

ESTUDO COMPARATIVO DE DESEMPENHO TÉRMICO ENTRE TINTAS DE COR BRANCA APLICADAS EM COBERTURAS DE FIBROCIMENTO¹

PEREIRA, Celio Dias²
SIQUEIRA, Wanderson Ferreira³
PORFIRO, Leandro Daniel⁴
TOLEDO, Eduardo Martins⁵
SILVA, Agnaldo Antônio M.T. da⁶

RESUMO

O desempenho térmico de uma edificação depende de vários fatores, dentre eles as condições ambientais e os componentes empregados na construção. 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. Neste trabalho, avaliou-se o desempenho térmico de três telhas: a telha de fibrocimento sem revestimento (natural), fibrocimento revestida com tinta látex e fibrocimento revestida com tinta refletiva, utilizando o modelo de célula teste. Através de um estudo comparativo, por meio do método de medições de temperatura *in loco*, utilizando sensores e placa arduíno, ficou evidente que temperatura interna das células pintadas com tinta branca látex PVA e refletiva, tiveram desempenho térmico melhor do que a telha que não recebeu pintura e na comparação entre as tintas não houve variações significativas, possuindo comportamento e desempenho térmico semelhante. Conclui-se que o tratamento com pintura branca proporciona bom desempenho térmico da cobertura e independentemente do tipo da tinta (látex PVA ou refletiva) usada na pintura da telha de fibrocimento. Logo a tinta branca é fator condicionante para diminuir a temperatura e auxiliar no conforto térmico oferecido pela edificação.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Tinta refletiva. Trocas de calor. Cobertura de fibrocimento.

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

¹ Este artigo é resultado de um trabalho de conclusão de curso.

² Discente do curso de Bacharelado em Engenharia Civil - Centro Universitário de Anápolis/Unievangélica - celiodias2@gmail.com

³ Discente do curso de Bacharelado em Engenharia Civil - Centro Universitário de Anápolis/Unievangélica - engenheirowfs@gmail.com

⁴ Doutor em Educação (PUC-GO). Professor Pesquisador da Universidade Estadual de Goiás/CCET e Centro Universitário de Anápolis/ Unievangélica - fisicoleandro@yahoo.com.br

⁵ Mestre em Ciências Moleculares. Professor do Centro Universitário de Anápolis/Unievangélica - eduardomtoledo@gmail.com

⁶ Mestre em Integridade de Materiais da Engenharia. Professor do Centro Universitário de Anápolis/Unievangélica - professoragnaldoantonio@gmail.com

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 à radiação solar, além das cores das superfícies dos componentes da envoltória

Além de buscar uma redução do consumo energético, outro fator importante é o conforto térmico em edificações, o qual está associado diretamente ao tipo de material empregado nas construções e ao desempenho térmico destes materiais. Em edificações que apresentam boas soluções relacionadas ao conforto térmico passivo, há a possibilidade de redução no consumo de energia elétrica.

Neste sentido, uma das soluções para a diminuição da transferência de calor para o interior de uma edificação, sem o uso da energia elétrica, é a utilização de tinta branca aplicada nas partes externas das edificações, principalmente na cobertura (telhado).

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 (MICHELS, 2007). 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 (PERALTA, 2006).

Neste ensaio, que teve como objetivo comparar o desempenho térmico de dois tipos de tinta branca, foram construídas três células (pequenas casas), cujas coberturas foram feitas com telhado de fibrocimento, destas células duas foram pintadas com tinta branca, sendo uma com tinta PVC e outra com a tinta refletiva e na terceira célula o telhado não foi pintado. Utilizando-se um sistema de medidas de temperatura por meio de sensores (arduíno), mediu-se as temperaturas de cada célula comparando-as com a temperatura ambiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Há mais de dois séculos o calor é compreendido como energia térmica em movimento, ou seja, é um tipo de energia que não pode ser armazenada e por este fato o calor se propaga em sólidos, líquidos ou gases por meio de condução, convecção ou irradiação. As trocas de calor entre materiais de temperatura diferente dependem essencialmente da temperatura dos materiais, isto significa que o desempenho térmico dos materiais está diretamente relacionado à capacidade térmica destes materiais (HEWITT, 2002).

2.1 DESEMPENHO TÉRMICO

De acordo com Peralta (2006) o desempenho térmico dos materiais componentes de uma edificação depende também da parcela de radiação solar incidente, bem como das propriedades das superfícies atingidas por essa radiação. E segundo Batista e Lamberts (2010), através da avaliação do comportamento térmico dos materiais que compõem uma edificação é possível determinar seu desempenho térmico.

