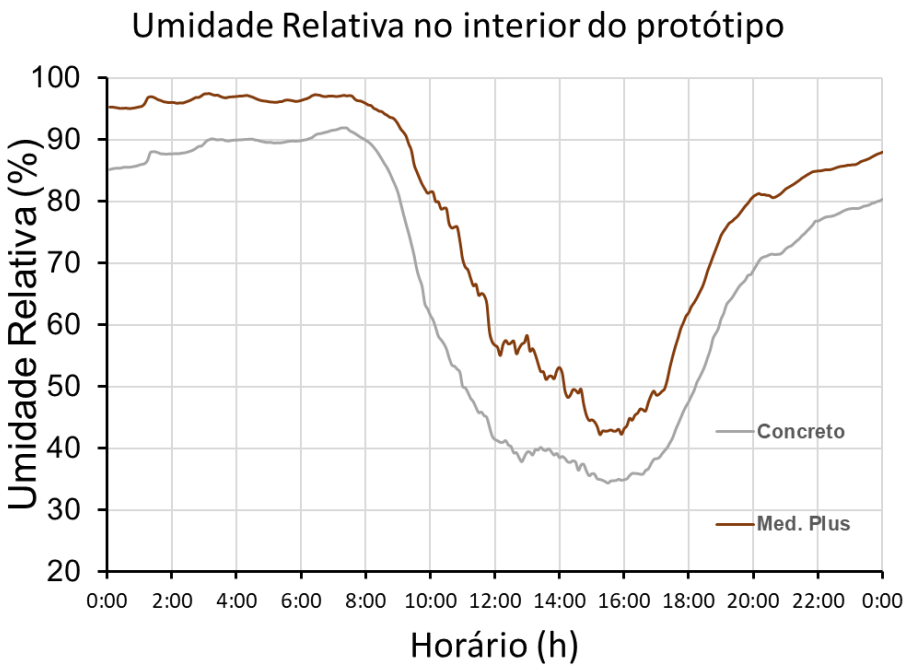


Figura 17 - Umidades relativas do interior dos protótipos cobertos com as telhas Concreto e Mediterrânea Plus ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

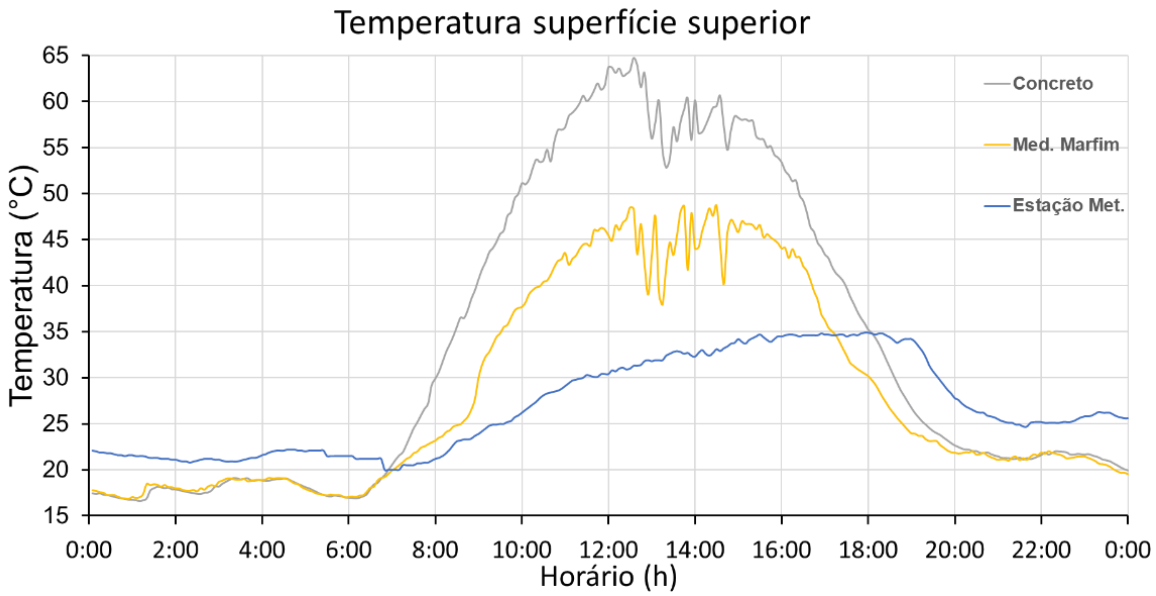


Figura 18 - Temperaturas das superfícies superiores das telhas Concreto e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

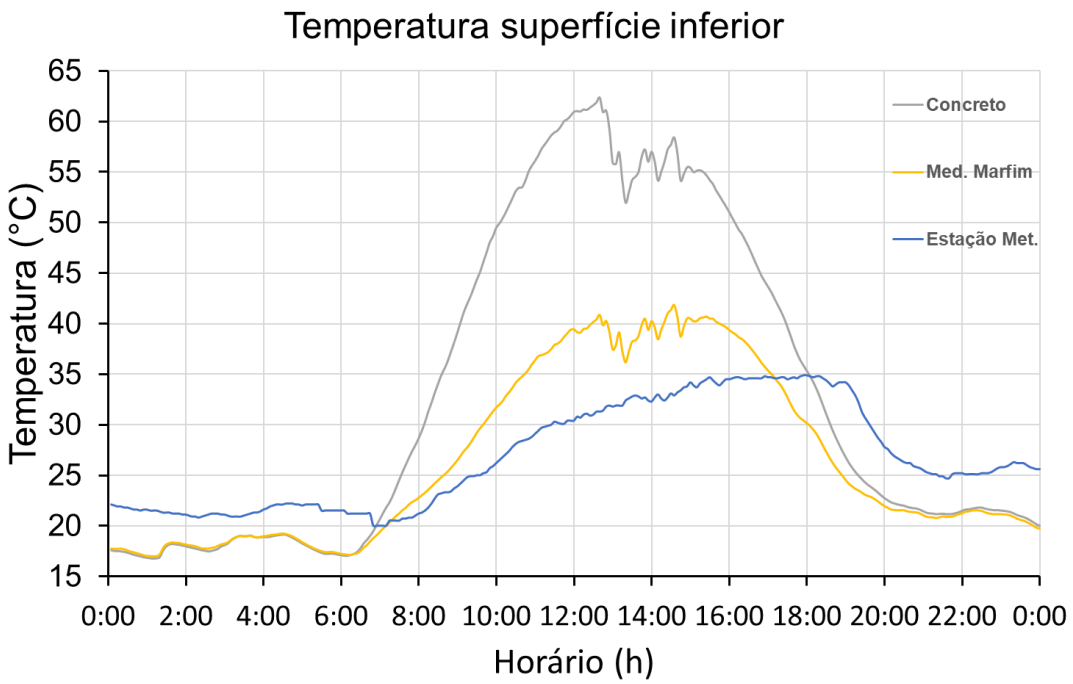


Figura 19 - Temperaturas das superfícies inferiores das telhas Concreto e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

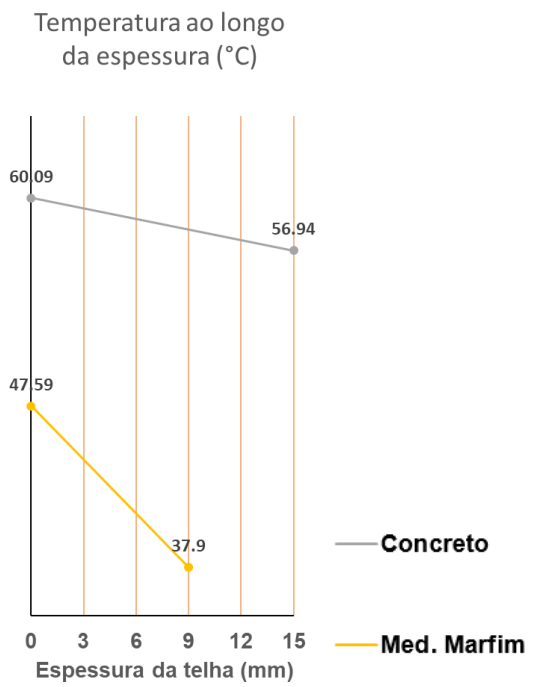


Figura 20 - Diferença entre as temperaturas de superfície superior e inferior das telhas Concreto e Mediterrânea Marfim, levando em consideração a espessura da telha no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados, avaliados às 12:30 da tarde no dia 30 de janeiro de 2021.

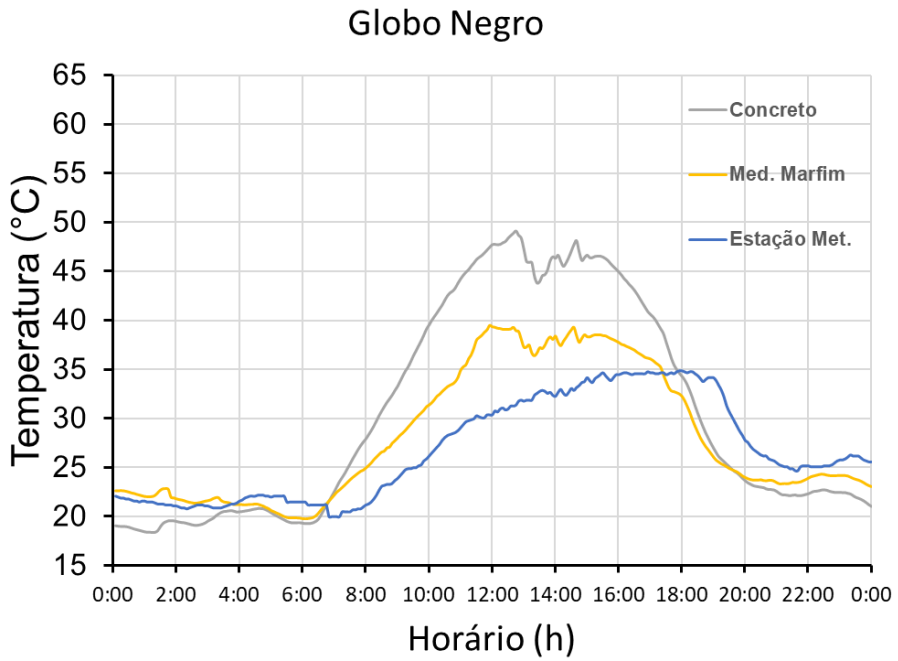


Figura 21 - Temperaturas de globo negro do interior dos protótipos cobertos com as telhas Concreto e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

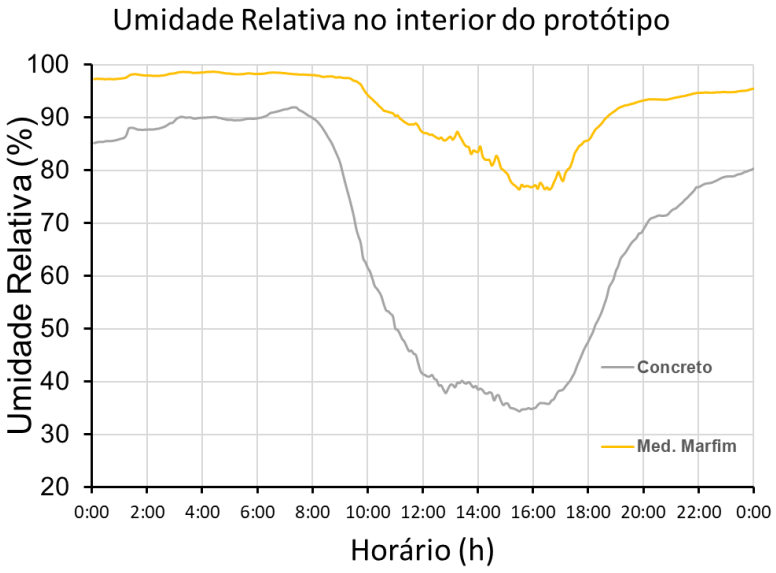


Figura 22 - Umidades relativas do interior dos protótipos cobertos com as telhas Concreto e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

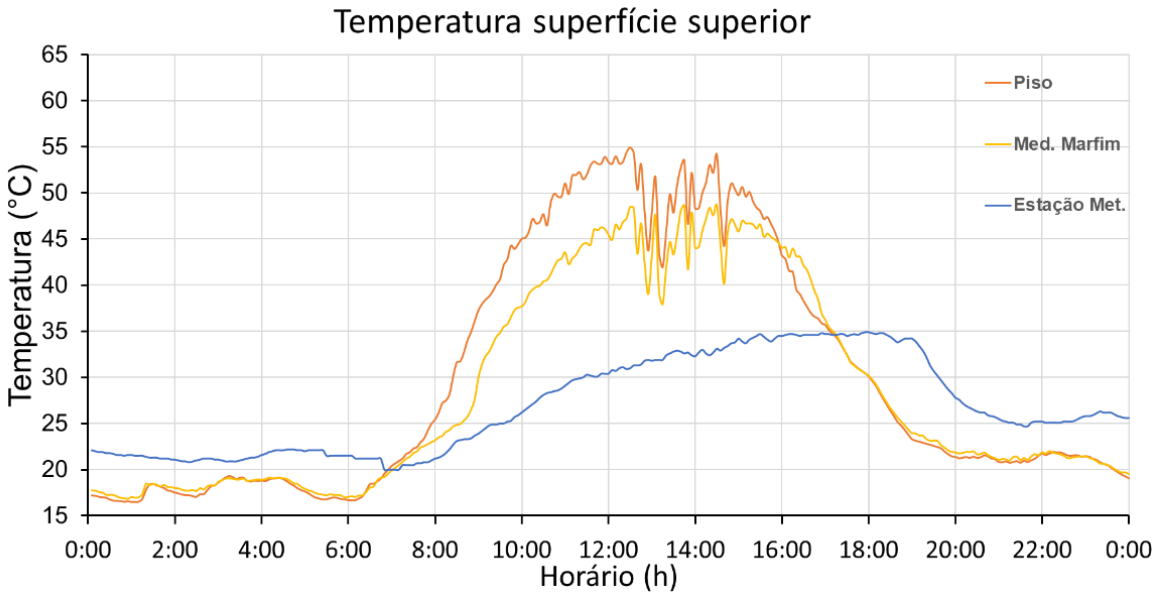


Figura 23 - Temperaturas das superfícies superiores das telhas Piso e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

