CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS



Dissertação de Mestrado

Alvaro Caldeira e Rosa da Silva

PROPRIEDADES TÉRMICAS E ÓPTICAS DE TINTAS ESPECIAIS DE ALTA REFLETIVIDADE EM SUBSTRATO DE AÇO PARA MELHORIA DO CONFORTO TÉRMICO

Belo Horizonte

Fevereiro de 2020

Alvaro Caldeira e Rosa da Silva

Propriedades térmicas e ópticas de tintas especiais de alta refletividade em substrato de aço para melhoria do conforto térmico

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Cefet-MG, na área de concentração de Ciência e Desenvolvimento de Materiais, na Linha de Pesquisa em Seleção, Processamento e Caracterização, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Claudinei Rezende Calado

Belo Horizonte
Fevereiro de 2020

Silva, Alvaro Caldeira e Rosa da.
S586p Propriedades térmicas e ópticas de tintas especiais de alta refletividade em substrato de aço para melhoria do conforto térmico / Alvaro Caldeira e Rosa da Silva. – 2020.
118 f. : il.
Orientador: Claudinei Rezende Calado

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Belo Horizonte, 2020.
Bibliografia.

1. Transferência de calor. 2. Tintas - Propriedades ópticas. 3. Superfícies (Tecnologia) - Propriedades térmicas. 4. Termografia. 5. Análise Térmica. I. Calado, Claudinei Rezende. II. Título.

CDD: 620.112

Ficha elaborada pela Biblioteca - Campus I – CEFET-MG
Bibliotecário: Wagner Oliveira Braga CRB6 - 3261

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

CEFET-MG

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO "PROPRIEDADES TÉRMICAS E ÓPTICAS DE TINTAS ESPECIAIS DE ALTA REFLETIVIDADE EM SUBSTRATO DE AÇO PRA MELHORIA DO CONFORTO TÉRMICO"

Autor: Álvaro Caldeira e Rosa da Silva

Orientador: Prof. Dr. Claudinei Rezende Calado

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

Prof. Dr. Claudinei Rezende Calado (ORIENTADOR)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

Prof. Dr. Sidney Nicodemos da Silva
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

Prof. Dr. Cleverson Fernando Garcia
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

Belo Horizonte, 14 de Fevereiro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe e à minha esposa pelo apoio dedicado a mim durante todo o período do curso e durante à confecção deste trabalho. Agradeço aos meus colegas e amigos do curso de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais pelos estudos em grupo durante a realização das disciplinas do curso e pelos conselhos e conversas sobre os mais diversos assuntos relativos ao mesmo.

Agradeço ao meu orientador pelo apoio na realização deste trabalho.

Agradeço a toda minha família e meus amigos pelas conversas técnicas sobre o assunto e pelo apoio incondicional.

Agradeço, ainda, ao CEFET-MG pelo apoio dado através dos equipamentos, estrutura e aos docentes do curso. E à CAPES pelo financiamento do trabalho.

RESUMO

Neste trabalho, foram avaliadas cinco tintas (duas comuns de base acrílica e três com pigmentos de alta refletividade) aplicadas à chapas de aço 1020, com objetivo de comparar e avaliar suas propriedades térmicas, ópticas e a relação custo benefício no uso destas tintas de alta refeltividade no lugar de tintas comuns. Para realizar as medições de temperatura de acordo com a distância da fonte emissora de infravermelho e a perda térmica por convecção, um dispositivo foi projetado e construído. Os resultados mostram os perfis de temperatura para superfícies externas e internas das placas e para o interior do protótipo. Foram feitas então, análises do comportamento térmico das configurações testadas. Também foi possível prever os benefícios ou penalidades econômicas na compra de tintas com alta refletividade. Algumas outras análises, como a aparência da superfície e a distribuição do fluxo de calor também foram feitas. Os resultados mostram que, proporcionalmente, as temperaturas do ar no interior do dispositivo foram mais altas para as tintas de alta refletividade, quando comparadas ao branco comum quando a fonte de radiação estava a 60 cm de distância. Por outro lado, as tintas altamente refletivas tendem a manter o interior "mais frio" quando as temperaturas externas são mais altas. O uso de tintas especiais de alta refletividade reduziu, para a tinta identificada como TSH-C1, a temperatura interna do protótipo em 2,8°C para a distância de 40cm da fonte de radiação e em 7,1°C para a distância de 20 cm da fonte de radiação (quando comparada à tinta comum branca à base acrílica). O estudo também mostrou que a cor do pigmento exerce grande influência sobre os resultados e, portanto, a tinta preta apresentou a pior eficiência, conforme o esperado. Outros aspectos que influenciam fortemente o comportamento térmico são: rugosidade, porosidade e composição química, a serem estudados no futuro. Embora as tintas de alta refletividade apresentem um custo mais elevado, levando em conta uma possível redução do consumo de energia elétrica no caso do uso de ar condicionado, em um período de tempo mais alto o seu uso será economicamente mais viável.