Podemos então caracterizar o desempenho térmico como sendo uma resposta do comportamento térmico dos materiais componentes da edificação. Neste aspecto e considerando uma edificação, é na cobertura que ocorre com maior intensidade a exposição à radiação solar, sendo que em edificações com cobertura de fibrocimento este fato é ainda evidente e pode influenciar diretamente no conforto térmico das pessoas.

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).

O conforto térmico em uma edificação é influenciado diretamente pelo desempenho térmico dos materiais empregados na construção. Sendo este desempenho dependente das trocas de calor dos materiais com o meio.

A transferência de calor 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 calor se propaga espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura (COSTA, 1991).

Essa transferência de calor pode ocorrer de três formas: pela condução, pela convecção e pela irradiação.

2.1.1 Condução, convecção e irradiação.

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, por meio de vibrações que se propagam no material. A condução pode ocorrer tanto em sólidos ou fluidos. Porém, a taxa de condução de calor por um meio depende sobretudo da geometria, da espessura, do tipo do material e da diferença de temperatura em que o meio está inserido (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

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).

Para Costa (1991) a convecção é 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.

Segundo Givone (1998) a convecção pode ser de dois tipos, a convecção natural e a convecção forçada. 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. Já a convecção forçada, ocorre quando o fluido é forçado a escoar sobre a superfície através de meios mecânicos (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).

Outra forma do calor se propagar é através da irradiação, neste caso o calor gerado pelo material ou absorvido por ele é proveniente das vibrações eletrônicas ocorridas nos átomos que constituem o material, essa emissão de calor é em essência uma onda eletromagnética cuja frequência está na faixa do infravermelho (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2009).

Segundo Peralta (2006) os corpos não só emitem radiações infravermelhas como também absorvem tais radiações, que são chamadas de radiações térmicas.

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).

2.2 PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS

Segundo Peralta (2006), as principais propriedades termofísicas que interferem na formas de transmissão do calor nos materiais são: absorvância, refletância, emissividade, condutividade térmica, calor específico, resistência térmica e capacidade térmica (PERALTA, 2006). Porém, para este trabalho destacaremos apenas alguns destes conceitos que foram evidenciados experimentalmente.

2.2.1 Absorvância

De acordo com NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações - parte 1: definições, símbolos e unidades (ABNT, 2005) a absorvância 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 absorvância 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 absorvância desempenha um papel de maior importância do que a inércia térmica. Para Granja (2002) os efeitos da absorvância 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 absorvância 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 absorvância.

2.2.2 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).

2.2.3 Calor específico e condutividade térmica

O calor específico é a quantidade de calor necessária para aumentar em 1°C a temperatura de 1 grama de substância, ou seja, quanto menor for o calor específico de um material mais facilmente ele será aquecido ou resfriado, sendo essa uma característica do material. Já a condutividade térmica além de depender do calor específico, que é uma característica intrínseca do material, também depende da quantidade de massa, ou seja, é através da capacidade térmica de um corpo que determina a capacidade que um corpo tem de se deixar atravessar com maior ou menor facilidade por um fluxo de calor.

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 influí na condutividade térmica de um material é a porosidade, de acordo com Effitng, Guths e Allarcon (2006) *apud* Jardim (2011), há um decréscimo no valor da condutividade térmica à medida que a porosidade aumenta.

Neste ensaio as coberturas utilizadas foram iguais para que as temperaturas medidas estivessem relacionadas às tintas aplicadas, de forma que não fossem influenciadas de maneira direta pelas características dos materiais empregados.

2.3 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 transferência de calor entre o meio ambiente e a edificação (IKEMATSU, 2007).

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

As tintas refletivas ao serem aplicadas sobre diferentes superfícies, melhoram seu desempenho térmico (CASTRO *et al* , 2003). 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 aos quais são aplicados (SYNNEFA *et al*, 2005).

Segundo o estudo realizado por Dornelles (2008), a absorvância solar em superfícies opacas de diversas cores e tipos de tintas, está diretamente relacionada à rugosidade da superfície, ou seja, a rugosidade aumenta linearmente a absorvância das superfícies (DORNELLES, 2008).

Já em 2011 Dornelles *et al* (2011) realizou um estudo para 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 (DORNELLES *et al*, 2011).

Outro ensaio realizado, por Teixeira (2013), analisou o 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 uma redução ainda maior na temperatura em comparação com as que não receberão aspersão de água (TEIXEIRA, 2013).