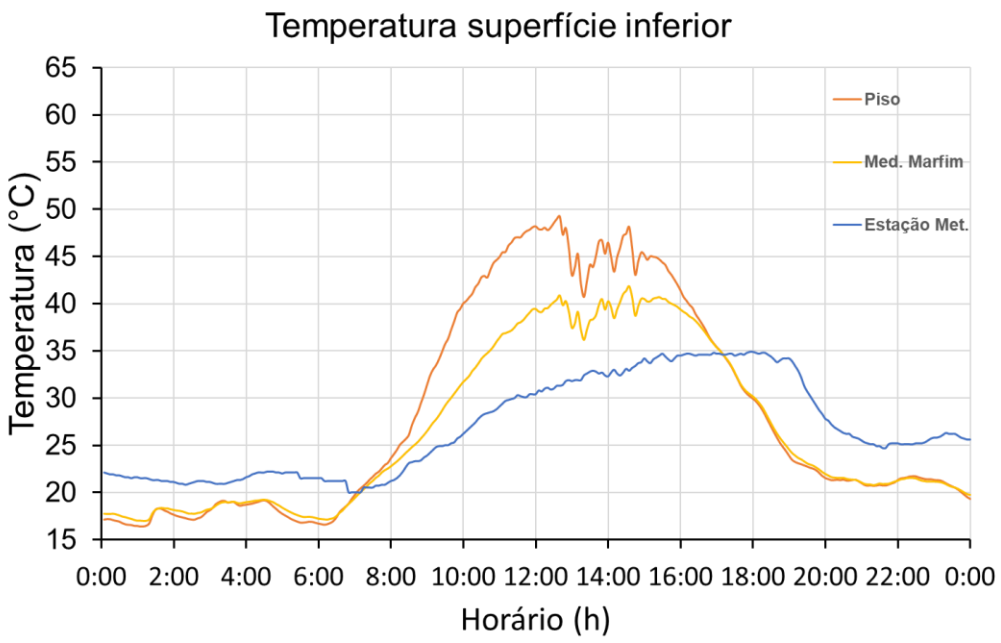


Figura 24 - Temperaturas das superfícies inferiores das telhas Piso e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

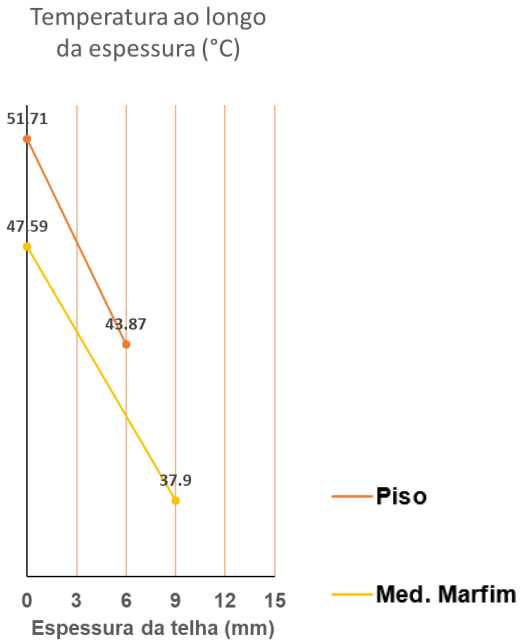


Figura 25 - Diferença entre as temperaturas de superfície superior e inferior das telhas Piso e Mediterrânea Marfim, levando em consideração a espessura da telha no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados, avaliados às 12:30 da tarde no dia 30 de janeiro de 2021.

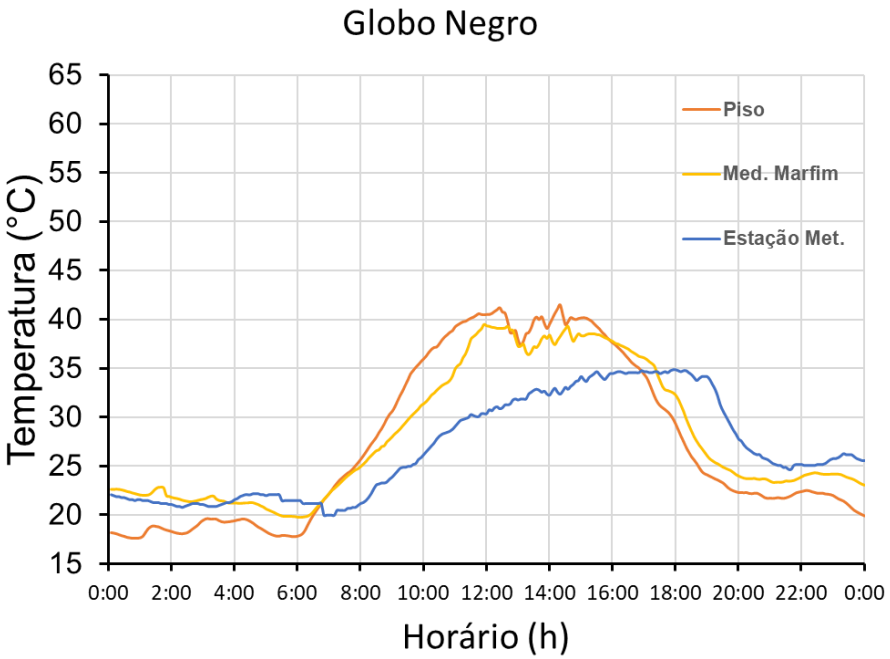


Figura 26 - Temperaturas de globo negro do interior dos protótipos cobertos com as telhas Piso e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

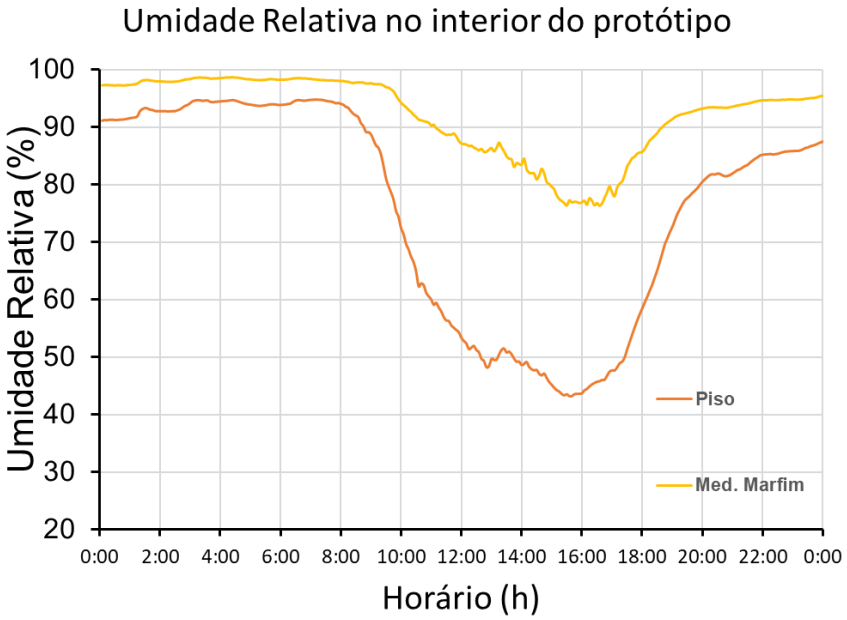


Figura 27 - Umidades relativas do interior dos protótipos cobertos com as telhas Piso e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 30 de janeiro de 2021.

4.2 Evento climático de 3 de fevereiro de 2021

A Figura 28 apresenta as temperaturas das superfícies superiores das telhas, registradas ao longo do dia com o evento climático escolhido, com característica de dia ensolarado e de céu limpo. É possível observar-se o aumento da temperatura da superfície superior das telhas logo que a temperatura registrada pela estação meteorológica também registra o aumento da temperatura nas primeiras horas do dia. No entanto, a taxa de aquecimento da superfície superior das telhas é mais elevada em comparação à temperatura da estação meteorológica. As máximas temperaturas das superfícies superiores são atingidas logo após o meio dia, enquanto a temperatura máxima registrada pela estação meteorológica ocorre no final da tarde. Em comparação umas às outras, destacam se a telha de concreto por apresentar as maiores temperaturas e a telha TOPTELHA Mediterrânea Marfim por apresentar as menores temperaturas em suas superfícies superiores. Este efeito é devido à radiação solar que incide sobre as superfícies das telhas, e devido tanto às características intrínsecas (condutividade, calor específico, porosidade) e extrínsecas (formato, rugosidade das superfícies, pintura) dos materiais proporcionam efeitos térmicos de diferentes magnitudes. Observa-se ainda no gráfico da Figura 28 que os picos de temperatura ocorrem próximos às 13:30 e não houve incidência de nuvens durante o dia.

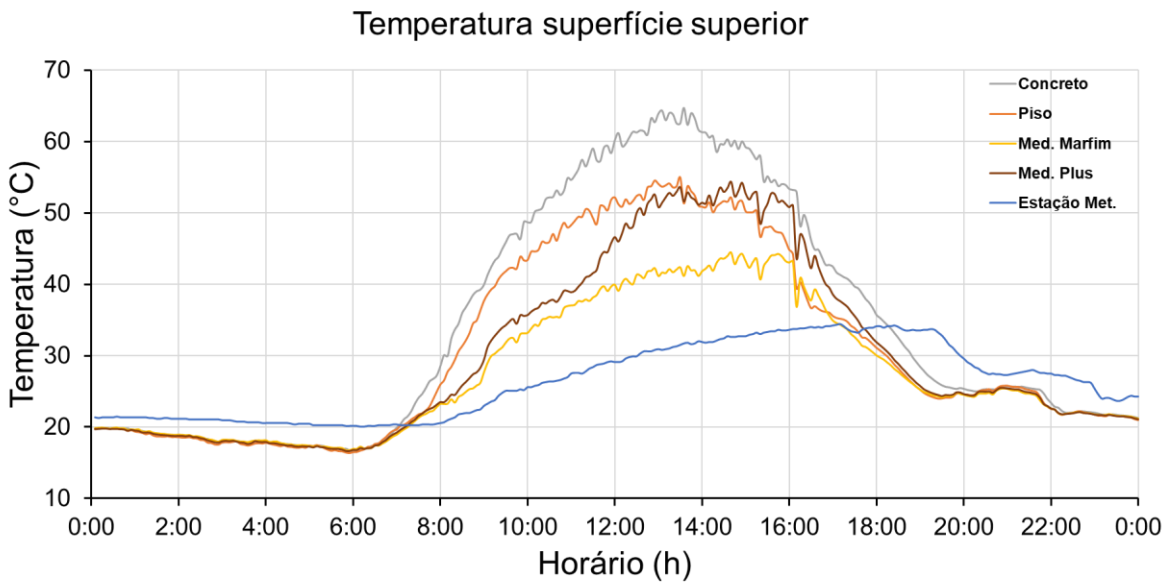


Figura 28 - Temperaturas das superfícies superiores das telhas ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

A Figura 29 apresenta as temperaturas das superfícies inferiores das telhas registradas ao longo do dia escolhido. É possível observar o aumento da temperatura da superfície inferior das telhas logo que a temperatura registrada pela estação meteorológica também registra o aumento da temperatura nas primeiras horas do dia. Da mesma forma como nas superfícies superiores, a taxa de aquecimento da superfície inferior das telhas é mais elevada em comparação à temperatura da estação meteorológica. As máximas temperaturas das superfícies inferiores são atingidas logo após o meio dia, enquanto a temperatura máxima registrada pela estação meteorológica ocorre no final da tarde. Assim como na superfície superior, destacam se a telha de concreto por apresentar as maiores temperaturas e maior taxa de aquecimento e a telha TOPTELHA Mediterrânea Marfim por apresentar as menores temperaturas e menores taxas de aquecimento em suas superfícies inferiores. O gráfico da Figura 30 apresenta as diferenças de temperatura entre a superfície superior e inferior das telhas, levando ainda em consideração a espessura de cada uma das telhas no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados. Pelas inclinações das retas que ligam os dois pontos no gráfico, podem ser observados as taxas de condução de temperatura ao longo da espessura. A telha de concreto apresentou a maior taxa de condução térmica enquanto a telha piso apresentou a menor taxa de condução térmica em relação às demais telhas. Esse comportamento é influenciado por diversas características como condutividade térmica e

calor específico do material, porosidade, espessura, rugosidade das superfícies, permeabilidade ao vapor d'água entre outros fatores tanto intrínsecos como extrínsecos dos materiais que constituem as telhas.

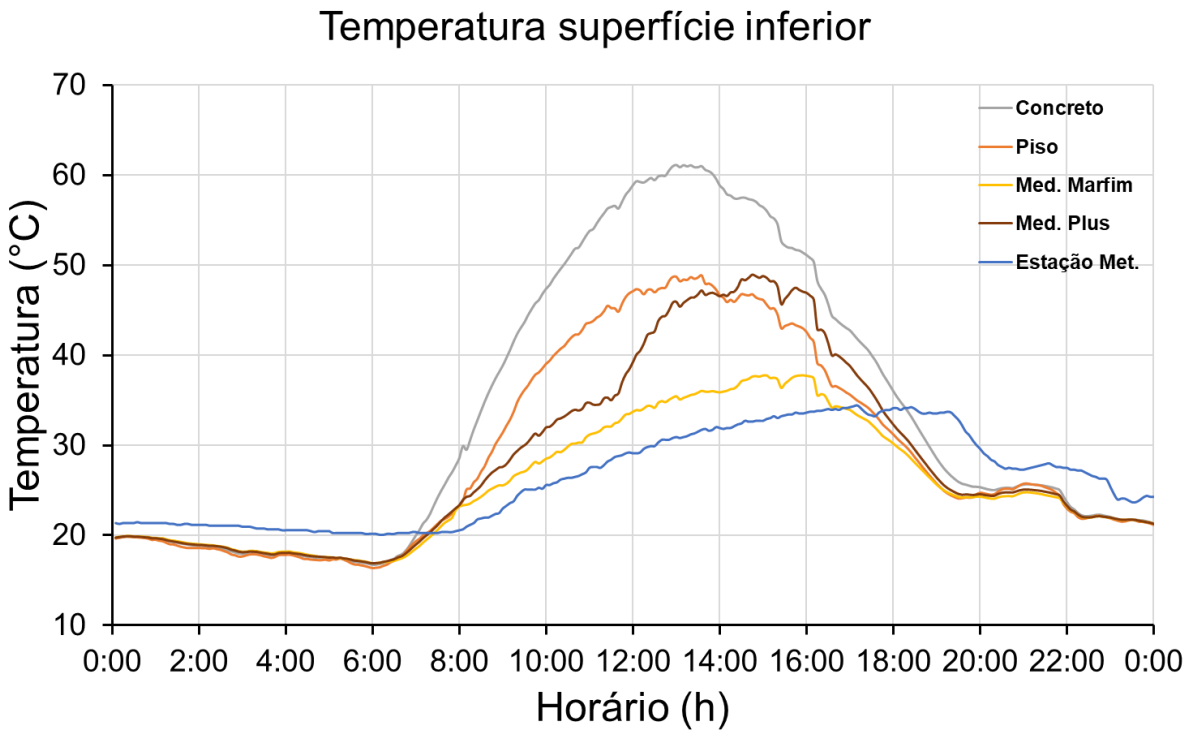


Figura 29 - Temperaturas das superfícies inferiores das telhas ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

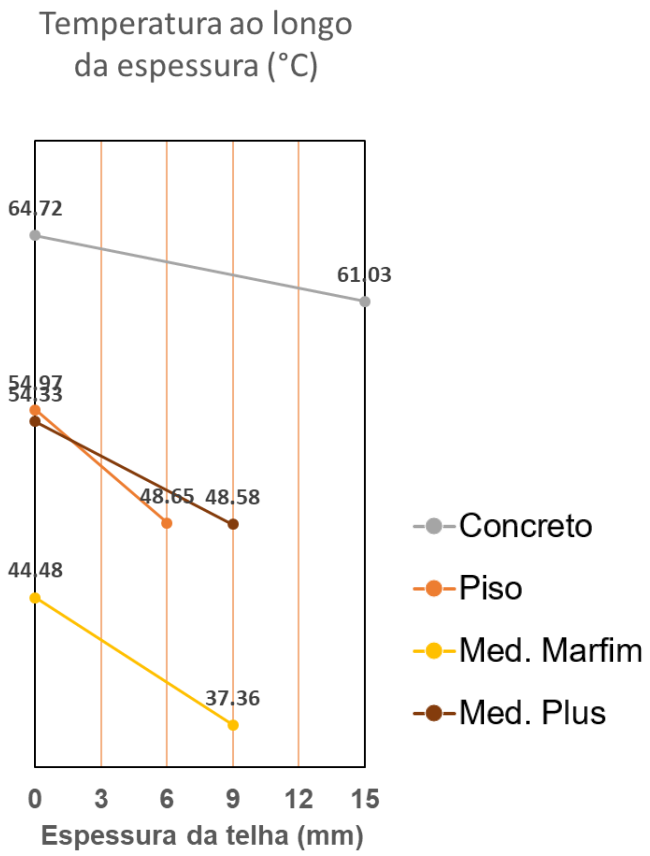


Figura 30 - Diferença entre as temperaturas de superfície superior e inferior das telhas, levando em consideração a espessura da telha no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados, avaliados às 13:30 no dia 3 de fevereiro de 2021.