Palavras chave: Fluxo de calor. Tintas refletivas. Perfil de temperaturas. Índice de refletância. Desenvolvimento de “Datta-Logger”. Temperaturas de superfície. Termografia. Propriedades térmicas dos materiais. Análise térmica.

ABSTRACT

In this work, five paints (two common acrylic-based and three with high-reflectivity pigments) were applied to 1020 steel sheets, in order to compare and evaluate their thermal, optical characteristics and the cost-benefit relation in the use of high reflectivity instead of ordinary paints. To perform temperature measurements according to distance from the infrared radiation source and the thermal loss by convection, a device was designed and built. The results show the temperature profiles for the external and internal surfaces of the plates and for the interior of the prototype. Then, analysis of the thermal behavior of the tested configurations were made. It was also possible to predict the economic benefits or penalties when purchasing paints with high reflectivity pigments. Some other analyzes, such as the appearance of the surface and their heat flow distribution were also carried out. The results shown that, proportionally, the temperatures inside the device were higher for high-reflectivity inks, when compared to the ordinary white one, when the infrared source was 60 cm away. On the other hand, high reflectivity paints can keep the interior "cooler" when outside temperatures are higher. The use of those special inks reduced, for the sample named as TSH-C1, the internal temperature of the prototype by 2.8 °C when the material was 40cm away from the radiation source and by 7.1 °C when this distance was 20 cm from the source (when compared to the common white acrylic-based paint). The study also showed that the pigment has a great influence on the results and, therefore, the black ink shows the worst efficiency, as expected. Although high reflectivity inks have a higher cost compared to regular inks, regarding a possible reduction in electricity consumption in the case of using air conditioning, in a longer period of time, their use will be more economically viable.

Key words: Heat flux. Cool paintings. Temperatures profile curves. Reflectance index. Datta-logger development. Surface temperatures. Thermography. Materials thermal properties. Thermal analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo do princípio de transmissão de calor.....15
Figura 2 - Exemplo aplicado de transmissão de calor por condução. 17
Figura 3 - Transferência de calor por condução em parede plana. 18
Figura 4 - Simulação térmica: efeito da convecção sobre uma superfície. 19
Figura 5 - Transferência de calor por radiação entre superfícies. 21
Figura 6 - Influência dos modos de transferência de calor em superfícies.....22
Figura 7 - Espectro da radiação eletromagnética. 26
Figura 8 - Efeito da refração na microscopia óptica. 28
Figura 9 - Efeito da porosidade da superfície sobre a reflexão. 30
Figura 10 - Exemplo de cálculo de emissividade de forma indireta.....32
Figura 11 - Estrutura molecular dos pigmentos mais usados em tintas. 35
Figura 12 - Influencia da taxa de alimentação no método de deposição física de vapor na espessura e microestrutura do revestimento. a) variação da espessura. b) taxa de 10g/min. c) taxa de 15g/min. d) taxa de 20g/min. 39
Figura 13 - Porcentagem de radiação refletida em função do comprimento de onda para várias concentrações de rutilo. 40
Figura 14 - Exemplo de superfície analisada por câmera térmica.....42
Figura 15 - Método para determinação da condutividade térmica de revestimento. .43
Figura 16 - Fluxograma de caracterizações e objetivos específicos. 45
Figura 17 - Detalhe esquemático da disposição dos termistores no dispositivo.....48
Figura 18 - Medidor de espessura de revestimento. 50
Figura 19 - Detalhe dos locais de medição das espessuras dos revestimentos na chapa. 50
Figura 20 - Esquema dos fluxos de ar impostos ao modelo.....51
Figura 21 - Equipamento usado na medição da velocidade do ar.....52
Figura 22 - Câmera termográfica usada no ensaio. 54
Figura 23 - Estrutura (carcaça) do protótipo.....56
Figura 24 - Foto do dispositivo real montado. 57
Figura 25 - Sistema eletrônico para aquisição de dados de temperatura. 57
Figura 26 - Chapas de aço usadas para a medição de temperaturas.....58

