

DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS DE FIBROCIMENTO EM ESTADO NATURAL E SUBMETIDAS A PINTURA DE COR BRANCA

Celio Dias Pereira

*Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(celiodias2@gmail.com)*

Wanderson Ferreira Siqueira

*Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(engenheirowfs@gmail.com)*

Leandro Daniel Porfiro

*Professor Doutor, Licenciatura em Física, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(fisicoleandro@yahoo.com.br)*

Eduardo Martins Toledo

*Professor Mestre, Licenciatura em Física, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(eduardomtoledo@gmail.com)*

RESUMO

O desempenho térmico de uma edificação depende de vários fatores, dentre eles as condições ambientais e os componentes empregados na construção são os maiores responsáveis por proporcionar bom desempenho térmico da edificação e consequentemente proporcionar conforto térmico aos seus usuários. Entre os componentes de uma edificação as telhas e as tintas são elementos que tem significativa importância no desempenho térmico, fato devido a sua intensa exposição à radiação solar e a sua capacidade de absorver ou refletir a radiação solar. Nesse sentido avaliou-se o desempenho térmico de coberturas de fibrocimento em estado natural e submetidas a pintura de cor branca com tinta látex PVA e refletiva. Através de um ensaio experimental, por meio do método de medições de temperatura *in loco* utilizando o modelo de células teste e de sistema de monitoramento e coleta de dados que utiliza placa Arduino e sensores de temperatura. Ficou evidente que a temperatura interna da célula com cobertura em estado natural mostrou-se superior em relação as que foram pintadas. As temperaturas da célula pintada com tinta branca látex PVA e refletiva não tiveram variações significativas, possuindo comportamento e desempenho térmico semelhante. Conclui-se que o tratamento com pintura branca melhora o desempenho térmico da cobertura e independentemente do tipo da tinta (látex PVA ou refletiva) usada na pintura da telha de fibrocimento é fator condicionante para diminuir a temperatura e auxiliar no conforto térmico oferecido pela edificação.

PALAVRAS-CHAVE: Conforto. Desempenho. Térmico. Edificação.

1 INTRODUÇÃO

A temperatura interna de uma edificação é diretamente influenciada por variáveis internas como a carga térmica proveniente da iluminação artificial e de equipamentos e variáveis externas provenientes do clima: umidade e temperatura. A edificação tem a propriedade de atuar como regulador e controlador dessas variáveis através de sua envoltória, devendo ser projetada de modo a propiciar segurança, conforto, durabilidade e eficiência energética, que somente serão alcançados com uso de técnicas construtivas e materiais adequados (CASTRO, 2006).

Em uma edificação, o consumo de energia elétrica com sistemas de refrigeração pode ser reduzido limitando-se o ganho de calor através de sua envoltória Dornelles, (2008). Esse ganho de calor depende de alguns fatores, como: a radiação solar incidente, a absorvância da superfície exposta a radiação solar, por sua vez esses fatores estão associados as cores das superfícies dos componentes da envoltória

Além de buscar uma redução do consumo energético, enfatiza-se a importância do conforto térmico em edificações, o qual está diretamente atrelado ao tipo do material empregado nas construções e ao desempenho térmico deste. Em edificações que apresentam boas soluções relacionadas ao conforto térmico passivo há possibilidade de redução no consumo de energia elétrica, além de oferecer conforto térmico aos usuários. Soluções que propiciem melhorar o desempenho energético de uma edificação e atenuem os desconfortos térmicos poderão contribuir para diminuição nos gastos com eletricidade de uso residencial e industrial e evitar possíveis crises energéticas.

2 METODOLOGIA E JUSTIFICATIVA

A metodologia empregada no presente trabalho será baseada primeiramente em uma revisão bibliográfica sobre o assunto, posteriormente faz-se um estudo comparativo entre o desempenho térmico em coberturas de fibrocimento em estado natural e submetidas a pintura de cor branca. Para tanto é proposto um ensaio experimental com a construção de um sistema de monitoramento de temperatura com uso de Arduíno e sensores, e também a construção de células teste de mesma geometria e empregando-se os mesmos tipos de materiais, exceto a tinta a ser usada na pintura das telhas.

Na tentativa de melhoras o desempenho térmico nas edificações e assim proporcionar conforto térmico aos usuários (para que possam desempenhar plenamente suas atividades sem desconfortos) e ainda reduzir o consumo de energia elétrica é que propomos este estudo experimental para avaliar o conforto térmico e o desempenho térmico da telha de fibrocimento em estado natural e quando submetida a pintura de cor branca com emprego de tinta refletiva e de tinta látex PVA.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 DESEMPENHO TÉRMICO

De acordo com Peralta (2006) o desempenho térmico dos materiais componentes de uma edificação depende da parcela de radiação solar incidente, bem como das propriedades das superfícies atingidas por essa radiação.

Para Batista e Lamberts(2010), através da avaliação do comportamento térmico dos materiais que compõem uma edificação é determinado então seu desempenho térmico.

Por sua vez este influi diretamente no conforto térmico do usuário, propiciando ou não condições térmicas que favoreçam a execução de atividades rotineiras do cotidiano.

Podemos então caracterizar o desempenho térmico como sendo uma resposta do comportamento térmico dos materiais, que por sua vez é caracterizado pela resposta física dos componentes da edificação, sendo a cobertura a contribuição majoritária, justificada pela sua intensa exposição a radiação solar. E dessa forma o desempenho térmico repercute diretamente no conforto térmico do usuário.

3.2 CONFORTO TÉRMICO

Define-se o conforto térmico como sendo o estado mental que expressa a satisfação do ser humano com o ambiente térmico que o circunda (LAMBERTS et al., 2005).

De acordo com Ferreira (2016) o conforto térmico relaciona-se de forma direta com a sensação térmica (frio, calor, fresco, morna e quente), a sensação térmica na qual o ser humano se sente confortável é função do metabolismo e do ritmo das trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente.

O conforto do corpo humano depende principalmente de três fatores, temperatura, umidade relativa e movimento do ar. A temperatura é o mais importante índice de conforto. (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

3.3 TROCAS TÉRMICAS

As trocas térmicas também são chamadas de transferência de calor. Costa (1991) conceitua a transferência de calor como um conjunto de fenômenos que ocorre quando existe uma diferença de temperatura entre duas regiões do espaço, esta diferença tende a desaparecer espontaneamente pela passagem de calor de uma região para outra. Conforme a segunda lei da termodinâmica o fluxo de calor ocorre sempre da maior para a menor temperatura.

A transferência de energia como calor, ocorre do meio de maior temperatura para o de menor temperatura e cessa quando os dois meios atingem a mesma temperatura (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

3.3.1 Condução

De acordo com Çengel e Ghajar (2012) a condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para partículas vizinhas adjacentes menos energéticas, como resultado da interação entre elas.

A troca térmica por condução pode ocorrer tanto em sólidos como em fluídos, nos sólidos ela acontece devido a combinação das vibrações das moléculas em rede, desta forma a energia é transportada por elétrons livres, nos fluídos as colisões e difusões das moléculas em seus movimentos aleatórios faz com que haja a troca térmica.

O movimento vibratório das moléculas permite uma troca de energia cinética entre elas, onde as de maior temperatura cedem por choque energia às de menor temperatura

Segundo Costa (1991) a condução é a passagem de calor de uma zona para outra de um mesmo corpo ou de corpos diversos quando estes estão em contato, esse processo se deve ao movimento molecular dos mesmos, sem que hajam deslocamentos materiais no corpo ou sistema considerado.

A taxa de condução de calor por um meio depende sobretudo da geometria, da espessura e tipo do material e da diferença de temperatura em que o meio está inserido. (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

3.3.2 Convecção

A convecção é a maneira de transferência de energia entre a superfície sólida e a superfície de um fluido adjacente que está em movimento, envolvendo os efeitos combinados de condução e movimento do fluido. (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

Costa (1991) considera a convecção como sendo a passagem de calor de uma zona a outra de um fluido devido ao efeito de movimento relativo das partículas do mesmo. A diferença de pressão ocasionada pela diferença de temperatura e consequente diferença de densidade da massa fluída provocam esse movimento relativo das partículas.

A ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento de massa são fatores determinantes do processo de transporte de energia chamado de convecção. A convecção pode ser de dois tipos, segundo Givone (1998), convecção natural e convecção forçada. E ocorrem quando o ar, depois de entrar em contato com uma superfície aquecida, se expande e sobe, ou após entrar em contato com uma superfície mais fria, perde calor, o ar então é resfriado ficando mais denso e desce.

De acordo com Çengel e Ghajar (2012) convecção natural ocorre quando o movimento do fluido é causado por forças de flutuação induzidas por diferenças de densidade, devido a variação da temperatura do fluido, e a convecção é dita forçada, quando o fluido é forçado a fluir sobre a superfície através de meios externos, como exemplo podemos citar os aparelhos condicionadores de ar.

Processos naturais de convecção, como por exemplo a convecção atmosférica desempenha um papel de fundamental importância na formação de padrões climáticos globais e também na variação do tempo em curto prazo. (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2009).

3.3.3 Radiação

Todo corpo é dotado de calor, essa energia térmica é transformada em energia radiante através da emissão de ondas eletromagnéticas. Segundo Peralta (2006) os corpos não só emitem radiações infravermelhas como também absorvem tais radiações, que são chamadas de radiações térmicas.

Çengel e Ghajar (2012) consideram a radiação como a energia transmitida pela matéria sob a forma de ondas eletromagnéticas, que resultam das mudanças nas configurações eletrônicas de átomos ou de moléculas. A radiação é considerada um fenômeno volumétrico, no qual todos sólidos e fluídos transmitem ou absorvem radiação em diferentes graus.

Todos os corpos emitem energia calorífica sob a forma de radiação, em quantidade que depende essencialmente da natureza da matéria que o compõe e de sua temperatura, esse fenômeno ocorre entre corpos dotados de temperatura diferente (COSTA, 1991).

3.4 PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS

Uma superfície recebe calor e também o irradia para o meio que o circunda, essa propriedade varia conforme as características térmicas dos materiais. Para a melhoria do desempenho térmico dos materiais faz-se necessário conhecer todos os aspectos que relacionem os materiais construtivos com o clima, para então através das características térmicas e das estratégias climáticas definir o material que atenda as necessidades de segurança e conforto.

As propriedades termofísicas que interferem nas formas de transmissão de calor são: características dos materiais (transparentes e opacos), absorvância, refletância,

emissividade, condutividade térmica, calor específico, resistência térmica e capacidade térmica, (PERALTA, 2006).

3.4.1 Absortância

De acordo NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações - parte 1: definições, símbolos e unidades (ABNT, 2005) a absortância à radiação solar é o quociente entre taxa de radiação absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

Çengel e Ghajar (2012) consideram a absortância como a fração de energia de radiação incidente sobre a superfície que a absorve.

De acordo com Jardim *et al* (2010), em fechamentos opacos de espessura reduzida, como as telhas, no processo de troca de calor a absortância desempenha um papel de maior importância do que a inércia térmica. Para Granja (2002) os efeitos da absortância se reduzem à medida que se aumenta a espessura dos materiais.

Um fator importante no comportamento térmico de determinado material é a rugosidade da superfície deste. Em estudo realizado por Dorneles e Roriz (2007), no qual mediram a rugosidade e absortância de dez amostras pintadas de cor branca. Observaram por meio de análise de regressão e identificaram que o acréscimo de 1 milímetro na rugosidade provoca um acréscimo de 23% na absortância.

3.4.2 Refletância

A refletância à radiação solar de acordo com a NBR 15220 - parte 1 (ABNT, 2005), pode ser expressa como a taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

O comportamento da refletância de um material depende tanto da refletância especular quanto da refletância difusa, a primeira ocorre quando a superfície do material consegue refletir em um mesmo ângulo toda a luz incidente sobre ele, a segunda se deve ao fato da superfície do material refletir a luz incidente em diversos ângulos, devido a rugosidade da superfície.

A refletância de uma cobertura pode ser alterada no decorrer do tempo, devido sua exposição às condições ambientais, sendo indispensável a manutenção periódica para que as propriedades refletivas dos materiais sejam mantidas (IKEMATSU 2007).

Coberturas de edificações com alta refletância à radiação solar tendem a se manterem “frias” quando expostas à radiação solar, transferindo menos calor para o interior da edificação. (LEVINSON *et al.*2005).

3.4.3 Emissividade

A emissividade de uma superfície real não é constante Çengel e Ghajar (2012), pelo contrário, varia com a temperatura da superfície, com o comprimento de onda, e com a direção das radiações emitidas.

Em estudos realizados por Guyot *et al* (1983) *apud* Peralta(2006), os materiais seletivos quentes (exemplo: aço galvanizado novo e cobre tratado), tem dificuldade de perder calor para o meio externo devido à baixa emissividade. Já os materiais seletivos frios (cal, pintura branca, mármore branco) possuem elevada emissividade, razão pela qual perdem calor para o meio rapidamente.

3.4.4 Calor específico e condutividade térmica

O calor específico de uma substância depende, em geral, de duas propriedades independentes: temperatura e pressão. Çengel e Ghajar (2012) definem o calor específico como a energia necessária para aumentar a temperatura em um grau de uma unidade de massa de uma substância.

A condutividade térmica, é uma propriedade específica de cada material, pode ser definida como a característica física de um material, a qual determina a sua capacidade de se deixar atravessar com maior ou menor facilidade por um fluxo de calor. De acordo com a segunda lei da termodinâmica a temperatura sempre flui da maior para a menor temperatura.

De acordo com Rodrigues (1998), a condutividade térmica de um dado material, varia de acordo com algumas de suas propriedades como por exemplo: densidade, temperatura e geometria. Outro fator que influencia na condutividade térmica de um material é a porosidade, de acordo com Effting, Guths e Allarcon (2006) *apud* Jardim (2011), há um decréscimo no valor da condutividade térmica à medida que a porosidade aumenta.

3.4.5 Inércia térmica e carga térmica

A determinação da quantidade total de calor, (extraído ou fornecido) a uma edificação para que a mesma propicie conforto térmico aos usuários é determinada através da carga térmica do ambiente edificado, assim sendo a carga térmica será a soma de todas as energias envolvidas no sistema.

Lambertes *et al.* (1997) considera que os principais fatores que contribuem para a carga térmica de um ambiente construído são: fatores do clima (insolação, umidade e temperatura do ar externo), os fatores humanos (atividades que são desenvolvidas no ambiente e o número de ocupantes), e o fator arquitetônico (aberturas, ventilação, equipamentos e os tipos de fechamento).

A inércia térmica é a capacidade que os materiais tem em reter parte da energia que flui entre suas faces, essa capacidade depende da capacidade térmica do material, este quando possui elevada inércia térmica permite diminuir a amplitude de variação da temperatura no interior das edificações.

3.5 COBERTURAS

As coberturas são partes fundamentais de uma edificação, além de compor esteticamente o ambiente, contribuem com a proteção tanto da edificação, quanto dos usuários no que se refere às condições ambientais adversas. A proteção que a cobertura oferece à edificação e aos usuários depende no entanto das propriedades térmicas dos elementos que a compõem, tais propriedades podem gerar condições internas mais adversas do que as do meio externo.

De acordo com Peralta (2006) a cobertura é responsável pelo acréscimo de considerável parcela da carga térmica devido a sua exposição permanente à radiação solar e a telha é o elemento construtivo mais importante em relação a este ganho de calor.

De acordo com MICHELS (2007), nas edificações horizontais, a maior parte exposta à radiação solar é o telhado, o qual absorve grande parte da energia solar e a transfere para o interior das edificações, aumentando os ganhos térmicos e elevando a temperatura interna.

3.6 TRABALHOS CIENTÍFICOS SOBRE A INFLUÊNCIA DE TINTAS NO DESEMPENHO TÉRMICO

As tintas refletivas trazem em sua formulação, um tipo de resina e pigmentos com capacidade de refletir a radiação infravermelha que contribui para o aquecimento da superfície, diminuindo a temperatura superficial dos materiais e a transferência de calor entre o meio ambiente e a edificação (IKEMATSU *et al* 2006).