Por outro lado, 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, demonstrou que as tintas preparadas com

pigmentos orgânicos apresentaram baixa refletância solar, enquanto que as tintas preparadas com pigmento frio apresentaram maior refletância solar. Para Souza (2018) 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 (SOUZA, 2018).

3 METODOLOGIA

Para o estudo, foram construídas três células teste em alvenaria, igualmente instrumentadas, submetidas às mesmas variáveis ambientais, variando-se apenas as telhas que compõem a cobertura de cada célula. As células teste são edificações ou câmaras de pequeno porte, construídas para uso experimental, que apresentam algumas características de edificações reais. As temperaturas do ar no interior das células foram monitoradas com o auxílio de sensores de temperatura (DS18B20 e DHT22) conectados a um sistema de aquisição de dados utilizando Arduino.

3.1 ENSAIO EXPERIMENTAL

Para o ensaio experimental foram realizadas as seguintes etapas: construção das células teste, construção do sistema de monitoramento de temperatura, calibração do sistema de monitoramento de temperatura e coleta de dados. Todas as etapas serão discutidas a seguir.

3.2 DESCRIÇÃO DAS CÉLULAS TESTE

As células possuem dimensões internas de 0,75 x 0,80 m, com altura de 0,90 m na fachada norte e de 1,07 m na fachada sul, fundação do tipo radier (apenas de concreto simples) com 1,25 x 1,30 m e espessura de 8 cm, 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. O espaçamento entre as células teste é de 1,30 m, a partir da fundação, para evitar sombra de uma célula sobre a outra. Previu-se uma camada de brita contornando cada célula.

Todas foram construídas voltadas para direção Norte, cujo aproveitamento da incidência solar é maior, conforme Figura 1.

Figura 1: Células teste e sistema de coleta de dados finalizados.



Fonte: Próprios autores, 2019.

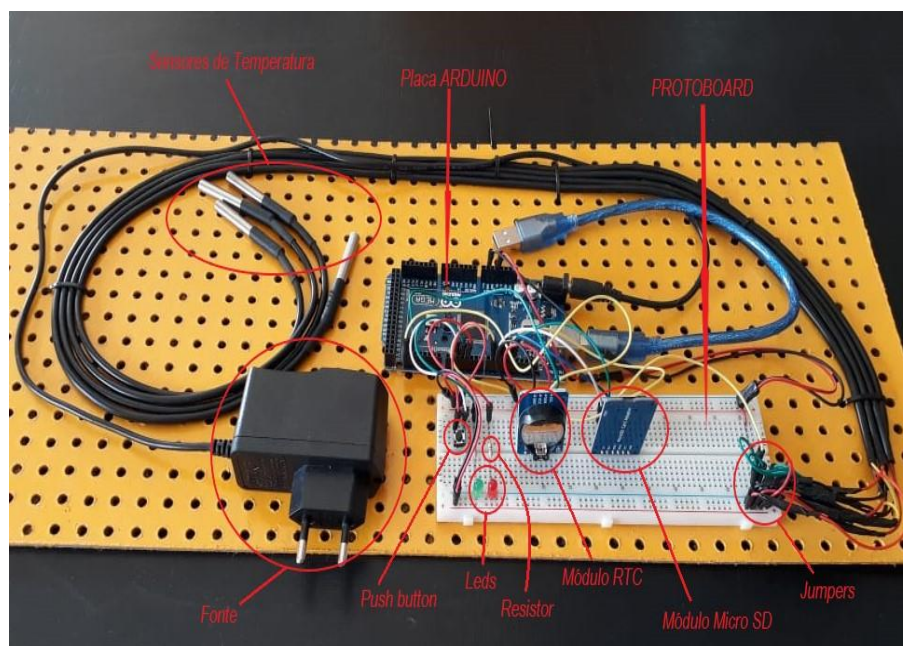
As três células teste receberam pintura em duas demãos de tinta PVA de cor branca nas paredes, já a superfície externa do telhado para a célula 1 (CT-1), foi pintada em duas demãos empregando-se tinta refletiva de cor branca. O telhado da célula teste 2 (CT-2), recebeu duas demãos de tinta PVA de cor branca e o telhado da célula teste 3 (CT-3) não recebeu pintura, ou seja, sua cobertura ficou em estado natural.

Para monitorar a temperatura dentro e fora das células utilizou-se um sistema de sensores arduíno, programados para captar variações de temperatura a cada 5 minutos.