Figura 27 - Gráfico dos valores de temperaturas com fonte de calor posicionada à 60cm da chapa das superfícies externas, superfícies internas e interiores do modelo, para cada tinta em análise. 61
Figura 28 - Gráfico dos valores de temperaturas com fonte de calor posicionada à 40cm da chapa das superfícies externas, superfícies internas e interiores do modelo, para cada tinta em análise. 62
Figura 29 - Gráfico dos valores de temperaturas com fonte de calor posicionada à 20cm da chapa das superfícies externas, superfícies internas e interiores do modelo, para cada tinta em análise. 63
Figura 30 - Gráfico dos valores de temperaturas com fonte de calor posicionada à 60, 40 e 20 cm da chapa e diferentes configurações de fluxo de ar. 66
Figura 31 - Gráfico do fluxo de calor em direção ao interior do modelo. 69
Figura 32 - Corpos de prova confeccionados para medição do índice de refletância. 72
Figura 33 - Gráfico do índice de refletância em função do comprimento de onda dos materiais analisados.....72
Figura 34 - Imagens ampliadas das superfícies das chapas revestidas. 76
Figura 35 - Imagem termográfica da fonte de radiação usada nos ensaios. 77
Figura 36 - Foto (a) e imagem térmica da superfície externa da chapa pintada com a amostra TC-01, com a fonte de radiação nas distâncias de 40cm (b) e 20cm (c) e sem fluxo de ar significativo. 78
Figura 37 - Foto (a) e imagem térmica da superfície externa da chapa pintada com a amostra TC-02, com a fonte de radiação nas distâncias de 40cm (b) e 20cm (c) e sem fluxo de ar significativo. 78
Figura 38 - Foto (a) e imagem térmica da superfície externa da chapa pintada com a amostra TSH-C1, com a fonte de radiação nas distâncias de 40cm (b) e 20cm (c) e sem fluxo de ar significativo. 79
Figura 39 - Foto (a) e imagem térmica da superfície externa da chapa pintada com a amostra TSH-C2, com a fonte de radiação nas distâncias de 40cm (b) e 20cm (c) e sem fluxo de ar significativo. 79
Figura 40 - Foto (a) e imagem térmica da superfície externa da chapa pintada com a amostra TSH-R1, com a fonte de radiação nas distâncias de 40cm (b) e 20cm (c) e sem fluxo de ar significativo. 79

Figura 41 - Gráfico dos valores de temperatura da superfície, para a distância de 20cm da fonte de radiação, medidas pela câmera termográfica.....82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo das propriedades térmicas para materiais de classes diferentes. 25
Tabela 2 - Valores de espessura de revestimento medidos por equipamento medidor e análise estatística do intervalo das médias e variâncias das amostras. 59
Tabela 3 - Análise de variância para alterações no fluxo de ar e interações entre amostras. 68
Tabela 4 - Análise econômica comparativa das tintas. 70
Tabela 5 - Comparação entre a refletância média no comprimento de onda no infravermelho próximo e as temperaturas externas da superfície medidas. 74
Tabela 6 - Temperaturas versus emissividades ajustadas na termografia.....81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