As tintas vinílicas também chamadas de látex PVA, possuem de baixa a média lavabilidade, secagem rápida e média cobertura. Seu uso é indicado para reboco, fibrocimento, gesso e sobre superfícies com massa corrida e normalmente é feito nos acabamentos fosco e semi-brilho. (DORNELLES, 2008).

De acordo com Castro *et al* (2003), as tintas refletivas ao serem aplicadas sobre diferentes superfícies, melhoram seu desempenho térmico. Estudos de Synnefa *et al* (2005) feitos com 14 amostras de revestimentos refletivos internacionais, confirmam que as tintas refletivas podem melhorar significativamente o desempenho térmico dos materiais nos quais são aplicados.

Ikematsu (2007), avaliou a refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas convencionais e de tintas refletivas aplicadas em telhas de fibrocimento para coberturas de edificações habitacionais brasileiras.

Dornelles (2008), realizou estudo sobre a absorvância solar em superfícies opacas, com o objetivo de disponibilizar dados de absorvância solar para diversas cores e tipos de tintas, analisou-se o efeito da rugosidade superficial sobre a absorvância solar de amostras pintadas com diferentes cores de tintas, os dados obtidos levaram a indicar que a rugosidade da superfície aumenta linearmente a absorvância das superfícies.

Dornelles *et al* (2011) traz em seu estudo a avaliação do desempenho térmico de tintas brancas com microesferas cerâmicas para uso em coberturas de edifícios. Os resultados demonstraram que pintar a cobertura com tintas brancas de alta refletância solar é um modo muito eficiente de reduzir o desconforto térmico e o consumo de energia.

Teixeira (2013) realizou estudo e análise do desempenho térmico de telhas de fibrocimento tratadas com revestimentos brancos e submetidos à aspersão de água. Os resultados encontrados para a técnica refletiva de acabamento de cor clara comprovaram as expectativas, contudo, os resultados foram otimizados quando a técnica foi associada a aspersão de água.

Souza (2018), em seu estudo de avaliação comparativa da refletância solar de tintas para telhas com uso de pigmento frio (possuem alta refletância solar) e convencional nas cores cinza claro e escuro. Os resultados das avaliações apontaram que as tintas preparadas com pigmentos orgânicos apresentaram baixa refletância solar, enquanto as tintas preparadas com pigmento frio apresentaram maior refletância solar. Concluiu-se que as tintas preparadas com pigmentos frios mesmo apresentando cor escura, resultam em um material adequado para a aplicação em superfície de cobertura como a telha, pois o mesmo tem boa capacidade de reflexão solar e absorve menos calor.

4 ENSAIO EXPERIMENTAL

4.1 CÉLULAS TESTE

Célula teste é uma edificação de pequeno porte construída para fins de ensaios experimentais e possuem características semelhantes a uma edificação real. Para construção das células teste, verificou-se a posição que corresponde ao Norte, posição esta

à qual a inclinação do telhado estará voltada, verificou-se através da observação *in-loco* o local dentro do terreno que está sujeito a maior incidência de raios solares, para que as células fiquem o maior período do dia sujeitas a carga térmica proveniente do sol.

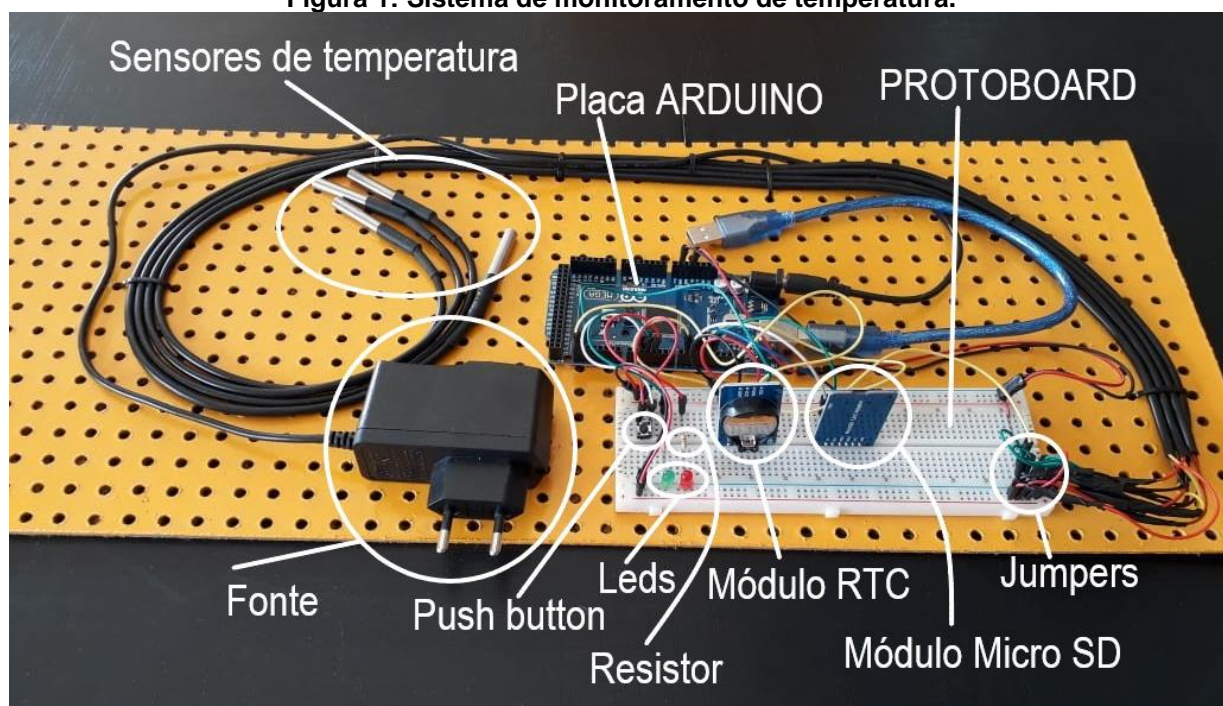
As células teste foram construídas sobre uma base de concreto não armado que serviu de apoio para a alvenaria, além de proteção para o ambiente interno, resguardando-o tanto da umidade quanto da carga térmica natural do terreno. As vedações das células teste foram feitas com blocos cerâmicos e telhas de fibrocimento sem amianto.

A célula teste 1 (CT-1), recebeu pintura em duas demãos, usou-se: tinta látex PVA de cor branca nas paredes, já a superfície externa do telhado foi pintada em duas demãos empregando-se tinta refletiva de cor branca. A célula teste 2 (CT-2), recebeu pintura em duas demãos, usou-se tinta látex PVA de cor branca nas paredes, e também na superfície externa do telhado. A célula teste 3 (CT-3) recebeu pintura em duas demãos com tinta látex PVA de cor branca nas paredes, o telhado não recebeu pintura (ficou em estado natural).

4.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA

O sistema de monitoramento de dados de temperatura é composto pela parte física (*hardware*) e pela parte lógica (*software*), a primeira tem como componentes: placa ARDUINO MEGA (placa de prototipagem eletrônica de *software* livre), *proto-board* (placa de ensaio ou matriz de contato, possui orifícios e conexões condutoras para montagem de circuitos elétricos), SD (cartão de memória e armazenamento de dados), sensores de temperatura (os quais captam a temperatura e através de impulsos elétricos as mesmas são transmitidas para a placa e decodificados), resistores (tem como finalidade transformar energia elétrica em energia térmica e mudar a diferença de potencial elétrico do circuito), módulo de conexão micro SD (responsável pela conexão entre o SD e a *proto-board*), módulo RTC (responsável pelo horário do sistema), *jumpers* (macho-macho e macho-fêmea, usados para conectar a placa ARDUINO a *proto-board*), *push button* (cuja função é ligar e desligar o equipamento) e LED'S, os quais indicam se o equipamento esta ligado, fonte de 5 Volts (atua como regulador de tensão).A figura seguinte mostra o sistema.

Figura 1: Sistema de monitoramento de temperatura.



Fonte: Próprios autores.