A Figura 31 mostra a temperatura de globo negro do centro geométrico do protótipo enquanto a Figura 32 mostra a umidade relativa no interior do protótipo, ambas ao longo do dia escolhido. As tendências de temperatura de globo negro são as mesmas observadas nas temperaturas superiores e inferiores das telhas, destacando-se a telha de concreto com maiores temperaturas e taxas de aquecimento e a telha TOPTELHA Mediterrânea Marfim com as menores temperaturas e menores taxas de aquecimento. A umidade relativa é dependente da temperatura, logo as telhas com menores temperaturas conservaram maior umidade dentro do protótipo. Além do fator temperatura, este fato pode ser explicado por diversos fatores que influenciam no sistema, como pelas capacidades de as telhas permitirem que a umidade presente no interior do protótipo permeie pelas telhas. A Tabela 3 apresenta

os valores de temperatura de ponto de orvalho calculados para às 12:30 da manhã no dia 30 de janeiro de 2021.

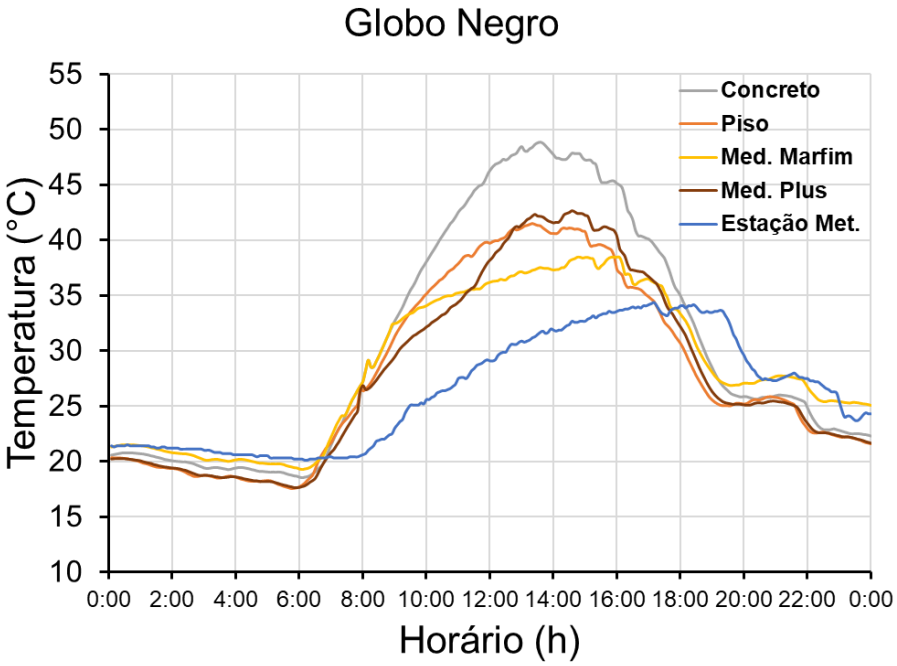


Figura 31 - Temperaturas globo negro do interior dos protótipos ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

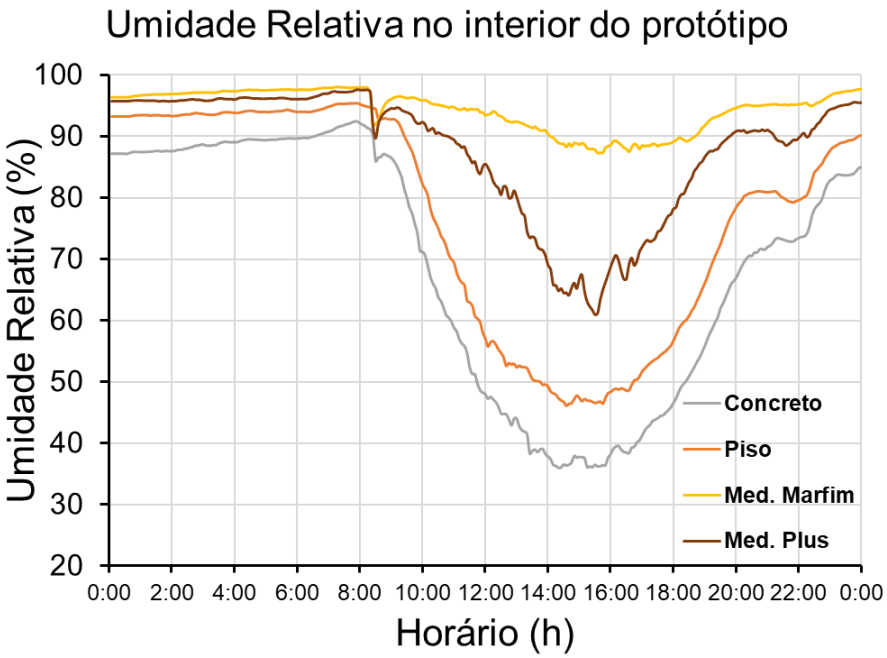


Figura 32 - Umidades relativas do interior dos protótipos ao longo do dia 3 fevereiro de 2021.

Tabela 3 - Temperatura de ponto de orvalho calculados com os dados das 13:30 no dia 3 de fevereiro de 2021.

	Telha Piso	**Mediterrânea Plus**	**Telha Concreto**	**Mediterrânea Marfim**
TPO 13:30 (°C)	28,8	35,3	31,1	36,4

Gráficos comparativos entre pares de telhas

4.2.1 Os gráficos da Figura 33 até a Figura 47 mostram os resultados para o evento climático de 3 de fevereiro de 2021 de forma comparativa entre pares de telhas para facilitar a interpretação e análise. Os pares comparados foram definidos como sendo: Telha Concreto *versus* Telha Mediterrânea Plus; Telha Concreto *versus* Telha Mediterrânea Marfim; e Telha Piso *versus* Telha Mediterrânea Marfim.

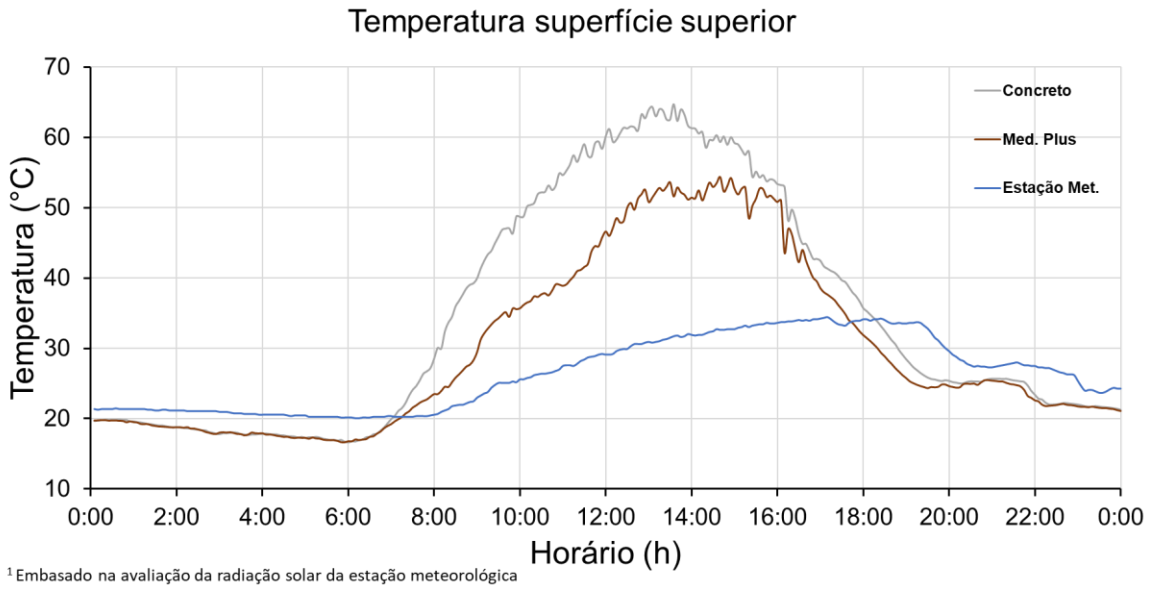


Figura 33 - Temperaturas das superfícies superiores das telhas Concreto e Mediterrânea Plus ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

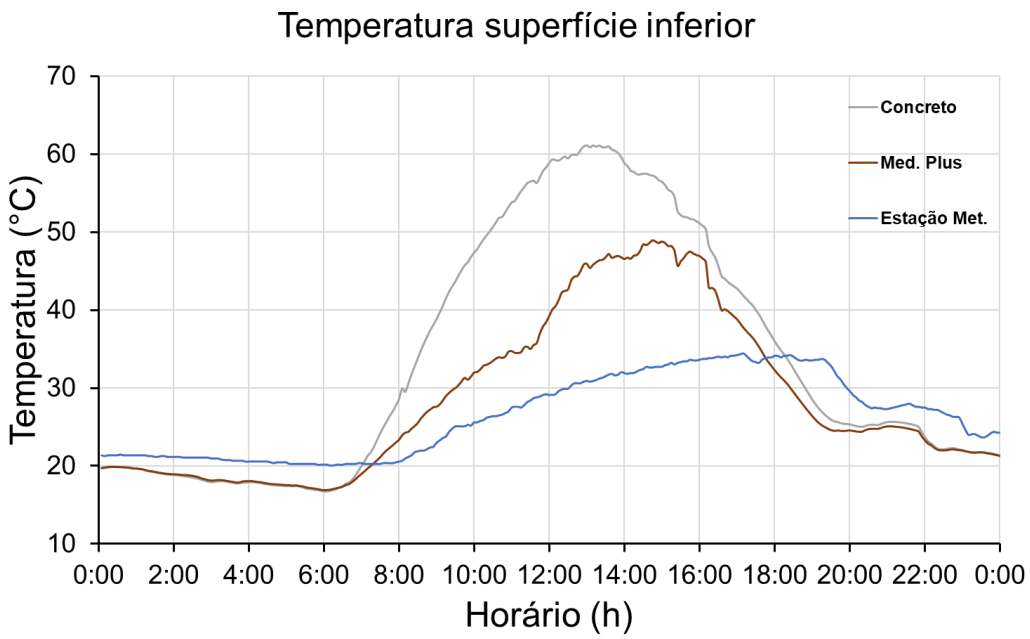


Figura 34 - Temperaturas das superfícies inferiores das telhas Concreto e Mediterrânea Plus ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

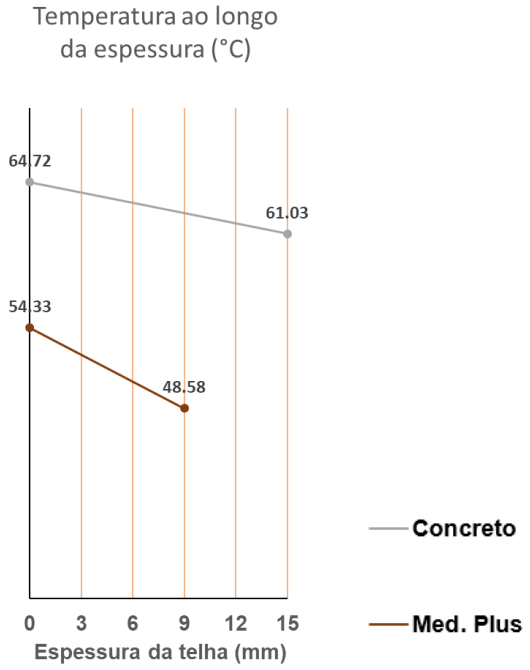


Figura 35 - Diferença entre as temperaturas de superfície superior e inferior das telhas Concreto e Mediterrânea Plus, levando em consideração a espessura da telha no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados, avaliados às 13:30 da tarde no dia 3 de fevereiro de 2021.