2 OBJETIVOS 14

2.1 Objetivo geral 14

2.2 Objetivos específicos 14

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 15

3.1 Fundamentos da transferência de calor 15

3.1.1 Transferência de calor por condução 16

3.1.2 Transferência de calor por convecção 19

3.1.3 Transferência de calor por radiação 20

3.2 Propriedades térmicas 23

3.3 Propriedades ópticas 25

3.3.1 Refração 27

3.3.2 Refletância 28

3.3.3 Absorção e emissividade 31

3.3.4 Transmissão 32

3.4 Tintas e revestimentos 33

3.4.1 Tintas poliméricas e cerâmicas 36

3.4.2 Tintas de alta refletância 37

3.5 Ensaios de caracterização térmicos 41

3.5.1 Esctrofotometria para medição da refletância 41

3.5.2 Termografia 42

3.5.3 Determinação do coeficiente de condutividade térmica 43

3.5.4 Simulações computacionais 44

4 MATERIAIS E MÉTODOS 45

4.1 Construção da estrutura do dispositivo 46

4.2 Projeto e construção do sistema eletrônico 46

4.3 Pintura das chapas de aço 49

4.4 Coleta de dados de temperatura 51

4.5 Medição do índice de refletância 53

4.6 Coleta das imagens ópticas e termográficas 53

4.7 Análise do custo-benefício 54

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 56

5.1 Análise do perfil de temperaturas 56
5.1.1 Dispositivo para medição das temperaturas 56
5.1.2 Análise da espessura dos revestimentos 58
5.1.3 Resultados da coleta das temperaturas no modelo 59
5.1.4 Cálculo do fluxo radiante para o interior do modelo 68
5.1.5 Análise do custo benefício 70
5.2 Refletividades das amostras 72
5.3 Comparação entre a radiação solar e a radiação da fonte 74
5.4 Imagens opticas e termograficas das superfícies 75

6 CONCLUSÕES 83

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 85

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS 86

APÊNDICE A - Desenhos A 1.1) da carcaça, A 1.2) da caixa de acrílica usada no protótipo e A 1.3) lista de materiais usados. 92

APÊNDICE B - Circuito eletrônico (montagem dos sensores). 97

APÊNDICE C - Tabela com temperaturas médias máximas para cada amostra em função da distância e direção do fluxo de ar. 98

APÊNDICE D - Razão percentual das temperaturas máximas absolutas (K). 100

APÊNDICE E - Fluxo de calor radiante em relação à chapa não pintada. 101

APÊNDICE F – Curvas do perfil de temperaturas medidas para os demais experimentos. 102

ANEXO A - Datasheet dos termistores. 111

ANEXO B - Datasheet do microcontrolador Arduino “MEGA”. 112

ANEXO C - Especificações técnicas do microscópio óptico digital. 118

1 INTRODUÇÃO

O uso de tintas industriais baseia-se na necessidade de proteção, seja ela anticorrosiva, térmica ou estética, nas mais diversas áreas econômicas, como na construção civil, automobilística, petrolífera entre outras. O emprego de tintas traz benefícios como por exemplo na proteção térmica e anticorrosiva, em comparação a outros métodos disponíveis comercialmente.

A indústria de tintas e vernizes é subestimada quanto à sua importância e complexidade, devido à sua enorme especificidade, seja ela estética, mecânica ou térmica (FAZENDA, 2009). De acordo com a Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas (ABRAFATI), a indústria produziu no total 1,548 bilhões de litros de tintas no ano de 2018 sendo o setor de construção civil responsável pelo consumo de 1,280 bilhões de litros deste total. Estes números mostram a importância de pesquisas relacionados ao assunto.