A segunda parte (*software*), foi desenvolvida na própria interface de desenvolvimento do ARDUINO, de modo simplificado o sistema quando iniciado aciona os sensores de temperatura, faz o reconhecimento dos mesmos, aciona o módulo RTC, os dados capturados (em um intervalo de tempo definido na programação do sistema) pelos sensores são então mostrados na interface (na janela serial monitor) e armazenados em cartão SD quando o sistema esta conectado a um computador, ou então são somente armazenados em cartão SD (quando o sistema não está conectado a um computador), proporcionando assim autonomia ao sistema

Para validação do sistema, verificou-se a medida de temperatura de cada sensor, confrontando as mesmas com a medida de temperatura de termohigrômetro (INSTRUTEMP, modelo ITHT 2220). Os sensores foram enumerados assim que reconhecidos pelo *software*. As medidas de temperatura foram colhidas de forma simultânea a cada 5 minutos, calculou-se a temperatura média registrada por cada um dos sensores bem como do termohigrômetro, feita análise dos valores obtidos verificou-se que a variação de temperatura entre os sensores de temperatura e o termohigrômetro foi bastante pequena, de forma a não interferir significativamente no resultado final das medidas de temperatura, tornando o sistema valido e confiável.

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA

Após a construção das células teste e validação do sistema de monitoramento, o mesmo foi montado no local de coleta dos dados, para medição da temperatura do ar no interior da célula teste, cada uma foi equipada com um sensor de temperatura, o qual foi instalado no centro geométrico da mesma, sendo o sensor-1 instalado na célula teste 1 (CT-1), sensor-2 instalado na célula teste 2 (CT-2), sensor-3 instalado na célula teste 3 (CT-3), instalou-se próximo das células teste o sensor-4, o qual é responsável por medir a temperatura ambiente do ar (TA). Para o *hardware* foi montado um abrigo, mantendo o mesmo protegido do sol e da umidade, propiciando assim o funcionamento do sistema. A figura seguinte mostra as células e o sistema de coleta de dados finalizados.

Figura 2: Células teste e sistema de coleta de dados finalizados.



Fonte: Próprios autores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Coletou-se os dados por um período de 3 dias consecutivos, entre os dias 01/03/2019 a 03/03/2019, época do ano cuja estação corresponde ao verão. Os dados foram coletados em intervalos de 5 minutos e gravados automaticamente pelo sistema em cartão SD com arquivo de extensão *.TXT, o arquivo foi executado usando o bloco de notas do pacote MICROSOFT OFICE-2013, em seguida usou-se o MICROSOFT EXCEL-2013 para importação dos dados, construindo dessa forma planilhas eletrônicas para o tratamento dos dados.

Fez-se o processamento dos dados coletados com vista a comparar as temperaturas internas entre as células teste, e entre a temperatura ambiente e a temperatura de cada célula teste.

Optou-se por dividir o período a ser analisado em intervalos de 6 horas cada, de tal forma que o período entre 00:00 e 06:00 horas compreende o período da madrugada, entre às 06:00 e 12:00 horas o período da manhã, de 12:00 às 18:00 horas o período da tarde e de 18:00 às 00:00 horas o período da noite.

5.1 PERÍODO DA MADRUGADA

Para o período da madrugada, verificou-se queda da temperatura ambiente (TA), o interior das células teste também apresentaram queda de temperatura.

Na tabela que segue são apresentados os valores de temperatura máxima e mínima para o período analisado bem como a amplitude térmica.

Tabela 1: Temperaturas e amplitude térmica para o período da madrugada

Local	TA	CT-1	CT-2	CT-3
T máxima °C	18,37	19,37	19,56	19,81
T mínima °C	16,69	18,25	18,44	19,62
Amplitude °C	1,68	1,12	1,12	1,19

Fonte: Próprios autores.

Tomando como referência as curvas de temperatura para o período da madrugada (vistas no gráfico seguinte), observou-se que as temperaturas no interior de todas as células se mantiveram superior em relação a temperatura ambiente externa (TA).

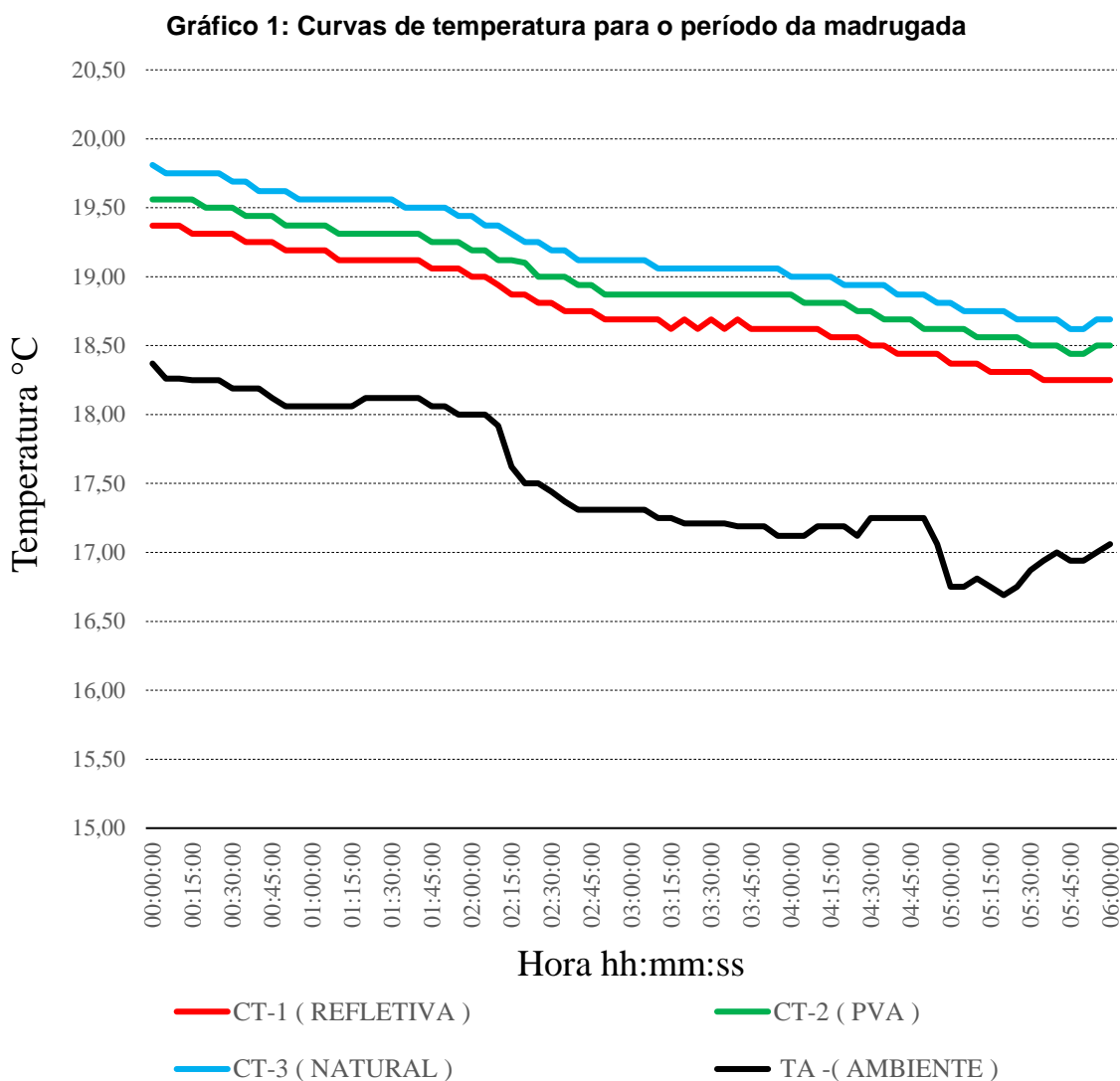
Ainda tendo como referência as curvas de temperatura para o período da madrugada, nota-se que a célula teste (CT-3), apresenta temperatura superior em relação as outras. A célula teste (CT-2) apresenta temperatura superior em relação a célula teste (CT-1) e temperatura menor em relação a célula teste (CT-3). Contudo as diferenças de temperatura entre as células não excede 0,44 °C, que em termos percentuais corresponde a 2,34%.