3.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA

O sistema de monitoramento de dados de temperatura é composto pela parte física (*hardware*) e pela parte lógica (*software*). No sistema estão presentes uma placa ARDUINO MEGA (placa de prototipagem eletrônica de *software* livre), uma placa de *protoboard* (placa matriz de contato), um cartão de memória SD com módulo de conexão, para armazenamento dos dados, sensores de temperatura, resistores, módulo RTC, para registro do horário da medida, cabos conectores, *push button*, para ligar e desligar o equipamento, LED'S, para indicar se o equipamento está ligado e uma fonte de 5 V, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2: Sistema arduino de monitoramento de temperatura.



Fonte: Próprios autores, 2018.

A segunda parte (*software*), foi desenvolvida na própria interface do arduino. De modo simplificado o sistema quando iniciado aciona os sensores de temperatura, faz o reconhecimento dos mesmos, aciona o módulo RTC, e 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, sendo um sistema autônomo de coleta de dados.

O sistema de sensores foi calibrado, individualmente, comparando-se com a medida de temperatura de um termohigrômetro (modelo ITHT 2220). As medidas de temperatura foram coletadas 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 muito baixa (menor que 1%), de forma a não interferir significativamente no resultado final das medidas de temperatura, tornando o sistema válido e confiável.

3.4 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 interno 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) e instalou-se próximo das células teste o sensor-4, que foi o sensor responsável por medir a temperatura ambiente do ar (TA).

4 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.

Para tabulação dos dados 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.

4.1 PERÍODO DA MADRUGADA

Para período da madrugada, verificou-se queda da temperatura ambiente (TA), as células teste também apresentaram queda de temperatura. Na tabela 1, é possível observar 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 2019.

Outro aspecto que pode ser observado é que a temperatura no interior de todas as células se mantiveram superior em comparação com a temperatura ambiente (TA). Porém, 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%.

Nos dados coletados também observou-se que para o período da madrugada o horário das 05:00 horas, as diferenças de temperatura foram maiores para o período. Por outro lado, 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 proxima quando comparada com resistência térmica da telha.

4.2 PERÍODO DA MANHÃ

No período da manhã (tabela 2) , verificou-se aumento da temperatura ambiente (TA), onde as células teste também apresentaram aumento de temperatura.

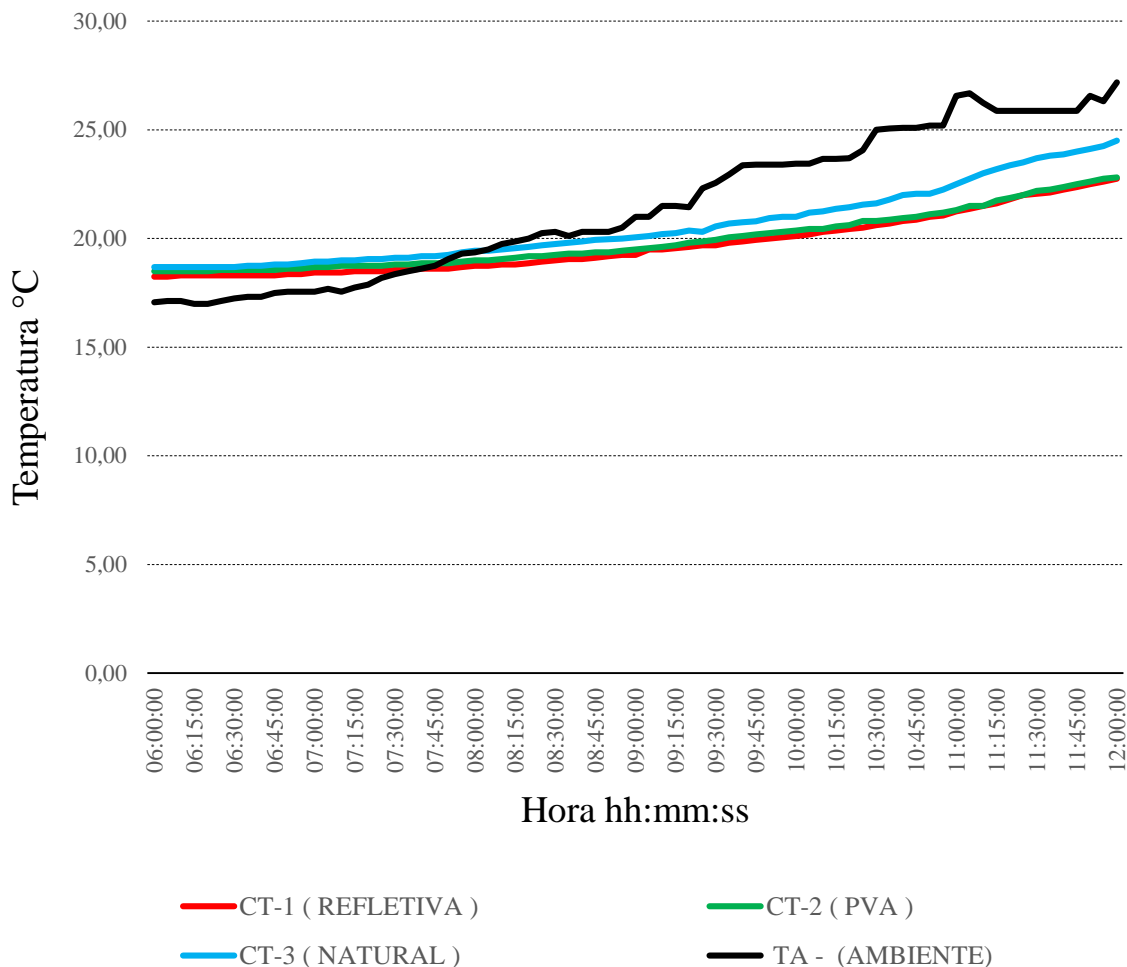
Tabela 2: Temperaturas e amplitude térmica para o período da manhã.