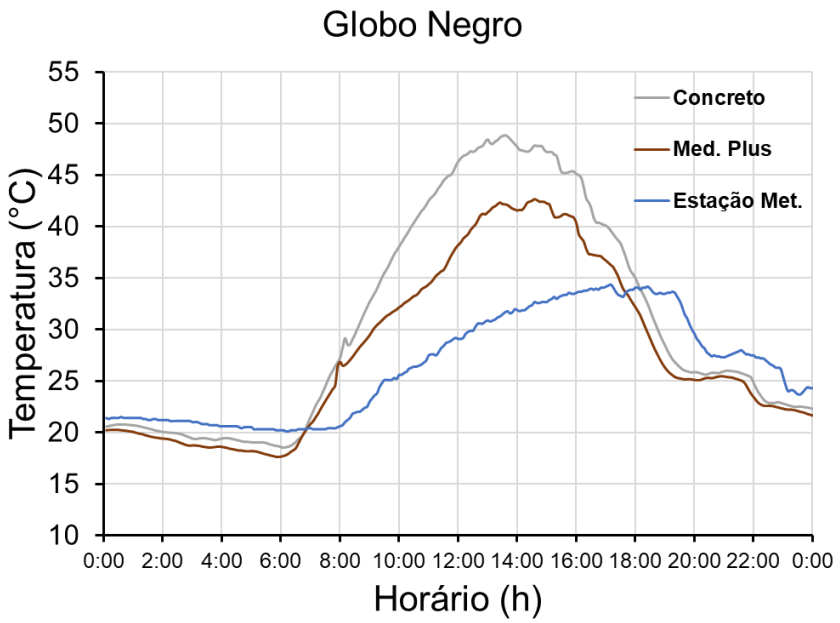


Figura 36 - Temperaturas de globo negro do interior dos protótipos cobertos com as telhas Concreto e Mediterrânea Plus ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

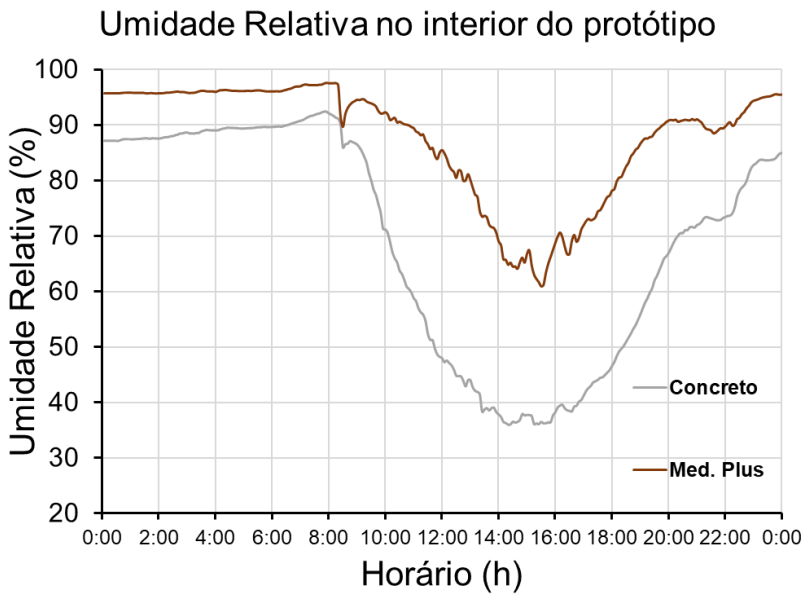


Figura 37 - Umidades relativas do interior dos protótipos cobertos com as telhas Concreto e Mediterrânea Plus ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

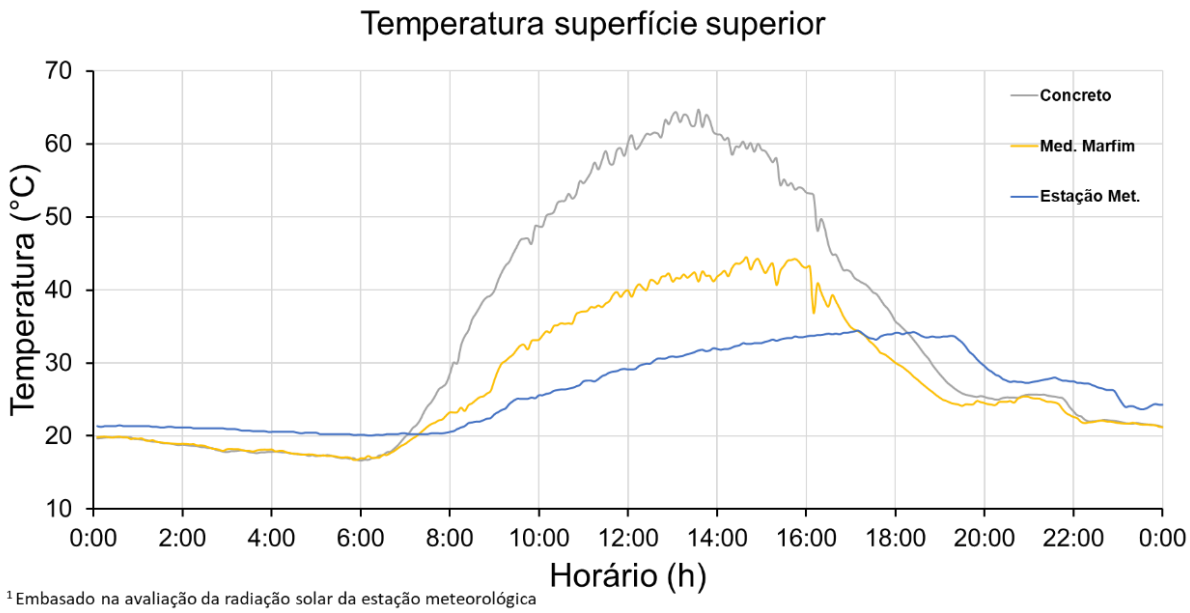


Figura 38 - Temperaturas das superfícies superiores das telhas Concreto e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

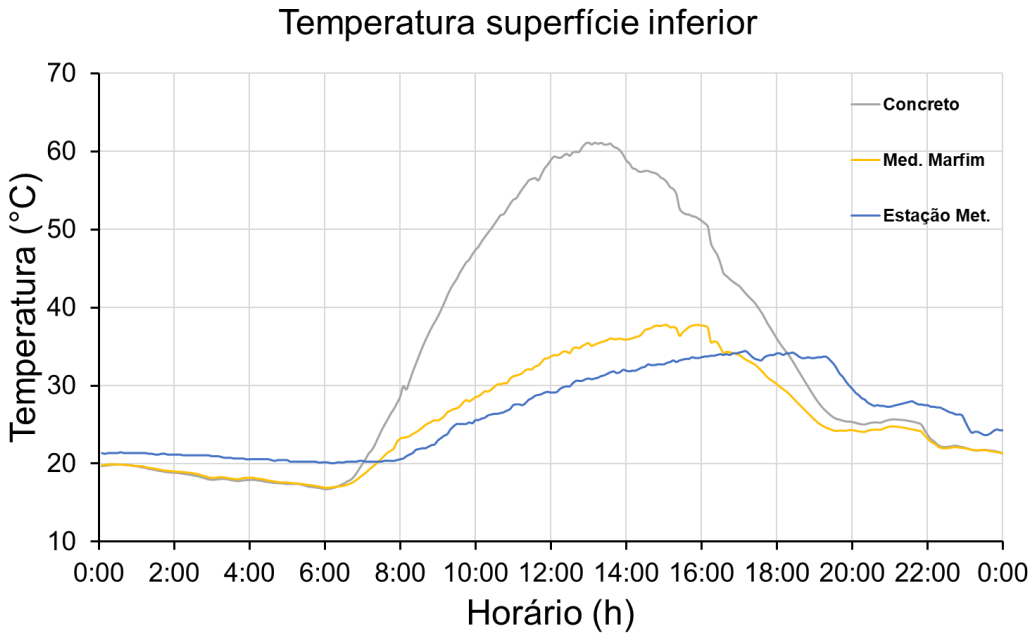


Figura 39 - Temperaturas das superfícies inferiores das telhas Concreto e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

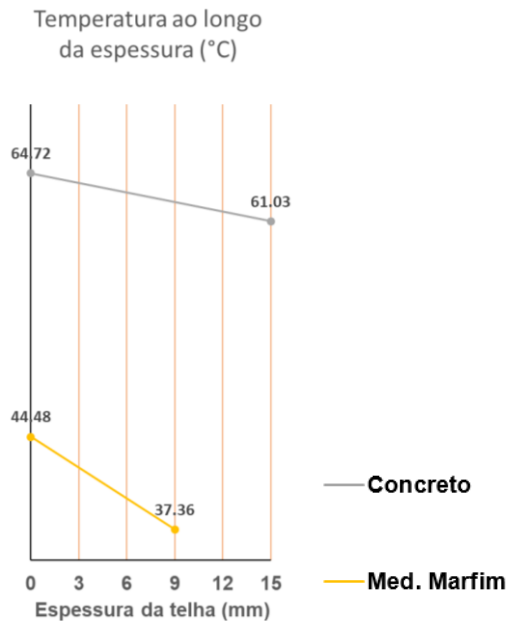


Figura 40 - Diferença entre as temperaturas de superfície superior e inferior das telhas Concreto e Mediterrânea Marfim, levando em consideração a espessura da telha no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados, avaliados às 13:30 da tarde no dia 3 de fevereiro de 2021.

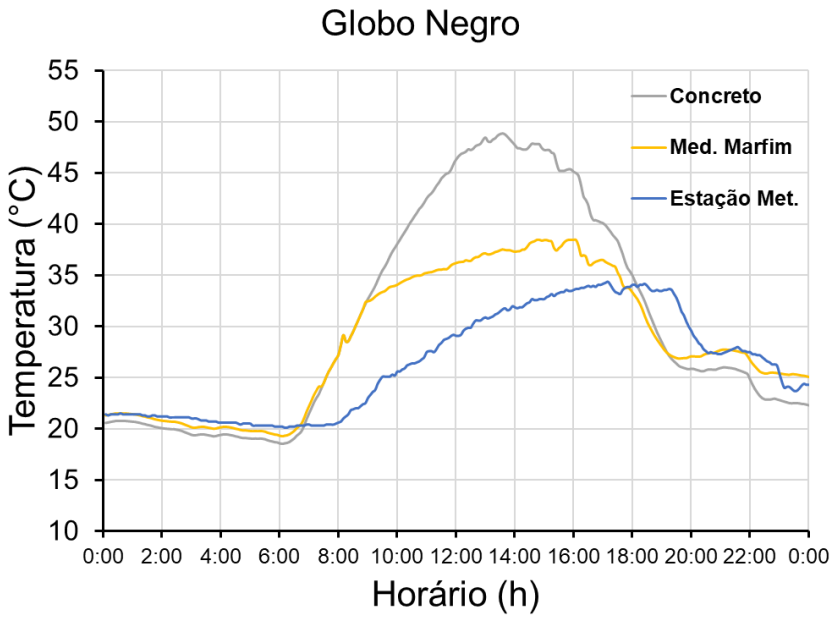


Figura 41 - Temperaturas de globo negro do interior dos protótipos cobertos com as telhas Concreto e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

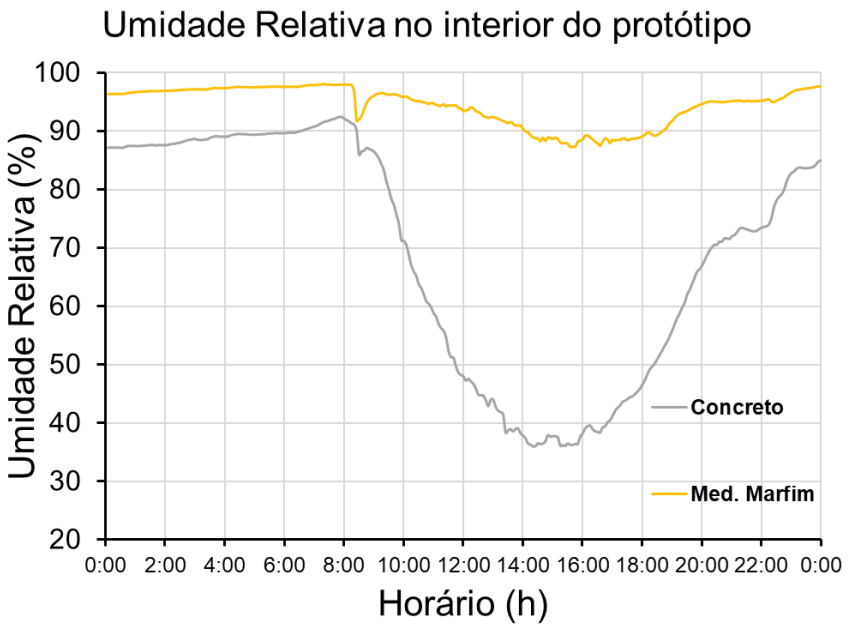


Figura 42 - Umidades relativas do interior dos protótipos cobertos com as telhas Concreto e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

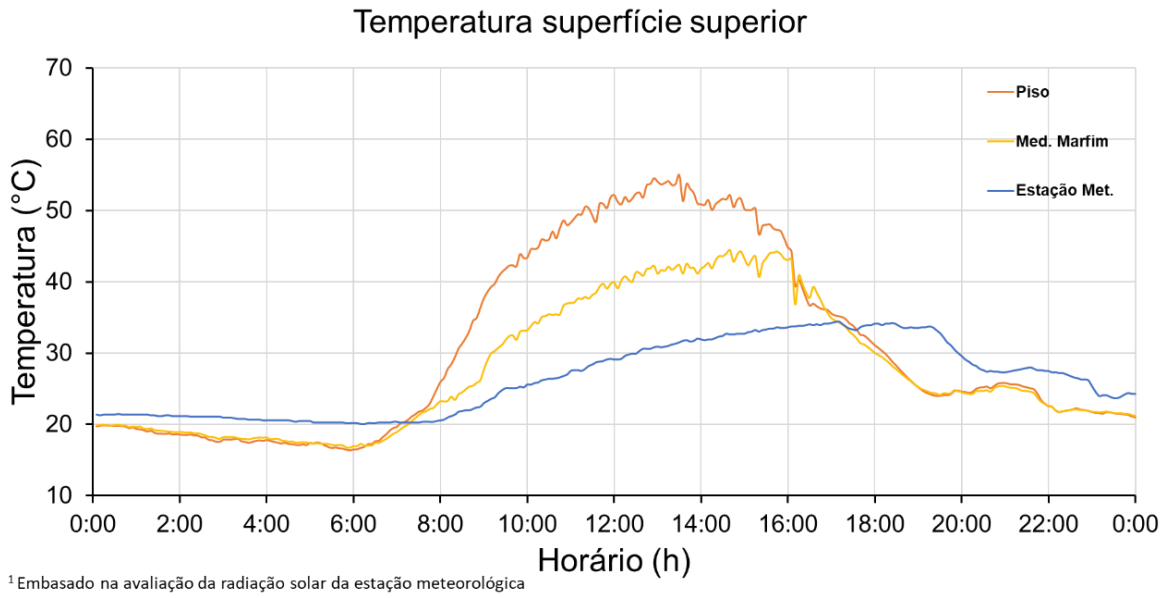


Figura 43 - Temperaturas das superfícies superiores das telhas Piso e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

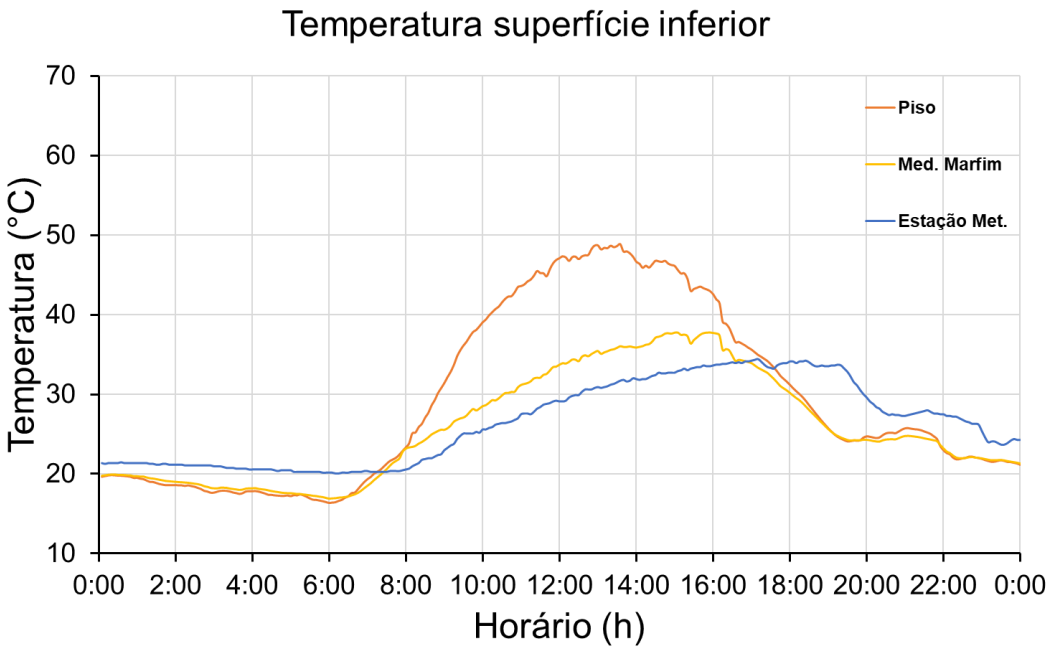


Figura 44 - Temperaturas das superfícies inferiores das telhas Piso e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

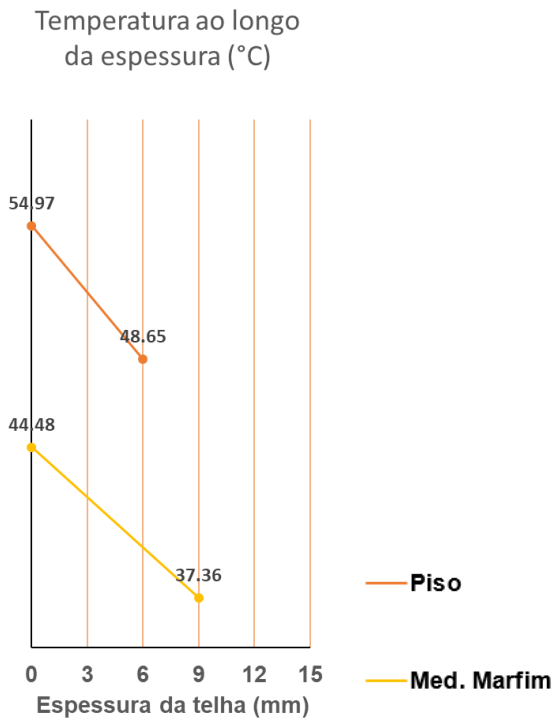


Figura 45 - Diferença entre as temperaturas de superfície superior e inferior das telhas Piso e Mediterrânea Marfim, levando em consideração a espessura da telha no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados, avaliados às 13:30 da tarde no dia 3 de fevereiro de 2021.