Notou-se, que para o período da madrugada no horário das 05:00 horas, as diferenças de temperatura foram as maiores para o período.

Em relação a amplitude térmica as células (CT-1) e (CT-2) apresentam os mesmos valores os quais são superiores em apenas 0,07 °C quando comparado com a da (CT-3), assim sendo a resistência térmica oferecida pelo conjunto (telha e tinta) é muito próxima quando comparada com resistência térmica da telha.

Verificou-se também que as três células para o período em questão cumprem bem o seu papel quanto ao quesito de conforto térmico, pois para as menores temperaturas aferidas as células se mantém com temperatura superior a temperatura ambiente.

Apresenta-se a seguir o gráfico de temperatura em função do tempo para o período da madrugada.



Fonte: Próprios autores.

Na tabela seguinte são apresentadas para o período da madrugada de forma percentual as maiores diferenças de temperatura entre células e entre células e ambiente.

Tabela 2: Maiores variações de temperatura para o período da madrugada, entre ambiente e células teste e entre células teste

Ambiente e células	Variação de temperatura (°C)	Variação de temperatura (%)
(TA) e (CT-3)	2,06	12,3
(TA) e (CT-2)	1,87	11,16
(TA) e (CT1)	1,62	6,67
(CT-3) e (CT-2)	0,25	1,26
(CT-3) e (CT-1)	0,44	2,34
(CT-2) e (CT-1)	0,25	1,26

Fonte: Próprios autores.

5.2 PERÍODO DA MANHÃ

Para o período da manhã, verificou-se aumento da temperatura ambiente (TA), as células teste também apresentaram aumento de temperatura.

Na tabela que segue são apresentados os valores de temperatura máxima e mínima para o período analisado bem como a amplitude térmica.

Tabela 3: Temperaturas e amplitude térmica para o período da manhã

Local	TA	CT-1	CT-2	CT-3
T máxima °C	27,19	22,75	22,81	24,50
T mínima °C	17,00	18,25	18,50	18,69
Amplitude °C	10,19	4,50	4,31	5,81

Fonte: Próprios autores.

De acordo com análise do gráfico mostrado adiante, nota-se considerável aumento de temperatura ambiente (TA), a qual no início do período era menor em relação às temperaturas das células teste, mas rapidamente passa a ser superior. Comparando as diferenças de temperatura entre a (TA) e as células teste verificou-se que, a maior temperatura ambiente (TA) foi superior em 4,06°C em relação a (CT-3) e 5,25°C em relação a (CT-2) e 5,32°C quando comparado a (CT-1). Essas diferenças são devidas ao aumento rápido da temperatura ambiente e pela resistência térmica da telha.

As temperaturas das células teste também sofrem aumento de temperatura, contudo menor do que o aumento de temperatura ambiente, nota-se uma proximidade muito grande entre as curvas de temperatura das células teste (CT-1) e (CT-2), essas curvas em certos períodos se sobrepõem.

As diferenças de temperatura entre as células (CT-2) e (CT-1) é bastante pequena, não ultrapassando 0,32°C. Comparando a variação de temperatura entre a célula (CT-2) e (CT-3), verificou-se que a temperatura da (CT-3) foi de 1,69°C maior que a da (CT-2). Quando comparada a diferença de temperatura entre a (CT-3) e a (CT-1), notou-se que a primeira apresentou 1,75°C a mais que a segunda.

O tratamento com a pintura de cor branca esta funcionando como barreira radiante e já se percebe redução da temperatura no interior das células em relação a outra que não teve a telha pintada.

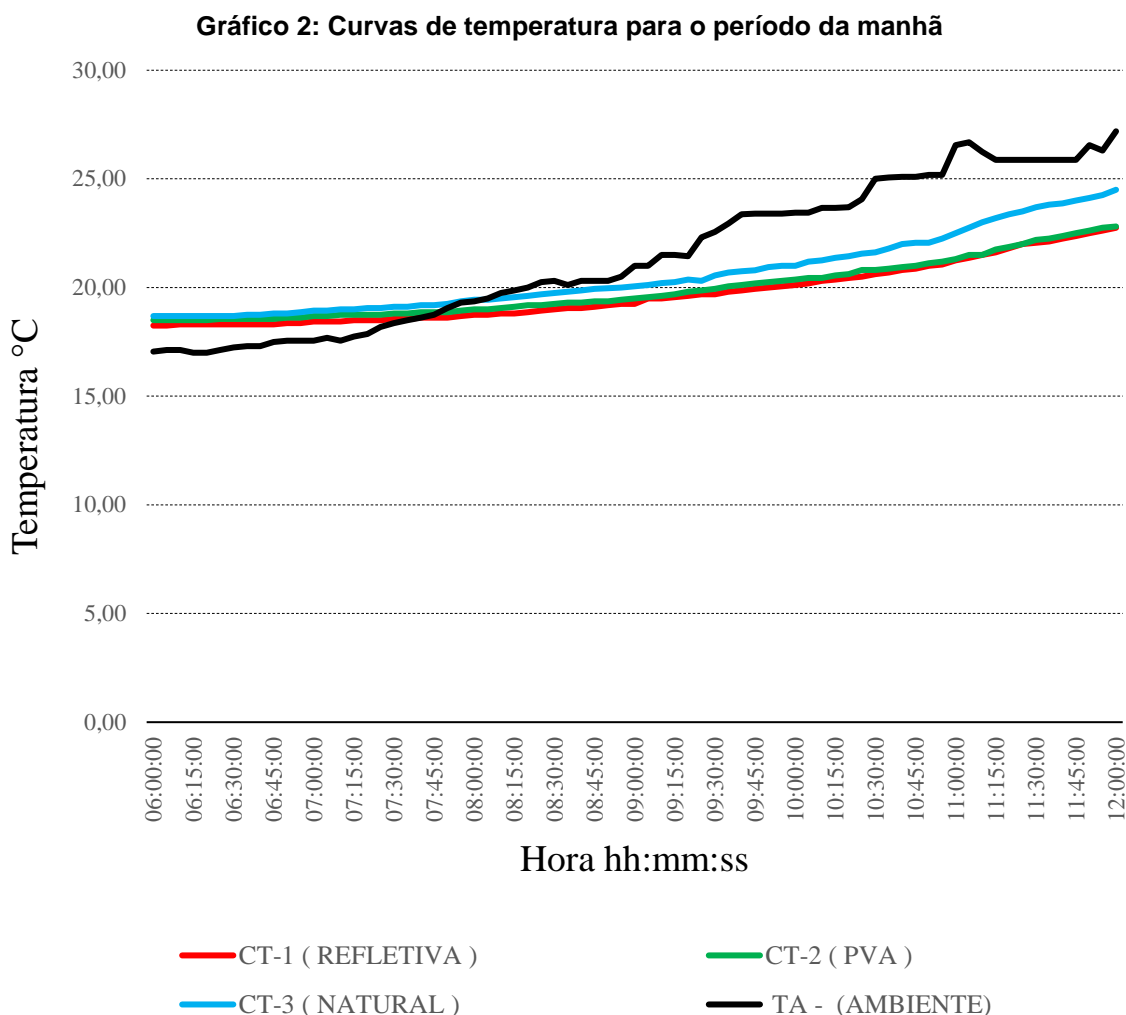
Na tabela 4 são apresentadas para o período da manhã, de forma percentual as maiores diferenças de temperatura entre células e entre células e ambiente.

Tabela 4: Maiores variações de temperatura para o período da manhã, entre ambiente e células teste e entre células teste

Ambiente e células	Variação de temperatura (°C)	Variação de temperatura (%)
(TA) e (CT-3)	4,06	18,00
(TA) e (CT-2)	5,25	24,64
(TA) e (CT1)	5,32	24,89
(CT-3) e (CT-2)	1,69	7,41
(CT-3) e (CT-1)	1,75	7,69
(CT-2) e (CT-1)	0,32	1,69

Fonte: Próprios autores.