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, 2019.

No gráfico 1, nota-se considerável aumento da TA, que rapidamente passa a ser superior.

Gráfico 1: Curvas de temperatura para o período da manhã.



Fonte: Próprios autores, 2019.

Comparando as diferenças de temperatura entre a TA e as células teste verificou-se que, a maior temperatura ambiente foi superior em $4,06^{\circ}\text{C}$ em relação a CT-3. Já em relação a CT-2 a diferença foi de $5,25^{\circ}\text{C}$ e $5,32^{\circ}\text{C}$ 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 sofreram aumento de temperatura, contudo menor do que o aumento de temperatura ambiente, nota-se uma proximidade muito grande entre as curvas de temperatura de CT-1 e CT-2. E a diferença de temperatura entre a CT-2 e a CT-1 foi de $0,32^{\circ}\text{C}$. Comparando a variação de temperatura entre a CT-2 e a CT-3, verificou-se que a temperatura da CT-3 foi $1,69^{\circ}\text{C}$ maior que a da CT-2. Quando comparada a diferença de

temperatura entre a CT-3 e a CT-1, notou-se que a CT-3 ficou 1,75°C mais quente do que a CT-1.

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

4.3 PERÍODO DA TARDE

Para período da tarde (tabela 3), verificou-se aumento da temperatura ambiente (TA) até às 15h e 30min, pois após esse horário choveu no local provocando assim decréscimo da TA. O mesmo ocorreu com as células teste. Em relação a amplitude térmica, verificou-se que a amplitude da TA foi menor que as das células teste, sendo que a CT-3 teve maior amplitude seguida pela CT-1, e com a menor amplitude foi a CT-2.