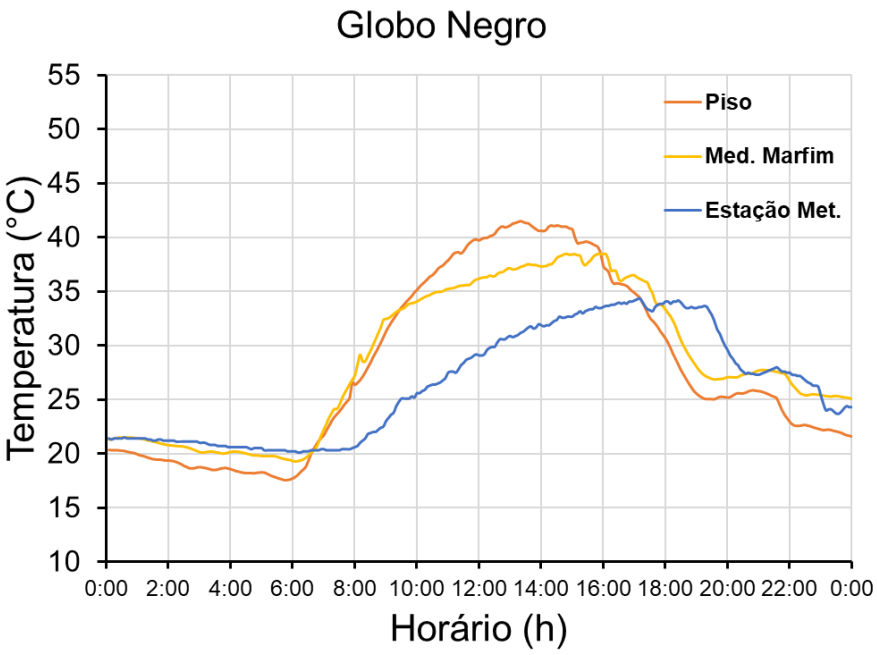


Figura 46 - Temperaturas de globo negro do interior dos protótipos cobertos com as telhas Piso e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

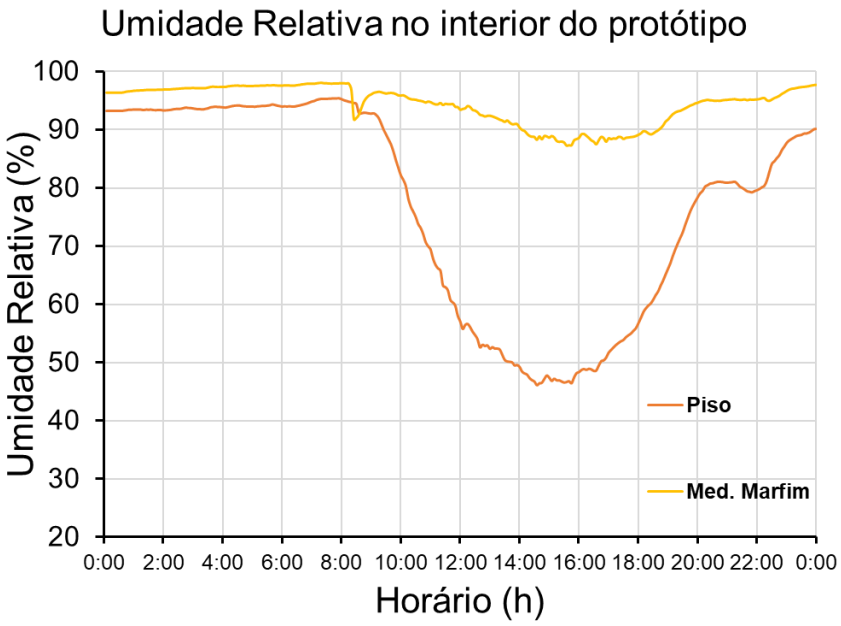


Figura 47 - Umidades relativas do interior dos protótipos cobertos com as telhas Concreto e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 3 de fevereiro de 2021.

4.3 Evento climático de 12 de abril de 2021

A Figura 48 apresenta as temperaturas das superfícies superiores das telhas, registradas ao longo do dia com o evento climático escolhido, com característica de grande amplitude térmica, indo de 12,5 a 33,0°C e ensolarado típica do início do outono. É possível observar o aumento da temperatura da superfície superior das telhas logo que a temperatura registrada pela estação meteorológica também registra o aumento da temperatura nas primeiras horas do dia. No entanto, a taxa de aquecimento da superfície superior das telhas é mais elevada em comparação à temperatura da estação meteorológica. As máximas temperaturas das superfícies superiores são atingidas logo após o meio dia, enquanto a temperatura máxima registrada pela estação meteorológica ocorre no final da tarde. Em comparação umas às outras, destacam se a telha de concreto por apresentar as maiores temperaturas e a telha TOPTELHA Mediterrânea Marfim por apresentar as menores temperaturas em suas superfícies superiores. Este efeito é devido à radiação solar que incide sobre as superfícies das telhas, e devido tanto às características intrínsecas (condutividade, calor específico, porosidade) e extrínsecas (formato, rugosidade das superfícies, pintura) dos materiais proporcionam efeitos térmicos de diferentes magnitudes. Observa-se ainda no gráfico da Figura 48 que os picos de temperatura ocorrem próximos às 11:30 e não houve incidência de nuvens durante o dia.

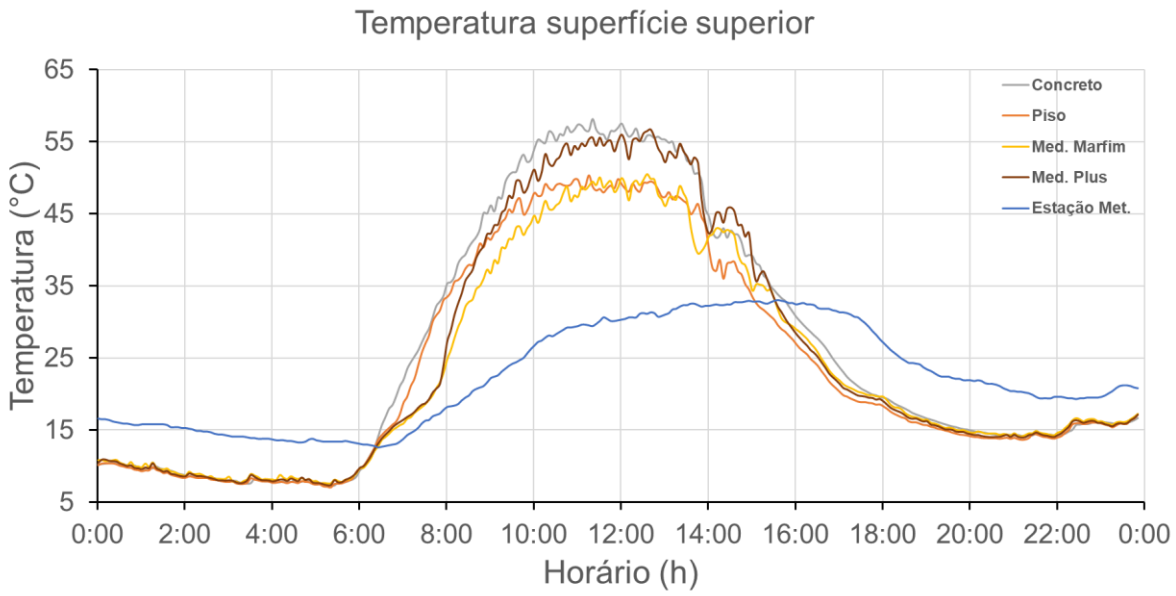


Figura 48 - Temperaturas das superfícies superiores das telhas ao longo do dia 12 abril de 2021.

A Figura 49 apresenta as temperaturas das superfícies inferiores das telhas registradas ao longo do dia escolhido. É possível observar o aumento da temperatura da superfície inferior das telhas logo que a temperatura registrada pela estação meteorológica também registra o aumento da temperatura nas primeiras horas do dia. Da mesma forma como nas superfícies superiores, a taxa de aquecimento da superfície inferior das telhas é mais elevada em comparação à temperatura da estação meteorológica. As máximas temperaturas das superfícies inferiores são atingidas até mesmo antes do meio dia, enquanto a temperatura máxima registrada pela estação meteorológica ocorre no final da tarde. Assim como na superfície superior, destacam se a telha de concreto por apresentar as maiores temperaturas e maior taxa de aquecimento e a telha TOPTELHA Mediterrânea Marfim por apresentar as menores temperaturas e menores taxas de aquecimento em suas superfícies inferiores. O gráfico da Figura 50 apresenta as diferenças de temperatura entre a superfície superior e inferior das telhas, levando ainda em consideração a espessura de cada uma das telhas no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados. Pelas inclinações das retas que ligam os dois pontos no gráfico, podem ser observados as taxas de condução de temperatura ao longo da espessura. A telha de concreto apresentou a maior taxa de condução térmica enquanto a telha TOPTELHA Mediterrânea Marfim apresentou a menor taxa de condução térmica em relação às demais telhas. Esse comportamento é influenciado por diversas características como condutividade térmica e calor específico do material, porosidade, espessura, rugosidade das superfícies, permeabilidade ao vapor d’água entre outros fatores tanto intrínsecos como extrínsecos dos materiais que constituem as telhas.

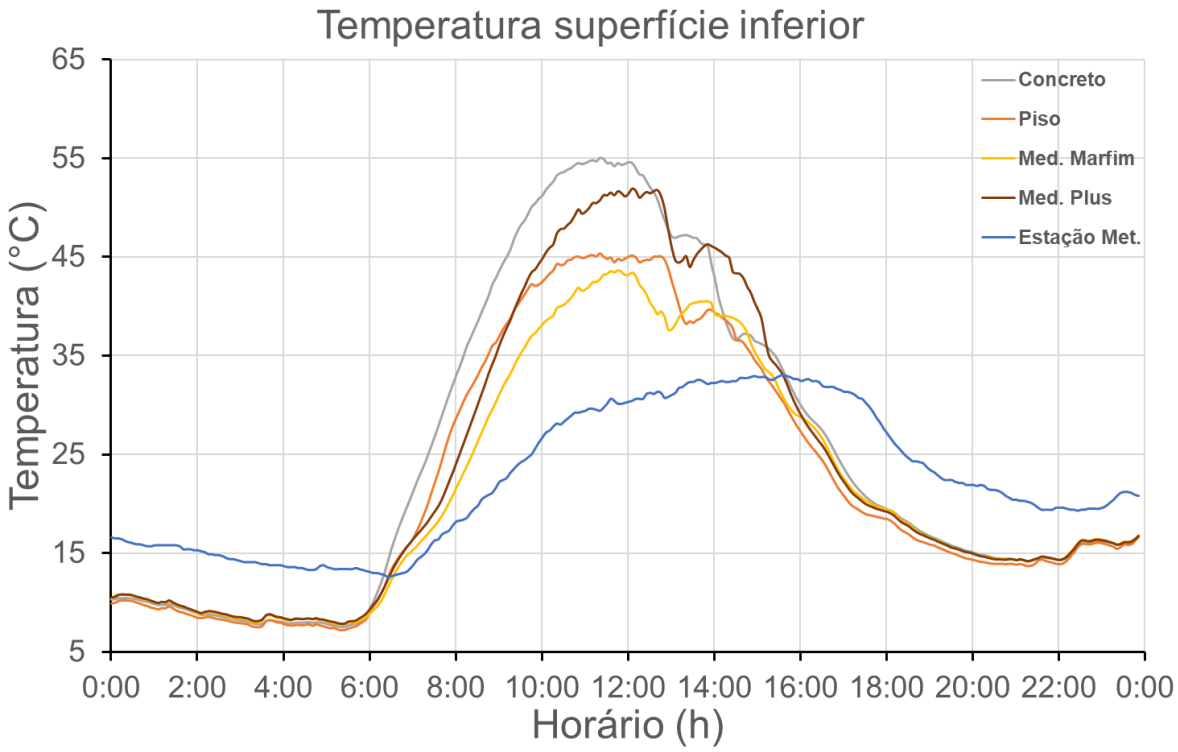


Figura 49 - Temperaturas das superfícies inferiores das telhas ao longo do dia 12 de abril de 2021.

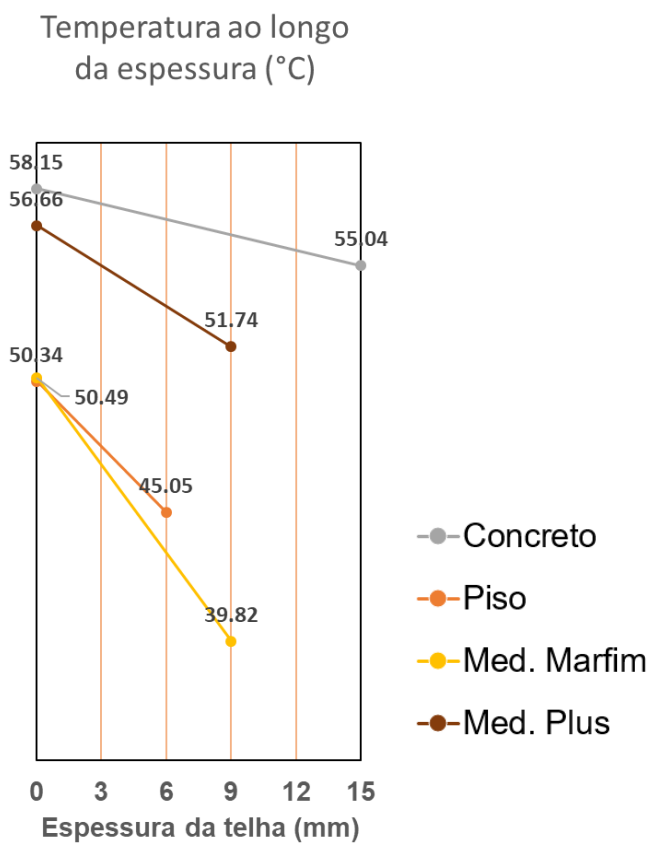


Figura 50 - Diferença entre as temperaturas de superfície superior e inferior das telhas, levando em consideração a espessura da telha no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados, avaliados às 11:20 da manhã no dia 12 de abril de 2021.