O gráfico 2 apresenta a temperatura em função do tempo, para o período da manhã.



5.3 PERÍODO DA TARDE

Para período da tarde, verificou-se aumento da temperatura ambiente (TA) até as 15:30 horas, após esse horário choveu no local provocando assim decrescimento da temperatura ambiente (TA). As células teste também apresentaram aumento de temperatura seguido por um decrescimento. Em relação a amplitude térmica, verificou-se que a amplitude da (TA) foi menor que as das células teste, na comparação de amplitude entre células a (CT-3) teve maior amplitude seguida pela (CT-1), a menor amplitude foi a da célula (CT-2).

Na tabela 5 são apresentados os valores de temperatura máxima e mínima para o período da tarde bem como a amplitude térmica para o período.

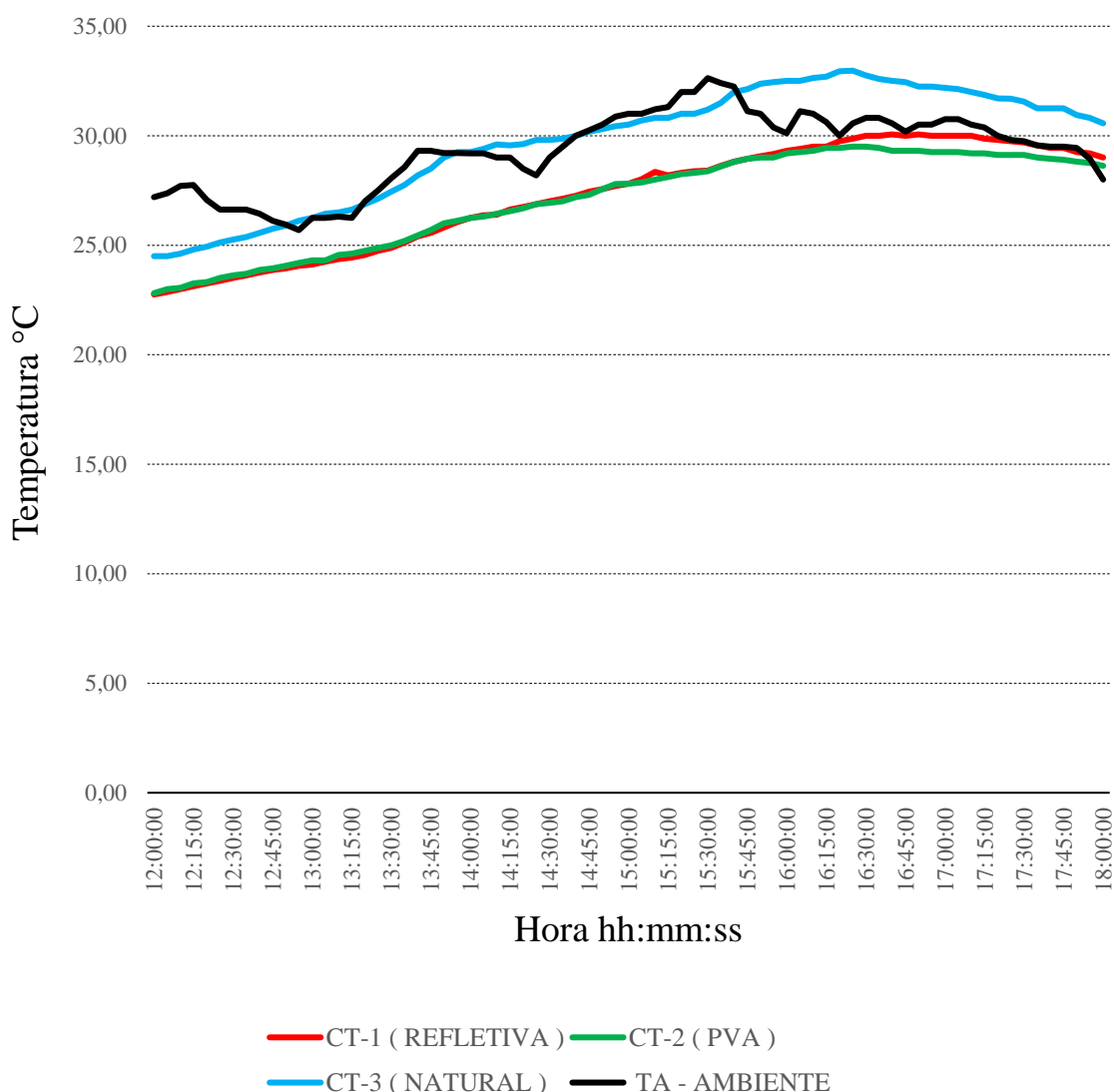
Tabela 5: Temperaturas e amplitude térmica para o período da tarde

Local	TA	CT-1	CT-2	CT-3
T máxima °C	32,63	30,06	29,69	32,97
T mínima °C	25,69	22,75	22,81	24,50
Amplitude °C	6,94	7,31	6,88	8,47

Fonte: Próprios autores.

Apresenta-se a seguir o gráfico de temperatura em função do tempo para o período da tarde.

Gráfico 3: Curvas de temperatura para o período da tarde



Fonte: Próprios autores.

Através da análise do gráfico anterior percebeu-se que há uma grande sinuosidade na curva de temperatura ambiente (TA), o que é explicado pelo fato de que houve nebulosidade e choveu em parte do período. Apesar de haver quebra de continuidade na curva de temperatura ambiente (TA), nota-se que a mesma, quando confrontada com as curvas de temperatura das células (CT-1) e (CT-2) mantém-se acima destas, ou seja a temperatura ambiente (TA) permanece maior que a temperatura das células (CT-1) e (CT-2).

A curva de temperatura ambiente (TA) quando comparada com a curva de temperatura da (CT-3) ora apresenta temperatura superior, ora apresenta temperatura inferior, havendo também pontos onde as temperaturas são iguais. Nesse sentido é válido afirmar que a telha em estado natural não está tendo um bom desempenho térmico no período em questão, pois permite que a temperatura no interior da célula seja maior que no exterior podendo causar desconforto.

Feita a análise comparativa entre as células teste percebe-se nitidamente que a temperatura da célula (CT-3) mantém-se superior em relação às outras, fato perfeitamente justificável pelo não tratamento com pintura na parte superior externa da telha, nessas condições a telha apresenta menor refletância e conseqüentemente absorve mais calor quando comparada às telhas que receberam pintura de cor branca. Já as temperaturas das

células (CT-1) e (CT-2) se mantiveram praticamente no mesmo nível, não havendo diferença significativa até a metade da curva, contudo percebe-se que a temperatura da (CT-2) mantém-se menor do que da (CT-1) no final da tarde (das 15:00 às 18:00) onde a diferença máxima de temperatura entre elas chega a 0,81 °C, na qual a célula (CT-1) está com uma temperatura 2,77% superior a célula (CT-2).

Na tabela seguinte são apresentadas para o período da tarde, de forma percentual as maiores diferenças de temperatura entre células e entre células e ambiente.

Tabela 6 Maiores variações de temperatura para o período da tarde, entre ambiente e células teste e entre células teste

Ambiente e células	Variação de temperatura (°C)	Variação de temperatura (%)
(TA) e (CT-3)	3,08	12,5
(TA) e (CT-2)	4,64	20,12
(TA) e (CT-1)	4,70	20,43
(CT-3) e (CT-2)	3,50	11,89
(CT-3) e (CT-1)	3,32	11,42
(CT-2) e (CT-1)	0,81	2,77

Fonte: Próprios autores.

5.4 PERÍODO DA NOITE

Para o período da noite, verificou-se queda da temperatura ambiente (TA), o mesmo ocorreu para as células teste. Em relação a amplitude térmica, verificou-se que a amplitude da (TA) foi maior que as das células teste, na comparação de amplitude entre células, a (CT-3) teve maior amplitude seguida pela (CT-1), a menor amplitude foi a da célula (CT-2).

Na tabela que segue são apresentados os valores de temperatura máxima e mínima para o período da noite bem como a amplitude térmica correspondente.