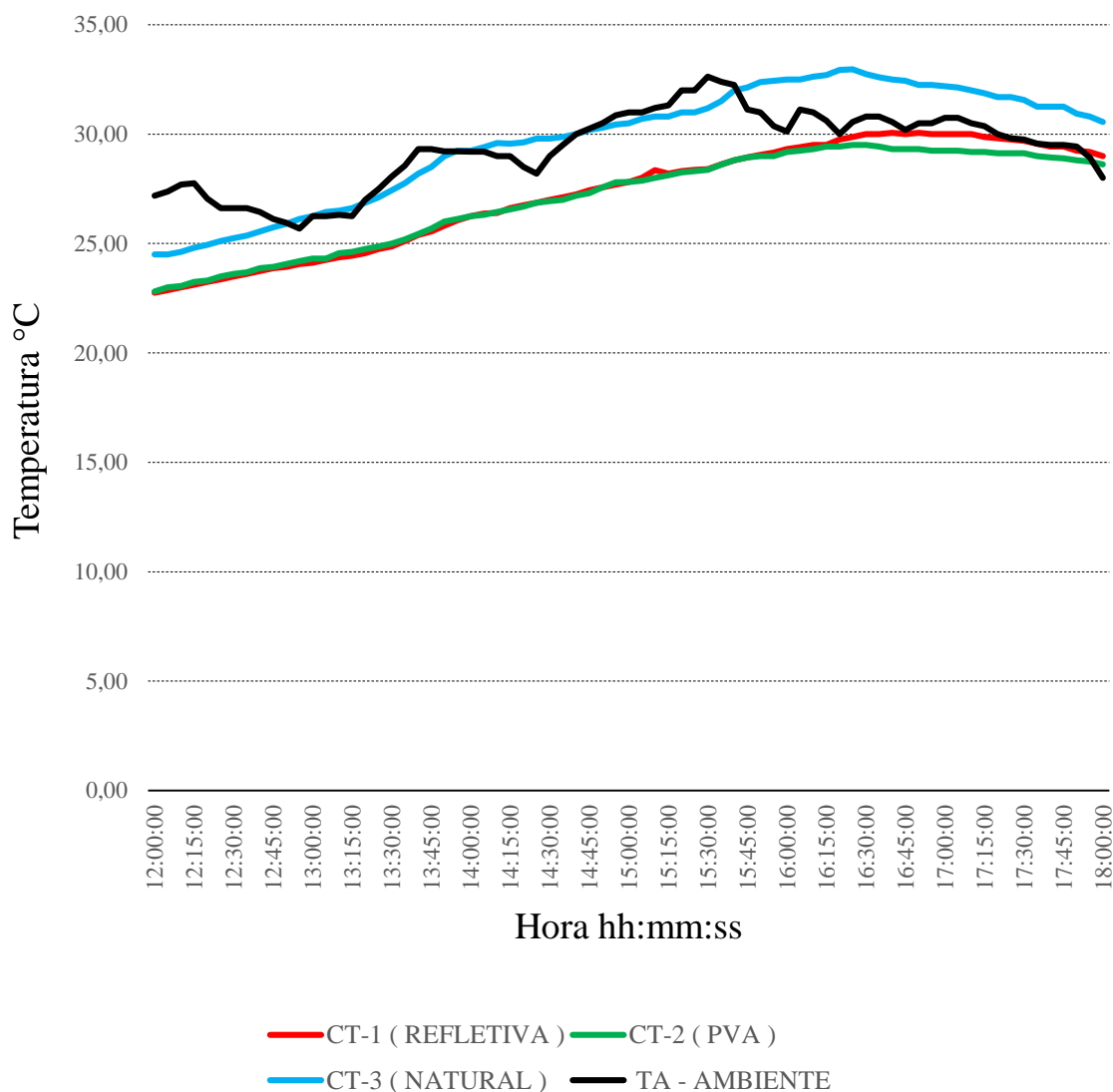
Tabela 3: Temperaturas e amplitude térmica para o período da tarde.

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, 2019.

Para uma análise mais detalhada optou-se por uma apresentação dos dados em forma de gráfico (gráfico 2), por evidenciar melhor as variações supracitadas.

Gráfico 2: Curvas de temperatura para o período da tarde.



Fonte: Próprios autores, 2019.

A partir do gráfico nota-se há uma grande sinuosidade na curva de temperatura ambiente (TA), o que é explicado pela precipitação da chuva durante o ensaio. Porém, 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 manteve-se acima destas, ou seja, TA, permanece maior do que a temperatura das células CT-1 e CT-2.

A curva 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 (CT-3) obteve um baixo desempenho térmico no período apresentado, pois permitiu que a temperatura no interior da célula fosse maior que no exterior (TA).

Outro aspecto importante a ser destacado é que a temperatura da CT-3 mantém-se superior em relação às outras, fato justificado pelo não tramento com pintura, com isso ela apresenta menor refletância e consequentemente absorve mais calor que as outras células.

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 à célula CT-2.

4.4 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 e CT-2, respectivamente.

Na tabela 4 são apresentados os valores de temperatura máxima e mínima e amplitude térmica para o período da noite.