4.3.1

Gráficos comparativos entre pares de telhas

Os gráficos da Figura 51 até a Figura 59 mostram os resultados para o evento climático de 12 de abril de 2021 de forma comparativa entre pares de telhas para facilitar a interpretação e análise. Os pares comparados foram definidos como sendo: Telha Concreto *versus* Telha Mediterrânea Plus; Telha Concreto *versus* Telha Mediterrânea Marfim; e Telha Piso *versus* Telha Mediterrânea Marfim.

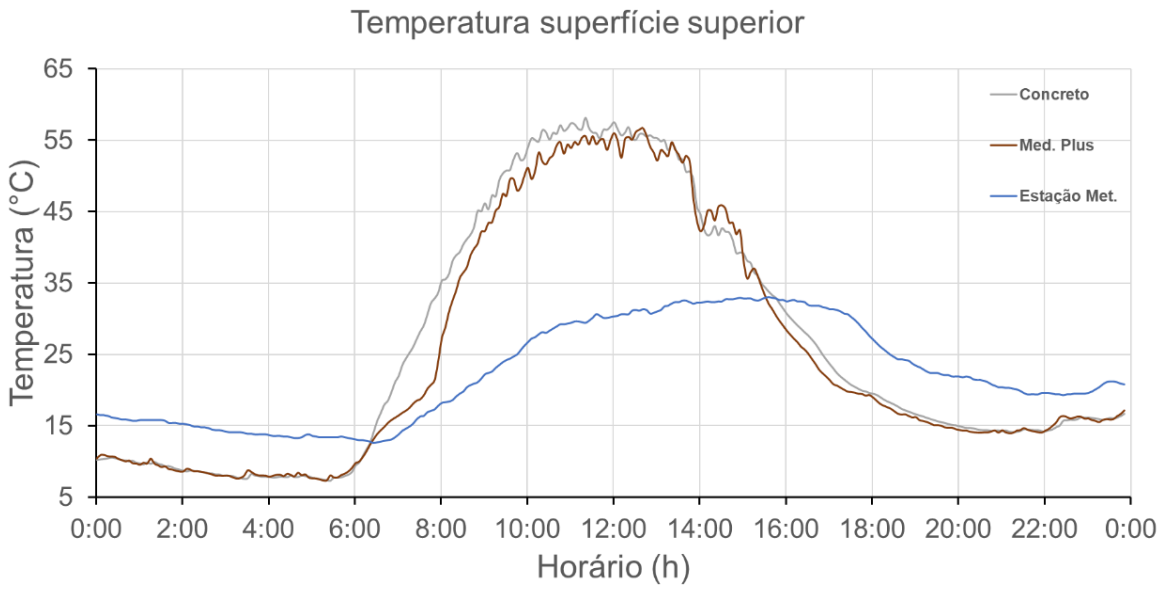


Figura 51 - Temperaturas das superfícies superiores das telhas Concreto e Mediterrânea Plus ao longo do dia 12 de abril de 2021.

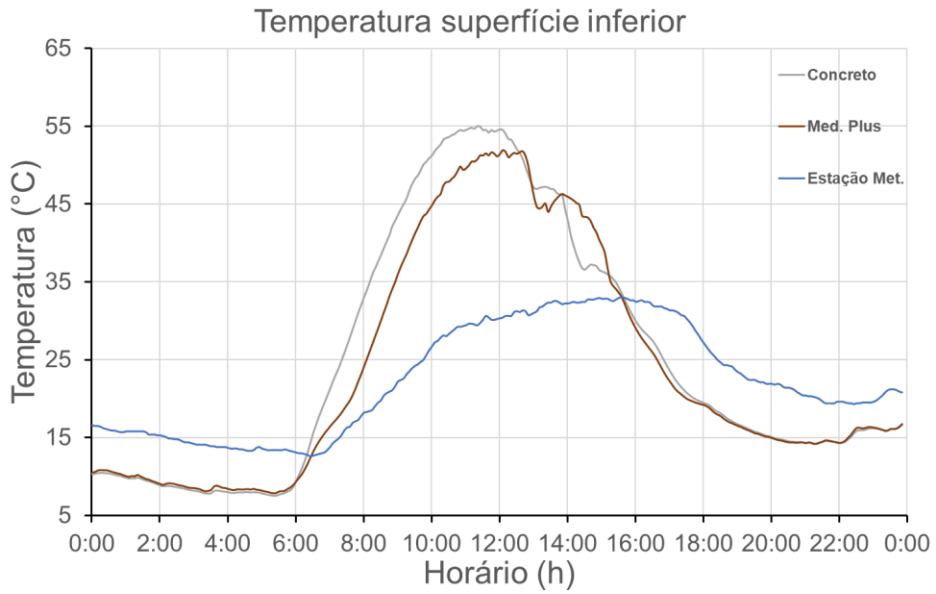


Figura 52 - Temperaturas das superfícies inferiores das telhas Concreto e Mediterrânea Plus ao longo do dia 12 de abril de 2021.

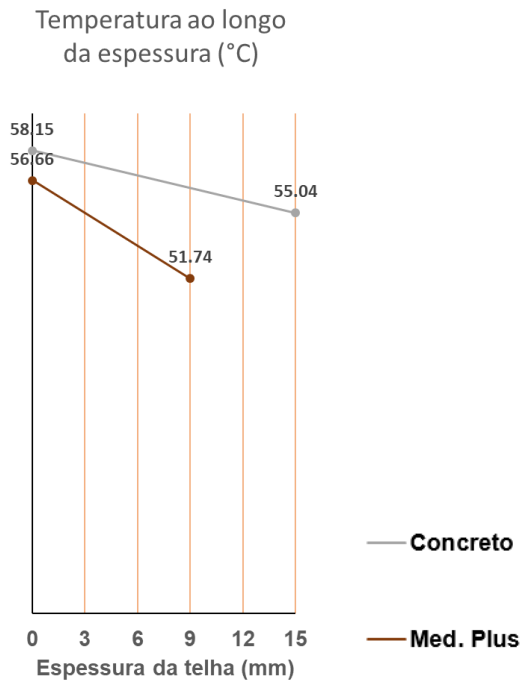


Figura 53 - Diferença entre as temperaturas de superfície superior e inferior das telhas Concreto e Mediterrânea Plus, levando em consideração a espessura da telha no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados, avaliados às 11:20 da manhã no dia 12 de abril de 2021.

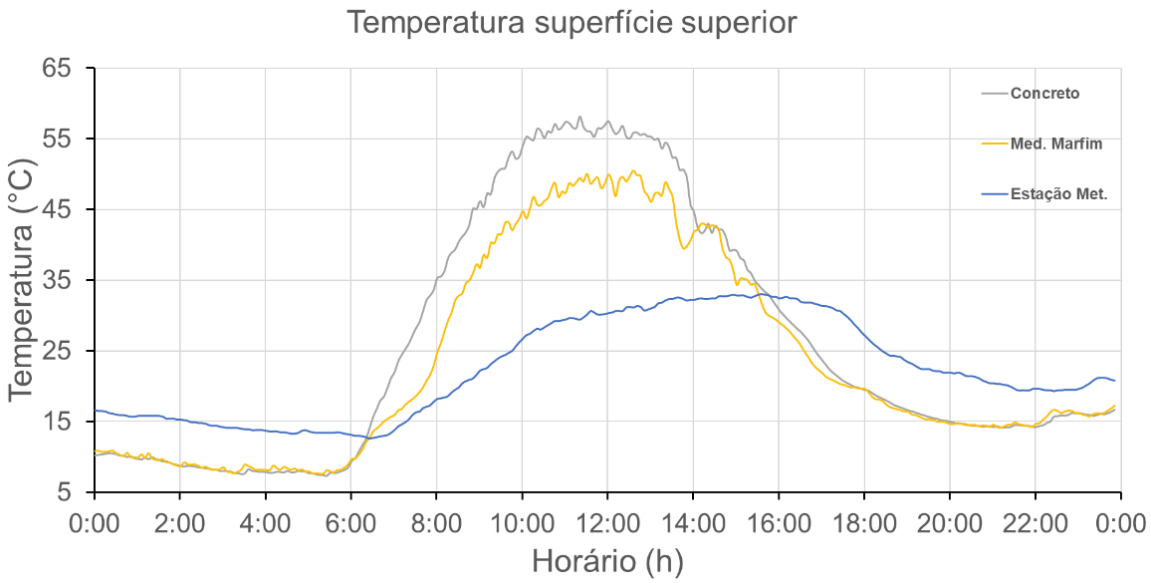


Figura 54 - Temperaturas das superfícies superiores das telhas Concreto e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 12 de abril de 2021.

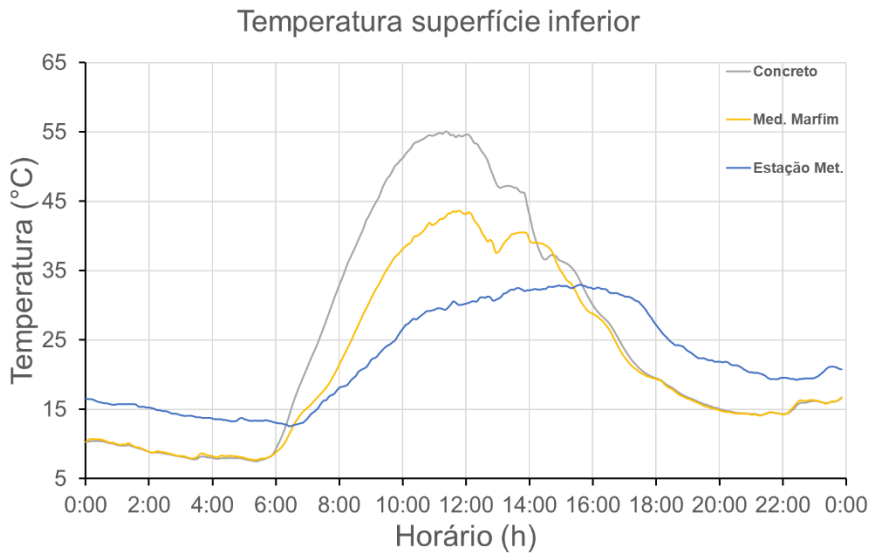


Figura 55 - Temperaturas das superfícies inferiores das telhas Concreto e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 12 de abril de 2021.

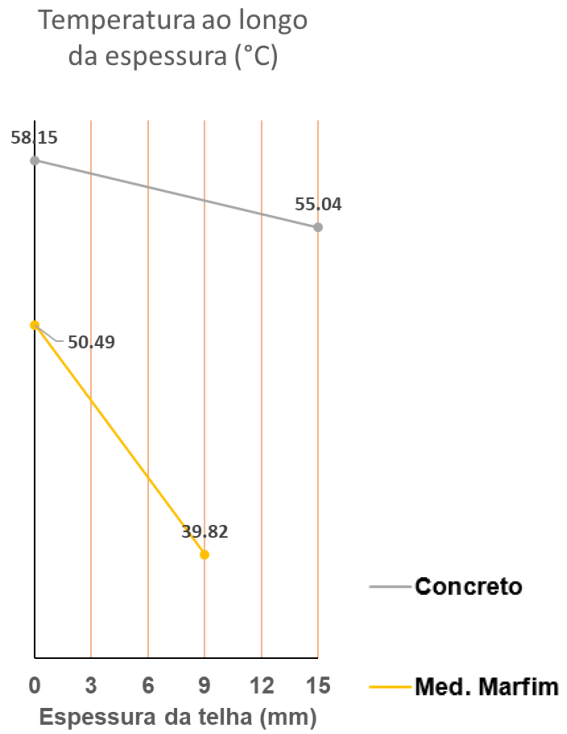


Figura 56 - Diferença entre as temperaturas de superfície superior e inferior das telhas Concreto e Mediterrânea Marfim, levando em consideração a espessura da telha no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados, avaliados às 11:20 da manhã no dia 12 de abril de 2021.

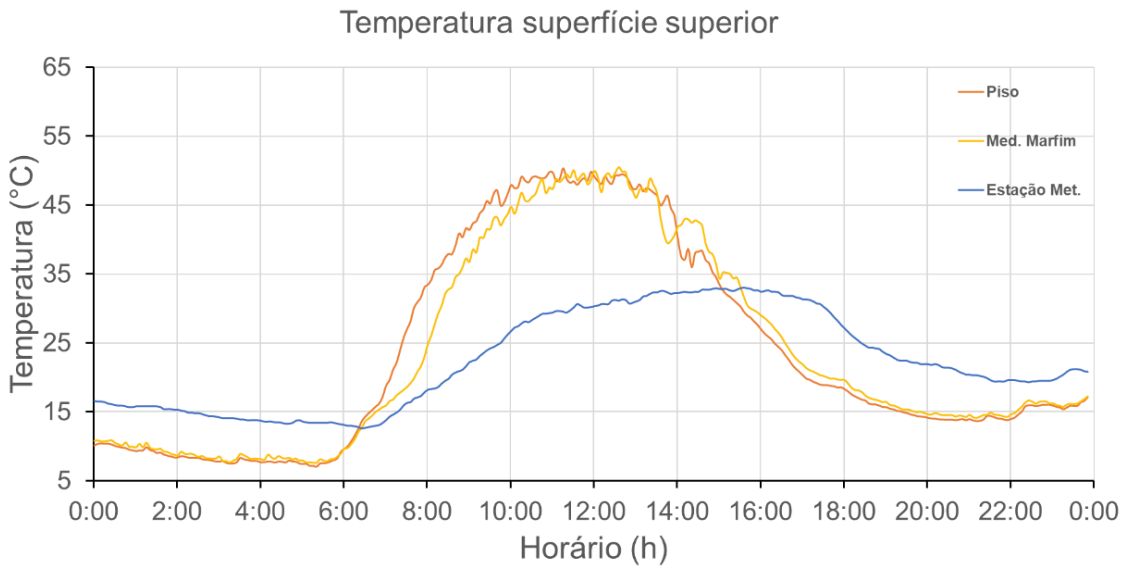


Figura 57 - Temperaturas das superfícies superiores das telhas Piso e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 12 de abril de 2021.