Tabela 7: Temperaturas e amplitude térmica para o período da noite

Local	TA	CT-1	CT-2	CT-3
T máxima °C	28,00	29,00	28,62	30,56
T mínima °C	18,62	21,37	21,50	21,87
Amplitude °C	9,38	7,63	7,12	8,69

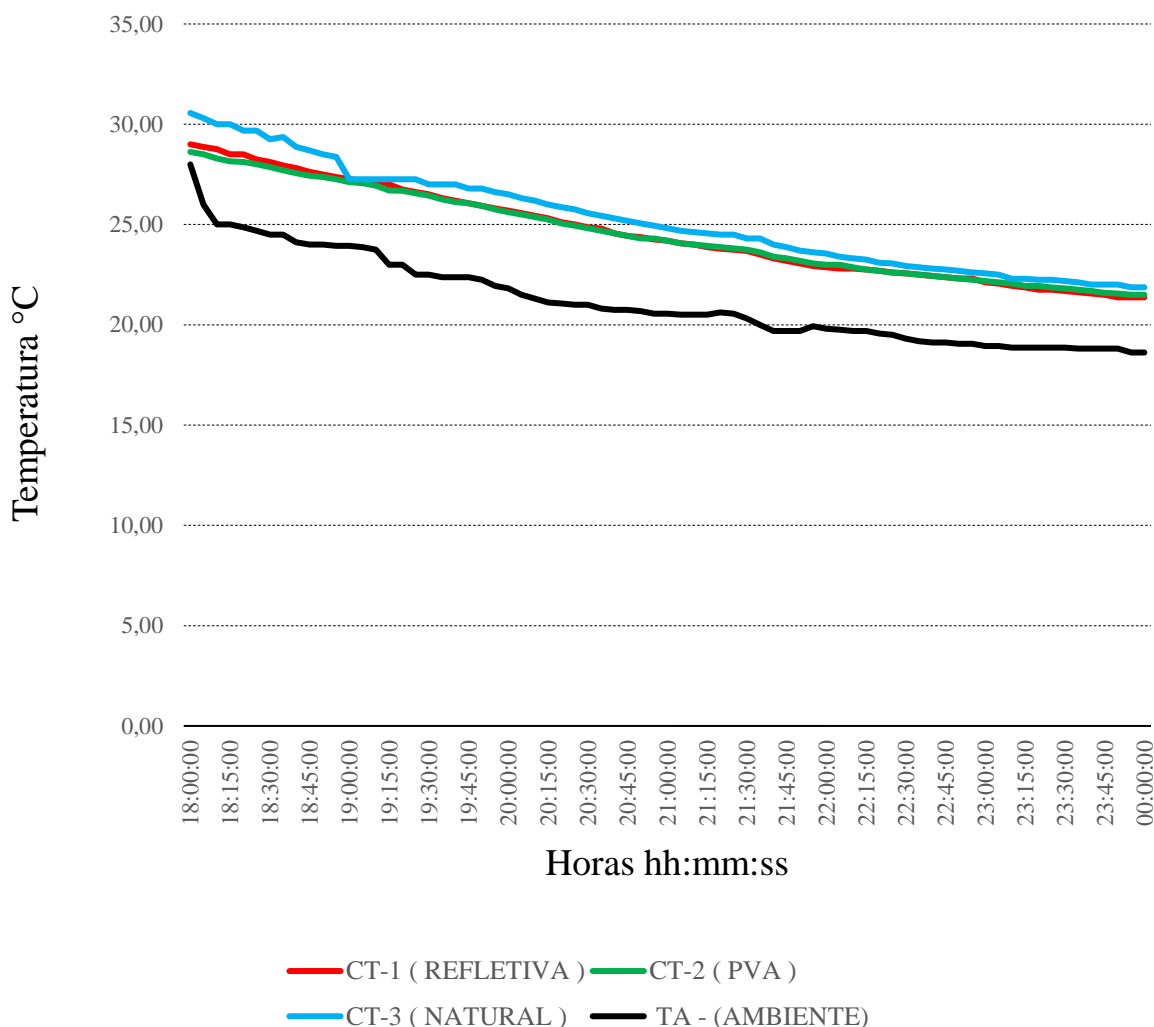
Fonte: Próprios autores.

Nota-se no gráfico adiante que a temperatura ambiente (TA) quando comparada com as temperaturas das células teste, mantém-se menor durante todo o período analisado, havendo uma diferença considerável de temperatura, onde as temperaturas das células teste se mantém maior, em termos percentuais em no mínimo 8,37% após transcorrido os quinze primeiros minutos do período. Portanto as três células desempenharam bem a sua função quanto ao quesito desempenho térmico, mantendo para o período da noite temperatura superior em relação a temperatura ambiente, propiciando dessa forma conforto térmico, de tal forma que se torna dispensável o uso de condicionador de ar.

Quando comparadas as curvas de temperatura entre as células teste, percebe-se que, a (CT-3) apresenta temperatura superior em relação as outras, quando a comparação é realizada entre as células (CT-1) e (CT-2), percebe-se não haver diferenças significativas de temperatura, infere-se que, o desempenho térmico de ambas para o período é bastante semelhante, onde as trocas térmicas entre o ambiente externo e as células não é influenciado pelo tipo de tinta usada na pintura da cobertura da células e sim pela cor.

Apresenta-se no gráfico 4 a temperatura em função do tempo, para o período da noite.

Gráfico 4: Curvas de temperatura para o período da noite



Fonte: Próprios autores.

Na tabela 8 são apresentadas para o período da noite, de forma percentual as maiores diferenças de temperatura entre células e entre células e ambiente.

Tabela 8: Maiores variações de temperatura para o período da noite, entre ambiente e células teste e entre células teste

Ambiente e células	Variação de temperatura (°C)	Variação de temperatura (%)
(TA) e (CT-3)	5,00	20,02
(TA) e (CT-2)	4,13	16,35
(TA) e (CT1)	4,19	16,55
(CT-3) e (CT-2)	1,94	6,78
(CT-3) e (CT-1)	1,56	5,38
(CT-2) e (CT-1)	0,45	1,58

Fonte: Próprios autores.

5.5 PERÍODO DE 24 HORAS

Além da análise por períodos de 6 horas, optou-se por fazer análise referente ao período de 24 horas, visando perceber o comportamento de temperatura do experimento de forma global. Na tabela que segue são apresentados os valores de temperatura máxima e mínima para o período de 24 horas bem como a amplitude térmica correspondente.