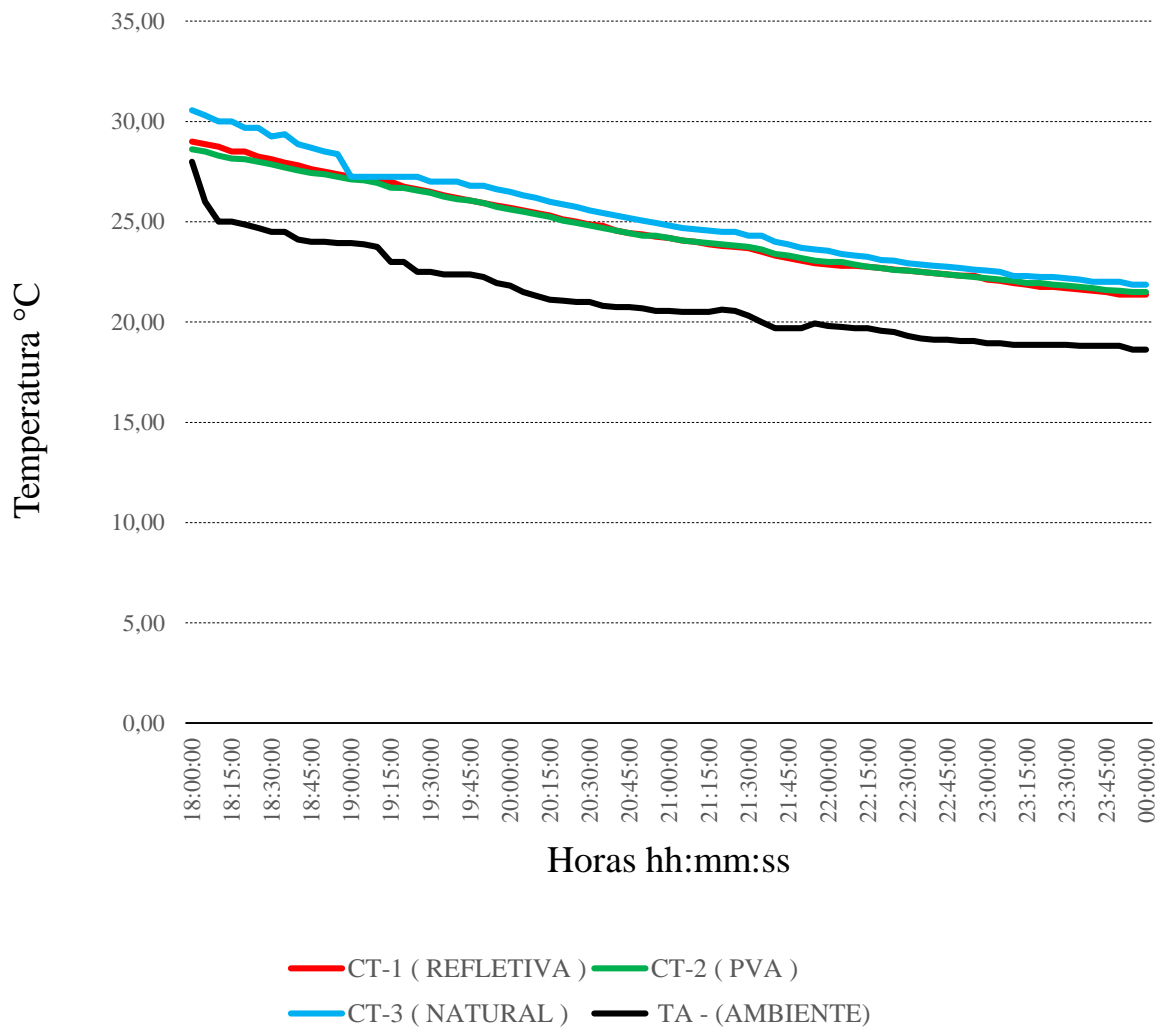
Tabela 4: Temperaturas e amplitude térmica para o período da noite.

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, 2019.

A partir do gráfico 4, nota-se que a 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, para o período noturno.

Gráfico 1: Curvas de temperatura para o período da noite.



Fonte: Próprios autores, 2019.

É possível observar também que praticamente não há diferença significativa de temperatura entre as células, ou seja, o desempenho térmico delas para o período noturno é bastante semelhante.

Para fins de comparação, na tabela são apresentadas, de forma percentual as maiores diferenças de temperatura entre células e temperatura ambiente para o período noturno.

Tabela 5: Variações de temperatura entre as células e a temperatura ambiente.