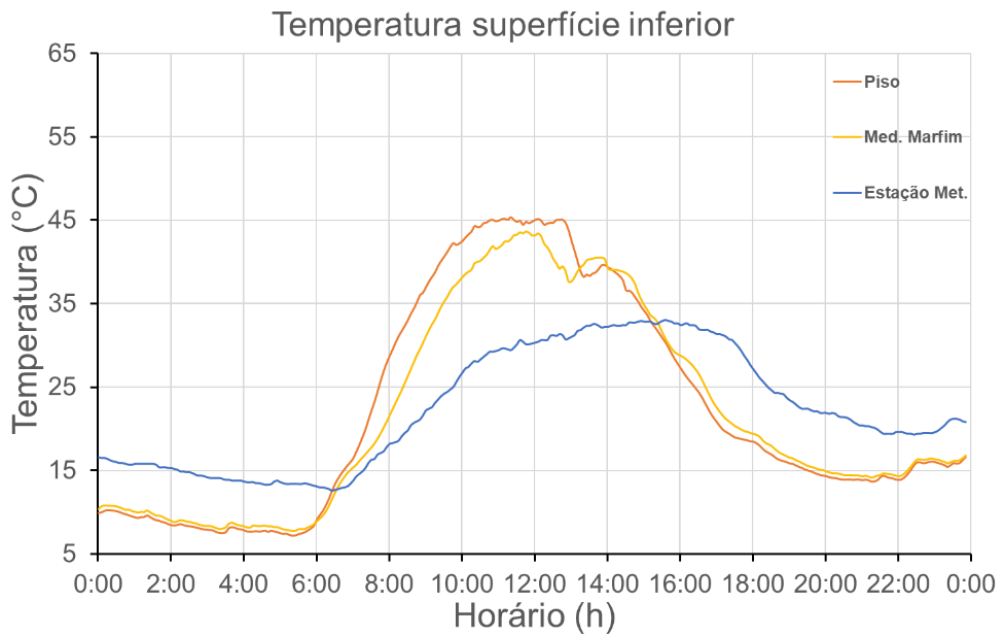


Figura 58 - Temperaturas das superfícies inferiores das telhas Piso e Mediterrânea Marfim ao longo do dia 12 de abril de 2021.

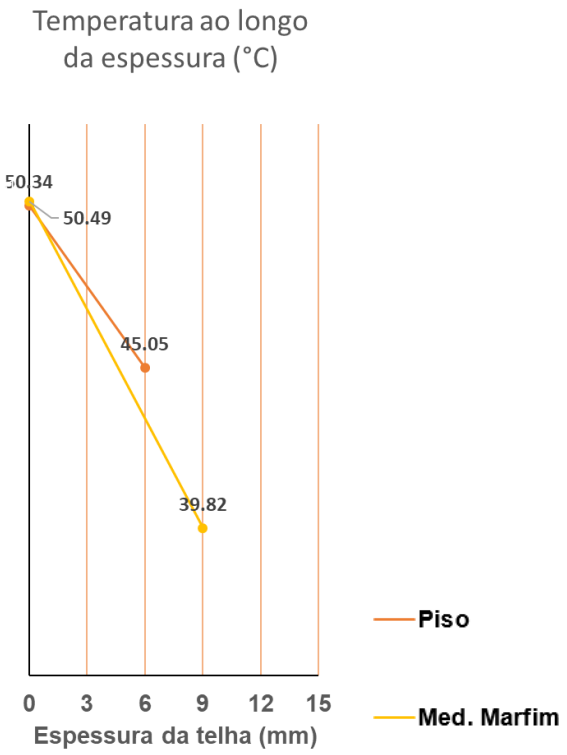


Figura 59 - Diferença entre as temperaturas de superfície superior e inferior das telhas Piso e Mediterrânea Marfim, levando em consideração a espessura da telha no ponto onde os sensores de temperatura foram alocados, avaliados às 11:20 da manhã no dia 12 de abril de 2021.

4.4 Colorimetria

A Figura 60 mostra as posições das coordenadas de cor (a* e b*) no espaço de cor CIELAB das superfícies das telhas. As setas indicam as mudanças de cor ocorridas ao longo de 7 meses (fevereiro a agosto de 2021). A tendência das coordenadas de se posicionarem tendendo para a cor vermelha sugere o acúmulo de poeira avermelhada escura, característica da região de Pirassununga/SP. A Figura 61 mostra a componente de luminosidade (L*) das superfícies superiores das telhas. É observado o escurecimento ao longo dos 7 meses de exposição, indicado pela seta. A Figura 62 mostra a evolução das diferenças totais de cor (ΔE), calculadas pela Eq. 1 em relação ao primeiro mês. É observado a tendência de mudança de cor predominante nas telhas de cor clara (Telha tipo Piso cor Marfim e telha TOPTELHA Mediterrânea Marfim). A ocorrência de poeira avermelhada escura impõe uma influência maior nestas telhas claras em relação às de cor mais escura. A telha TOPTELHA

Mediterrânea Terracota Plus, por já possuir uma coloração avermelhada devido à cerâmica vermelha utilizada em sua fabricação, foi a telha que apresentou menor diferença de cor total.

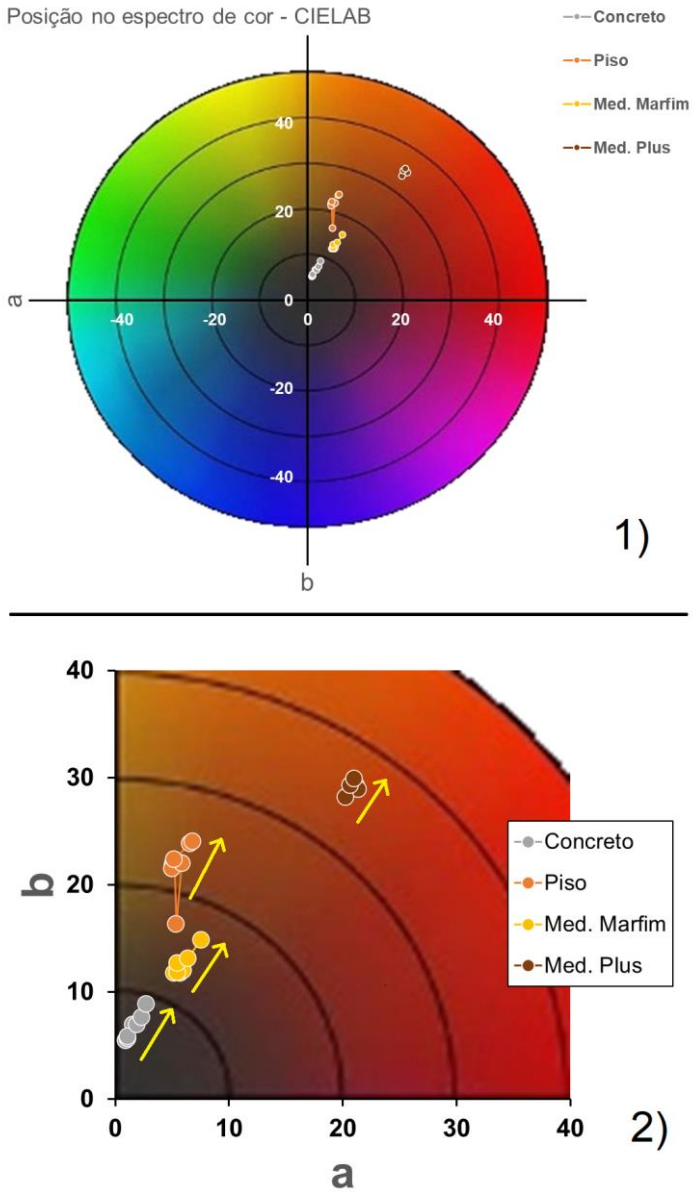


Figura 60 – 1) Posições das coordenadas de cor a* e b* no espaço de cor CIELAB das superfícies das telhas. 2) Ampliação da região onde se encontram os pontos. As setas indicam as mudanças de cor ocorridas ao longo de 7 meses (fevereiro a agosto de 2021).

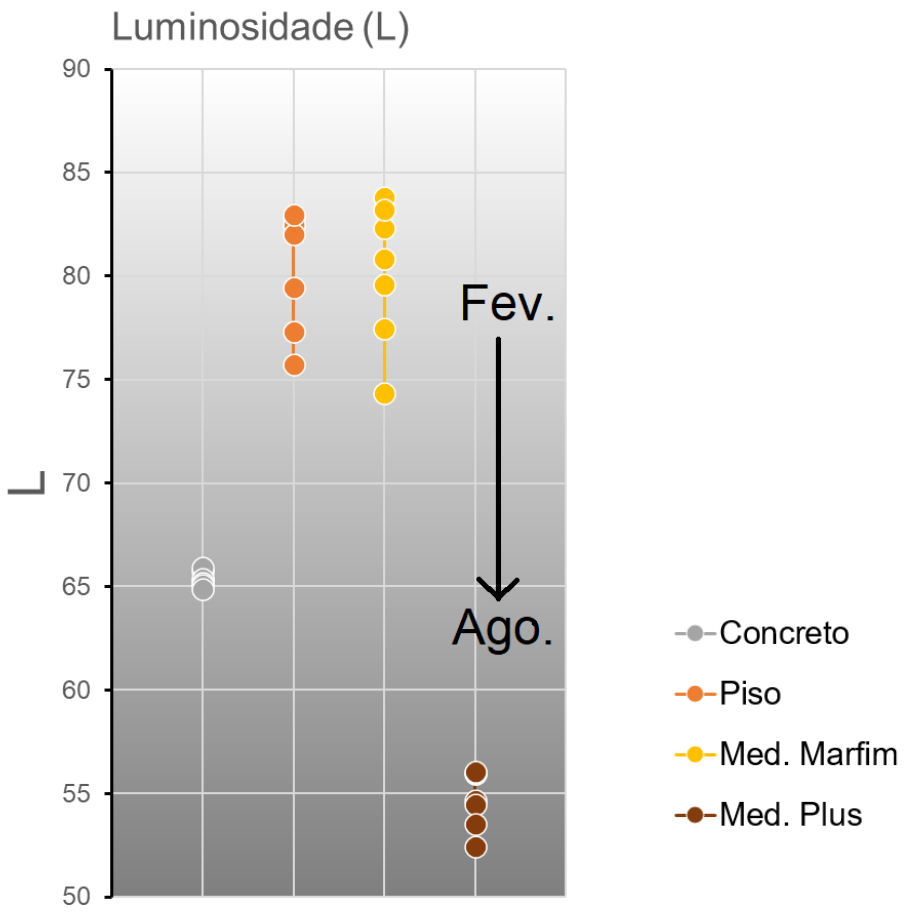


Figura 61 – Componente luminosidade L* das superfícies das telhas avaliadas ao longo de 7 meses (fevereiro a agosto de 2021).

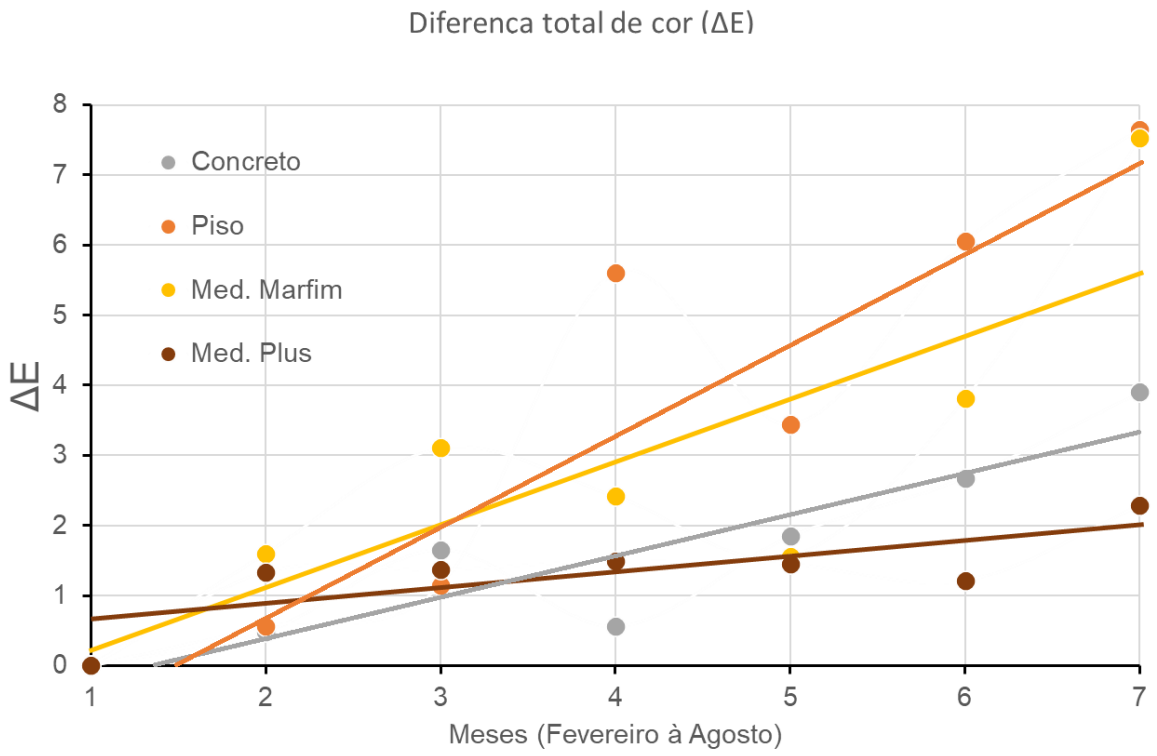


Figura 62 – Evolução das diferenças totais de cor (ΔE) ao longo dos meses em relação ao primeiro mês mostradas por linhas de tendência.

4.4.1 Gráficos comparativos entre pares de telhas

Os gráficos da Figura 63 até a Figura 68 mostram os resultados de colorimetria de forma comparativa entre pares de telhas para facilitar a interpretação e análise. Os pares comparados foram definidos como sendo: Telha Concreto *versus* Telha Mediterrânea Plus; Telha Concreto *versus* Telha Mediterrânea Marfim; e Telha Piso *versus* Telha Mediterrânea Marfim.

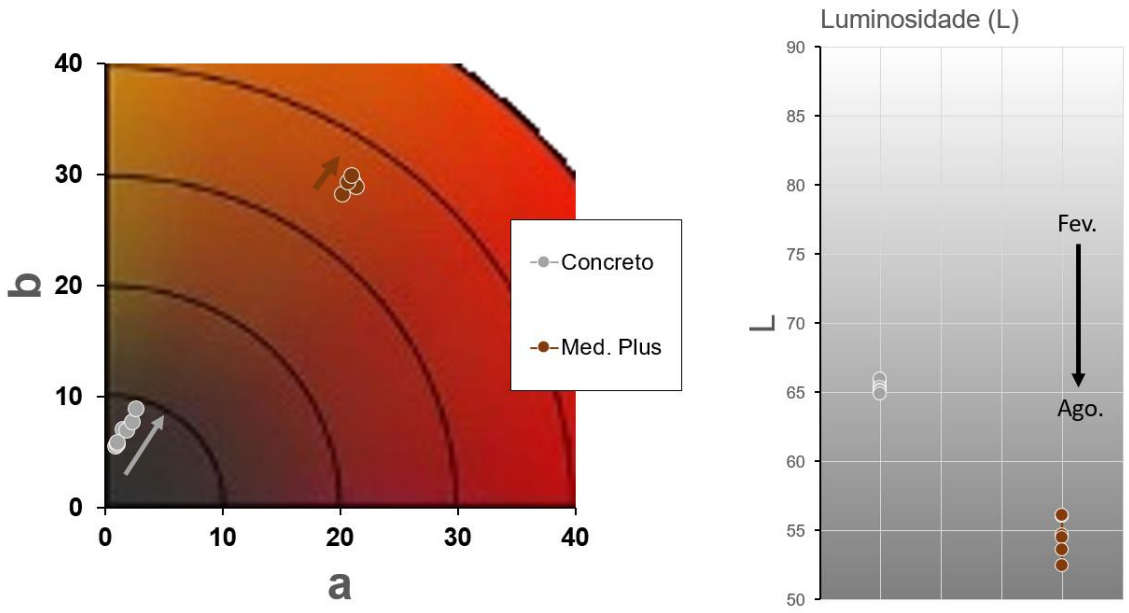


Figura 63 - Posições das coordenadas de cor a* e b* e de Luminosidade (L) no espaço de cor CIELAB das superfícies das telhas Concreto e Mediterrânea Plus. As setas indicam as mudanças de cor ocorridas ao longo de 7 meses (fevereiro a agosto de 2021).