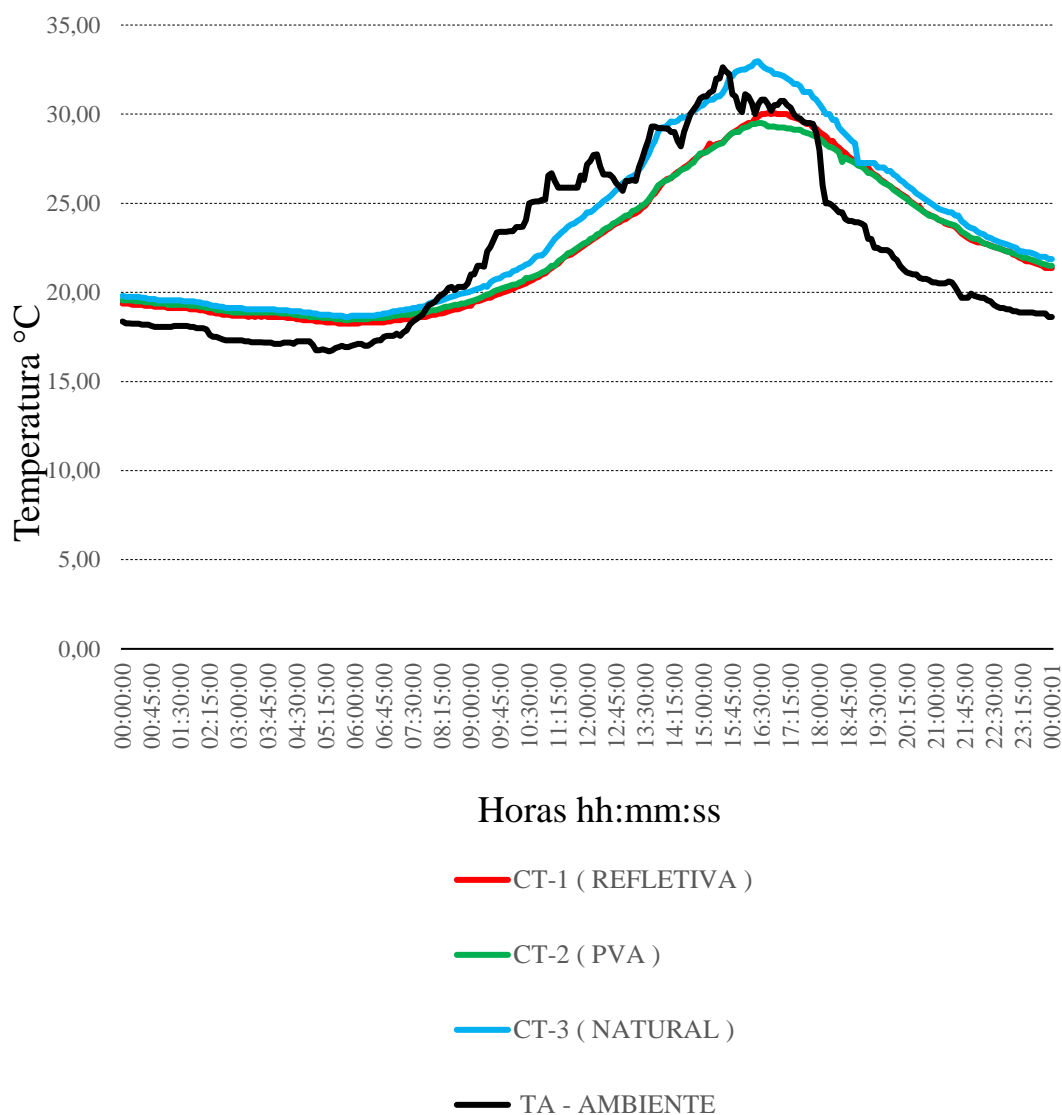
Tabela 9: Temperaturas e amplitude térmica para o período de 24 horas

Local	TA	CT-1	CT-2	CT-3
T máxima °C	32,63	30,06	29,5	32,97
T mínima °C	16,69	18,25	18,44	18,62
Amplitude °C	15,94	11,81	11,06	14,35

Fonte: Próprios autores.

A seguir apresentamos o gráfico de temperatura em função do tempo para o período de 24 horas.

Gráfico 5: Curvas de temperatura para o período de 24 horas.



Fonte: Próprios autores.

De acordo com a análise do gráfico anterior, notou-se que a temperatura ambiente (TA), durante parte do período do dia (entre 08:00 e 17:00 horas) mantém-se maior do que a temperatura das células (CT-1) e (CT-2). Quando comparada a (TA) com a (CT-3), nota-se temperatura superior da primeira em relação a segunda em aproximadamente metade do período acima mencionado, e há alternância entre temperaturas na segunda metade do período possivelmente devido a nebulosidade e precipitação ocorrida. Durante a noite observou-se inversão do ocorrido durante o dia onde a temperatura ambiente (TA) é menor que a temperatura das células teste.

Fica evidente que o tratamento com pintura branca na parte superior da telha de fibrocimento é fator condicionante para diminuir a temperatura no interior das células teste.

Na tabela seguinte são apresentadas para o período de 24 horas, de forma percentual as maiores diferenças de temperatura entre células e entre células e ambiente.

Tabela10: Maiores variações de temperatura para o período de 24 horas, entre ambiente e células teste e entre células teste

Ambiente e células	Variação de temperatura (°C)	Variação de temperatura (%)
(TA) e (CT-3)	5,0	20,02
(TA) e (CT-2)	5,25	24,64
(TA) e (CT1)	5,32	24,89
(CT-3) e (CT-2)	3,50	11,89
(CT-3) e (CT-1)	3,32	11,42
(CT-2) e (CT-1)	0,81	2,77

Fonte: Próprios autores.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho avaliamos através do modelo de aferição *in loco* os valores de temperatura internas de três células teste com cobertura feita de telhas de fibrocimento, bem como da temperatura do ambiente que as circundavam. Para que fosse possível uma avaliação e comparação detalhada dos valores de temperatura foi desenvolvido com uso de placa de Arduino e sensores um sistema de aferição de temperatura que permite aquisição de dados simultâneos em intervalos de tempo pré definidos na programação.

A cobertura de fibrocimento em estado natural, apresentou desempenho térmico insatisfatório, quando comparado com as coberturas que receberam a pintura de cor branca, devido a sua cor mais escura o que compromete sua capacidade refletiva.

Tanto a cobertura submetida à pintura de cor branca com tinta látex PVA, quanto a submetida à pintura de cor branca com tinta refletiva, apresentaram desempenho térmico semelhante. Dessa forma pode-se inferir que os compositos usados para proporcionar refletividade a tinta ora analisada, não proporcionam aumento no desempenho térmico quando comparado a tinta látex PVA de cor branca.

Fica evidente que o tratamento na telha de fibrocimento com pintura de cor branca, seja ela refletiva ou látex PVA, proporciona conforto térmico aos usuários da edificação, uma vez que para o período mais quente do dia há redução na temperatura interna da mesma. Assim como afirma Dornelles *et al* (2011), tais resultados demonstraram que pintar a cobertura com tintas brancas de alta refletância solar é um modo muito eficiente de reduzir o desconforto.

Conclui-se que o tratamento com pintura branca, independentemente do tipo da tinta (látex PVA ou refletiva) usada na pintura da parte superior da cobertura de fibrocimento é fator condicionante para diminuir a temperatura e auxiliar no conforto térmico oferecido pela edificação.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, J. O; LAMBERTS, R. Classificação do desempenho térmico da casa eficiente: avaliação segundo as normas brasileiras. In: LAMBERTS, R; GHISI, E; PEREIRA, C. D; BATISTA, J. O. **Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico**. Florianópolis: UFSC/Lambee; 2010.
- CASTRO, A. P. A. S. **Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica**. Dissertação (mestrado em engenharia civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2002.
- CASTRO, A. P. A. S et al. **Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 69-73, abr./jun. 2003
- CASTRO, ADRIANA PETITO DE ALMEIDA SILVA. **Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil: estudo em células-teste**. 2006. 223 p. Tese (Doutorado) -Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- ÇENGEL. A YUNUS, GHAJAR J. AFSHIN. **Transferência de Calor e Massa uma Abordagem** Prática 4ªed, Porto Alegre – RS, Editora AMGH, 2012.
- DORNELLES, Kelen Almeida **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA** Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas SP, 2008.
- DORNELLES, Kelen Almeida, RORIZ, Mauricio, RORIZ Victor, CARAM Rosana **Desempenho térmico de tintas brancas com microesferas cerâmicas para uso em coberturas de edifícios**, XI; Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, VII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído Búzios, Rio de Janeiro 2011.
- FERREIRA, C. C. **Análise de sensibilidade por meio de experimento fatorial de parâmetros de desempenho térmico de envoltórias de edificações residenciais: contribuição à revisão das normas brasileiras**. Tese (Doutorado) Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.
- IKEMATSU, P. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. 2007. Dissertação (mestrado)– Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- LAMBERTS.L, ABREU. A.L.P, CARLO. J.C, GHISI. E. **Desempenho Térmico de Edificações**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- LAMBERTS, R. et al. **Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações/UFSC, 2010. 13p

PERALTA, G. Desempenho térmico de telhas: **Análise de monitoramento e normalização específica**, São Carlos, Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

SOUZA, ANA CRISTINA INÁCIO, **Avaliação comparativa da refletância solar de tintas para telhas com uso de “pigmento frio” e convencional nas cores cinza claro e escuro**, (Dissertação de mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2018.

TEIXEIRA, CARLA FERNANDA BARBOSA. **Análise do desempenho térmico de telhas de fibrocimento tratadas com revestimentos brancos e submetidos à aspersão de água**. TESE (DOUTORADO)- UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, SÃO PAULO, 2013.