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

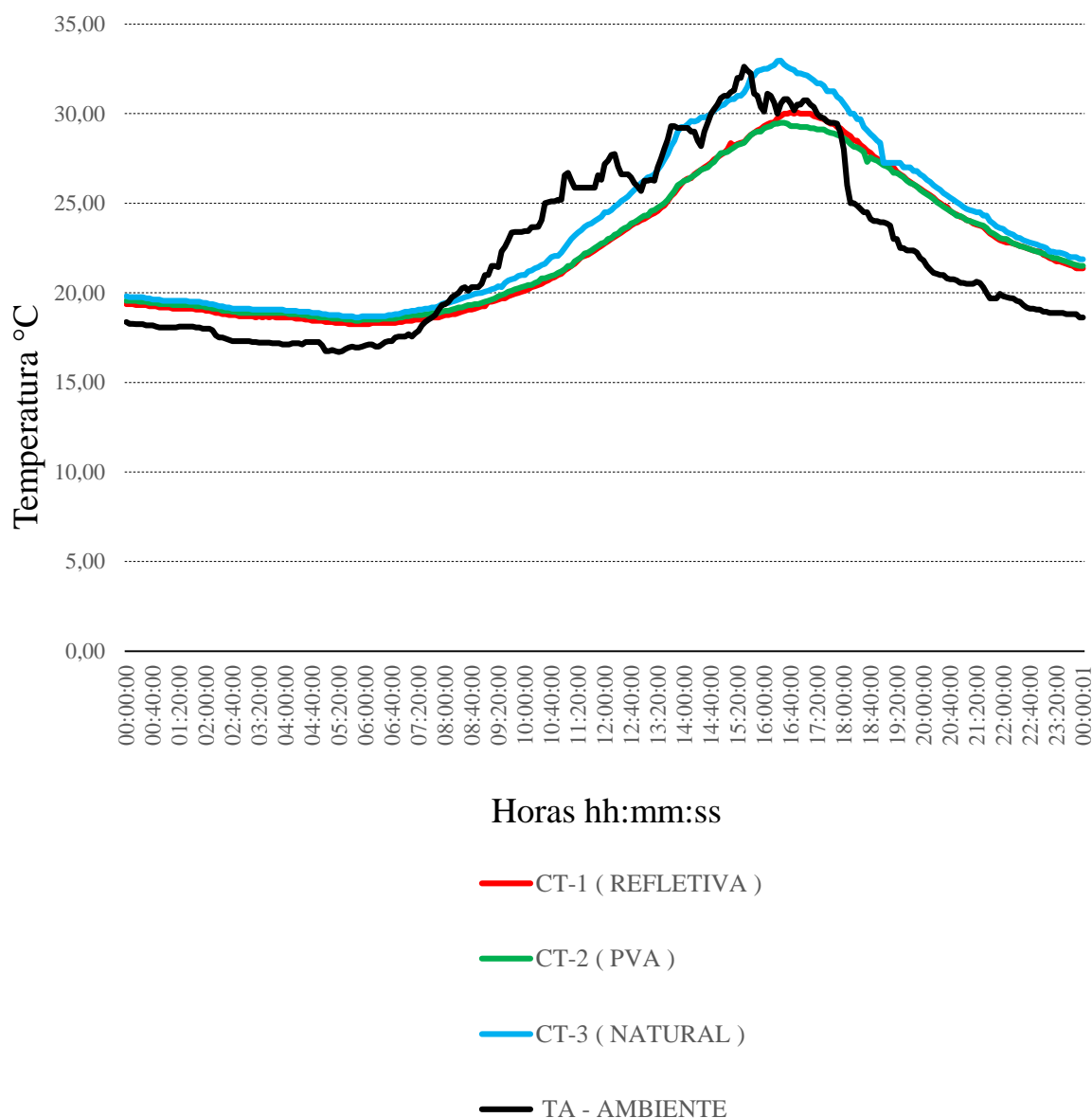
(TA) e (CT1)	4,19	16,55
(CT-3) e (CT-2)	1,94	6,78
(CT-3) e (CT-1)	1,56	5,38
(CT-2) e (CT-1)	0,45	1,58

Fonte: Próprios autores, 2019.

4.5 PERÍODO DE 24 HORAS

Além da análise por períodos de 6 horas, optou-se por fazer uma análise integral referente ao período de 24 horas, visando perceber o comportamento de temperatura do experimento. No gráfico 5, são apresentadas as curvas para o período de 24 horas.

Gráfico 2: Curvas de temperatura para o período de 24 horas.



Fonte: Próprios autores, 2019.

De acordo com o gráfico 5, anterior, nota-se que a TA, durante parte do período do dia (entre 08:00 e 17:00 horas) manteve-se maior do que a temperatura das células CT-1 e CT-2. Porém quando compara-se TA com a CT-3, nota-se que das 8h até aproximadamente às 15h, TA é superior, porém após as 15h a temperatura de CT-3 tornou-se maior que TA, fato já explicitado pela precipitação da chuva durante o ensaio.

Na tabela 6 são apresentadas as maiores diferenças de temperatura entre as células e a temperatura ambiente, para o período de 24 horas.

Tabela 6: Variações de temperatura para o período de 24 horas.

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 (CT-1)	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, 2019.

Nota-se que a maior diferença percentual ocorre entre CT1 e TA, porém a diferença entre CT-1 e CT-2 é muito pequena.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do ensaio apresentado pode-se inferir que a cobertura de fibrocimento em estado natural, apresentou desempenho térmico insatisfatório, quando comparado com as coberturas (telhas) 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. Fica evidente que o tratamento na telha de fibrocimento com pintura de cor branca, seja ela refletiva ou látex PVA, proporciona maior 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 de 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 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 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.

HEWITT, Paul G. Física Conceitual.9ed. **Bookman, 2002**

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, 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.