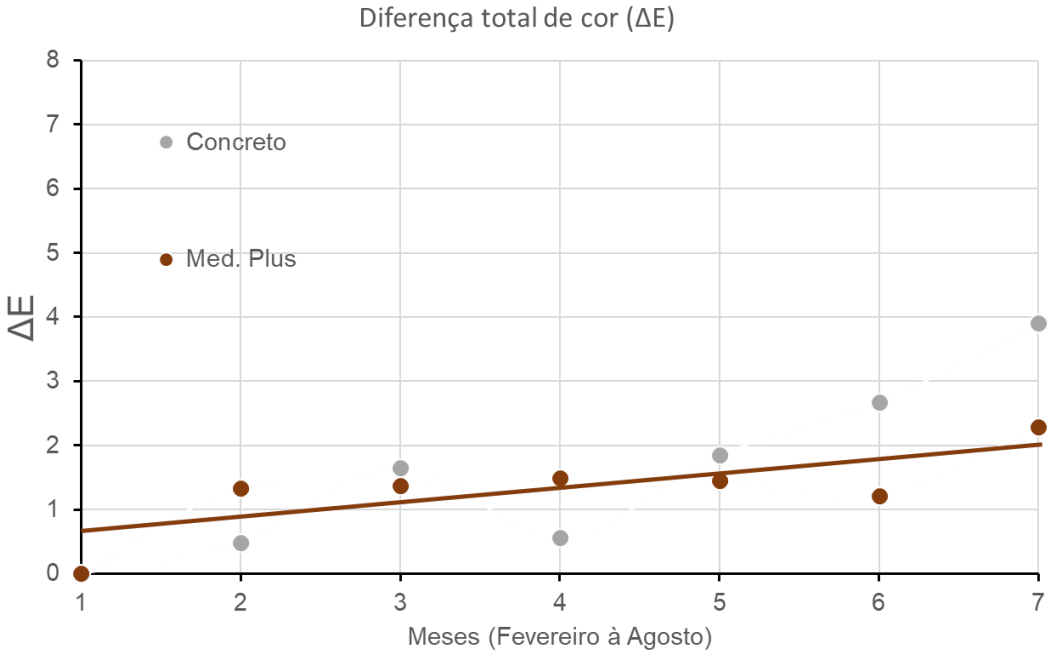


Figura 64 - Evolução das diferenças totais de cor (ΔE) das telhas Concreto e Mediterrânea Plus ao longo dos meses em relação ao primeiro mês mostradas por linhas de tendência.

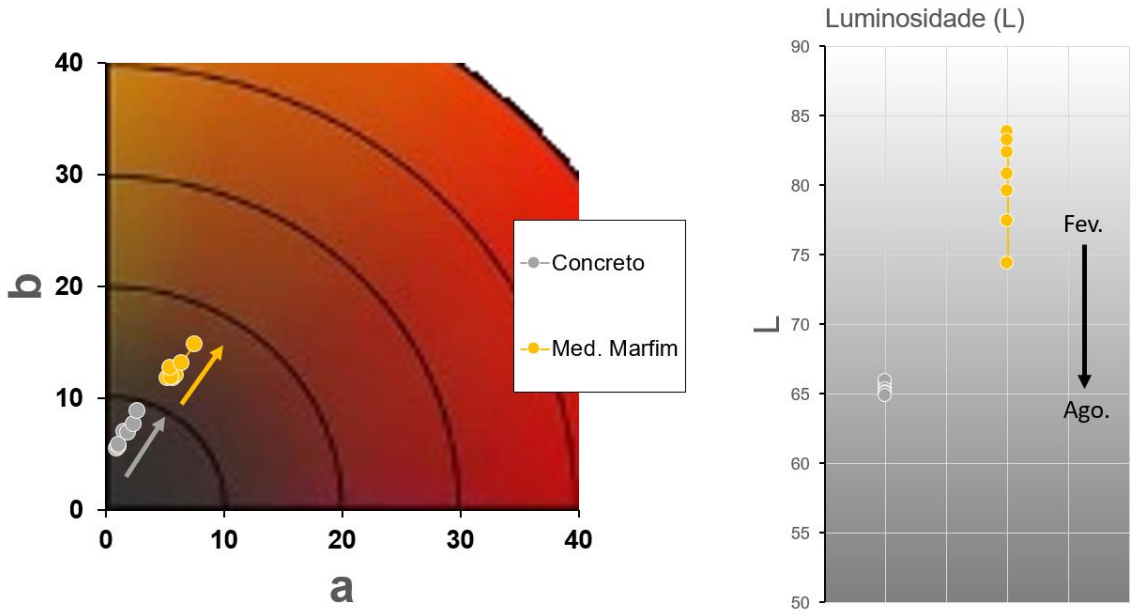


Figura 65 - Posições das coordenadas de cor a* e b* e de Luminosidade (L) no espaço de cor CIELAB das superfícies das telhas Concreto e Mediterrânea Marfim. As setas indicam as mudanças de cor ocorridas ao longo de 7 meses (fevereiro a agosto de 2021).

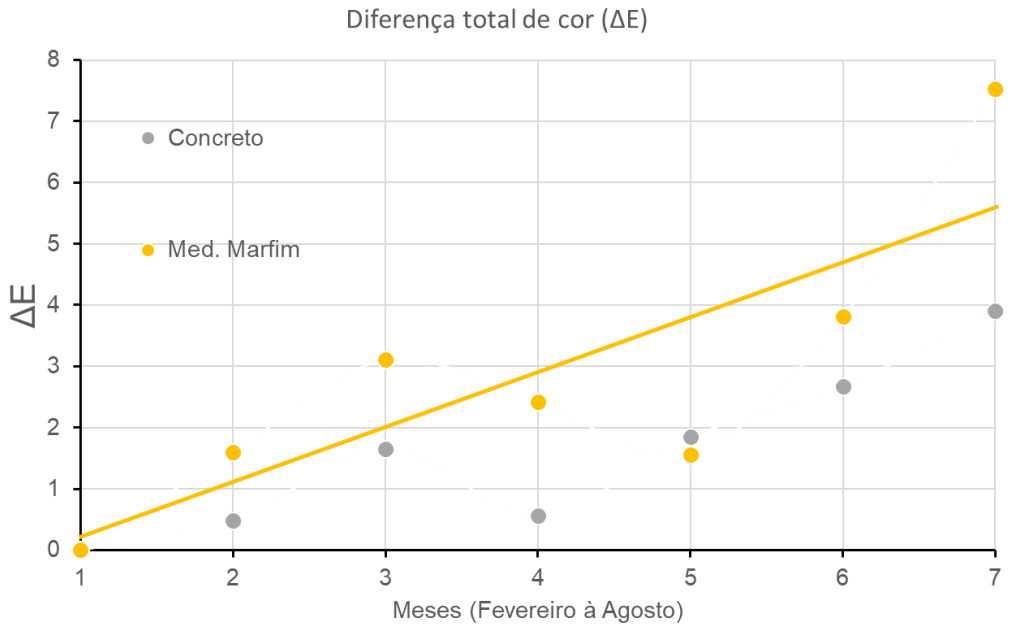


Figura 66 - Evolução das diferenças totais de cor (ΔE) das telhas Concreto e Mediterrânea Marfim ao longo dos meses em relação ao primeiro mês mostradas por linhas de tendência.

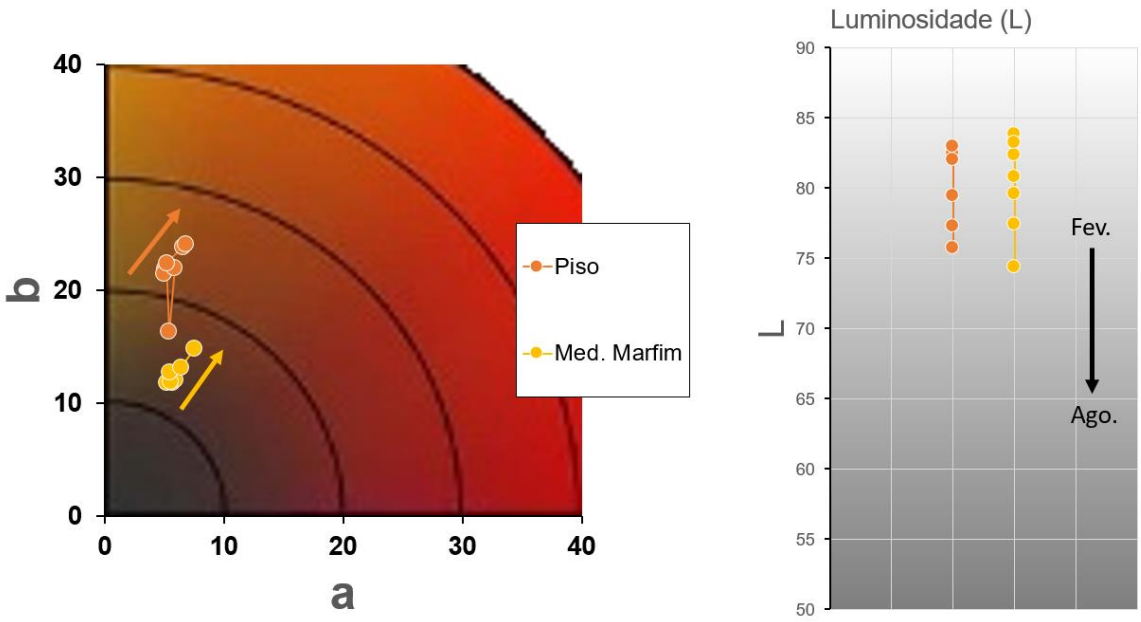


Figura 67 - Posições das coordenadas de cor a* e b* e de Luminosidade (L) no espaço de cor CIELAB das superfícies das telhas Piso e Mediterrânea Marfim. As setas indicam as mudanças de cor ocorridas ao longo de 7 meses (fevereiro a agosto de 2021).

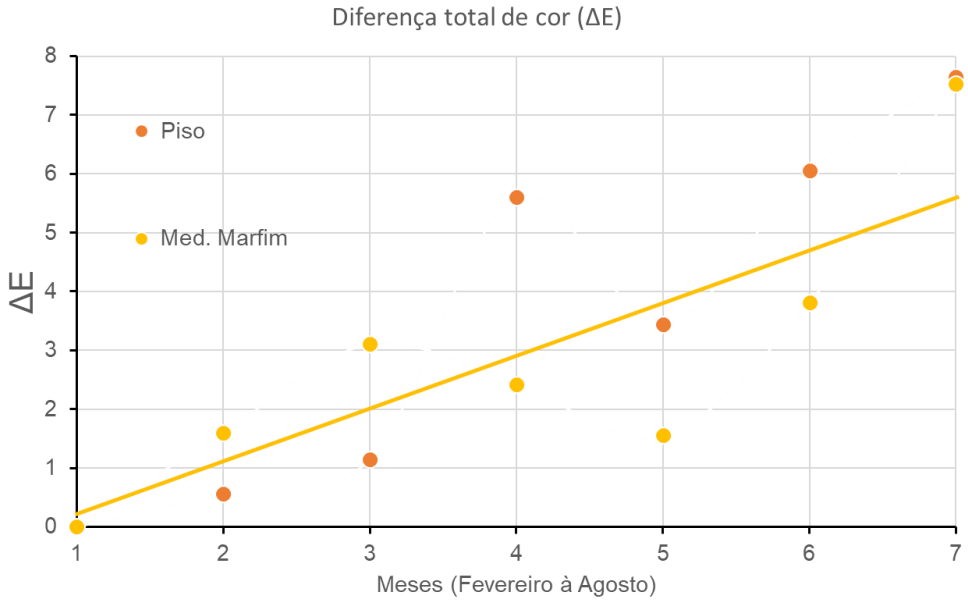


Figura 68 - Evolução das diferenças totais de cor (ΔE) das telhas Piso e Mediterrânea Marfim ao longo dos meses em relação ao primeiro mês mostradas por linhas de tendência.

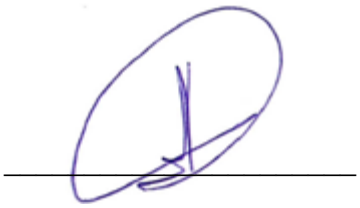
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios e as análises de desempenho térmico de telhas cerâmicas abordadas neste relatório foram todos realizados adequadamente, permitindo-se assim uma análise dos resultados de forma ampla ou específica para cada tipo de telha. A telha de concreto apresentou maiores temperaturas em suas superfícies e taxas de aquecimento sob forte insolação em relação as demais telhas enquanto a telha TOPTELHA Mediterrânea Marfim apresentou as menores temperaturas de superfície e taxas de aquecimento em relação as demais em todos os eventos climáticos analisados.

As análises de cor mostraram tendências de maiores diferenças de cor para as telhas de cor clara (Marfim) pela ocorrência de poeira avermelhada na região de Pirassununga/SP, onde foram realizadas as avaliações. No entanto, as telhas poderiam ter apresentado outro desempenho se expostas a outros tipos de condições, como exemplo a poeira escura (fuligem) que ocorre nas grandes cidades ou então se expostas em regiões cuja ocorrência pluviométrica seja maior ao longo do ano.

Este grupo do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Materiais para Biossistemas da USP Pirassununga permanece à disposição para os esclarecimentos ou complementações que se façam necessários para os propósitos que couberem a este documento.

Pirassununga, 28 de fevereiro de 2022



Prof. Holmer Savastano Jr.

Núcleo de Apoio à Pesquisa em Materiais para Biossistemas da Universidade de São Paulo – Campus Pirassununga/SP

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MENDONÇA, M.M.; BARCA, O.G.; ANDREASI, W.A. Análise do desempenho térmico de telhas produzidas de resíduo de construção e demolição. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 2010, Canela/RS.

CTB. Colorimetria. https://www.ctborracha.com/colorimetria/ Acesso em: 20 de setembro de 2021.

SUTO. Calculadora de ponto de umidade/orvalho. https://www.suto-itec.com/pt/calculadora-de-umidade/ Acesso em: 20 de setembro de 2021.