O uso de revestimento para cobertura de equipamentos, construções e materiais são importantes para mantê-los funcionais ou atrativos esteticamente. Uma das primeiras aplicações de tintas isolantes ou altamente refletivas deve-se a fatores como conforto térmico em construções e redução de ilhas de calor urbanas, que consequentemente, afetam a temperatura interna de ambientes. Vários estudos realizados principalmente nas décadas de 90 e 2000 (BERDAHL e BRETZ, 1997; GOLDBERG *et al.*, 2009; ROSENFELD *et al.*, 1998; SYNNEFA *et al.*, 2008; TAHA, 2008) mostraram que com o aumento do grau de isolamento usando tintas especiais, pintura de áreas urbanas com cores mais claras e plantio de árvores; as temperaturas calculadas através de ensaios empíricos e simulações em escalas urbana e global, foram menores. Promovendo consequentemente economia de energia e melhoria no conforto térmico.

Com isso, inicialmente, a maioria dos materiais, incluindo as tintas isolantes, foram desenvolvidas para aplicação em telhados convencionais e outros tipos de coberturas. Mais recentemente estão sendo aplicadas e analisadas como cobertura de outros materiais como telhados de metal e equipamentos (PISELLO, 2017).

Fontes de radiação, sejam elas térmicas ou solares, afetam a temperatura interna de ambientes. De acordo com Pisello et al. (2016), as tintas isolantes

promovem a redução de cargas para refrigeração de prédios, aumento da vida de estruturas de construções devido ao menor estresse térmico, melhora do conforto térmico interno, redução de emissões de carbono de equipamentos de refrigeração e condicionamento de ar. Além disso, reduzem os efeitos das ilhas de calor urbanas (ROSSI *et al.*, 2016). Estes benefícios são alcançados devido às suas propriedades, sendo que algumas das mais importantes são: alta refletividade, alta emissividade, baixa absortividade (define o grau de isolamento), menor transmissividade possível e condições de superfície (porosidade, rugosidade) mais adequadas.

Na área de refrigeração, apesar de ainda existirem poucas pesquisas quanto a este assunto, alguns autores já vêm realizando simulações para previsão de redução de carga de refrigeração (DIAS *et al.*, 2014). A redução de temperatura resulta em redução de potência (AKBARI e KONOPACKI, 2005) e consequente redução de custos.

Em relação à análise de constituintes, atualmente as pesquisas relacionadas a tintas e outros revestimentos de alta refletividade são inúmeras e estão bastante avançadas. Existem trabalhos sobre tintas bifuncionais com compostos poliméricos e cerâmicos, como o realizado por Xue et al. (2015); que mostra diferenças nas propriedades térmicas, ópticas e mecânicas destes materiais quando os componentes ou concentrações são variados. O trabalho realizado por Gobakis et al. (2015) mostra as relações entre pigmentos, agregados e outros componentes de revestimento inorgânico com a melhora de isolamento térmico e índice de refletância do material.

Têm-se poucos estudos comparativos diretos entre estes revestimentos especiais e em aplicações em substrato metálico. Existem poucos estudos comparativos quanto à análise destes tipos de materiais em relação a uma fonte artificial de radiação e seus comportamentos mediante a variação de distância e configurações de fluxo de ar.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

O objetivo deste estudo é analisar e comparar tintas formuladas para diferentes aplicações (proteção de substratos diversos e uso em ambientes externos e internos), a fim de se obter informações sobre suas propriedades térmicas (dados de temperatura e fluxo de calor), ópticas (refletividade) e da superfície recoberta, quando expostas à uma fonte externa de radiação e à fluxos de ar em diferentes ângulos.

2.2 *Objetivos específicos*

Como objetivos específicos deste trabalho pode-se relacionar:

a) Projetar e construir um dispositivo capaz de medir eficientemente a temperatura das superfícies interna e externa de chapas revestidas e do ar no interior do dispositivo.

b) Avaliar aspectos de superfície como comportamento do fluxo de calor e possíveis falhas ou descontinuidades do revestimento.

c) Avaliar a quantidade calor que flui para o interior do dispositivo de acordo com cada revestimento e relacioná-la com seus custos.

d) Relacionar a refletividade de cada material com seu poder de redução de temperaturas internas.

e) Relacionar estas propriedades e valores medidos com: custo, eficiência e tipo de aplicação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

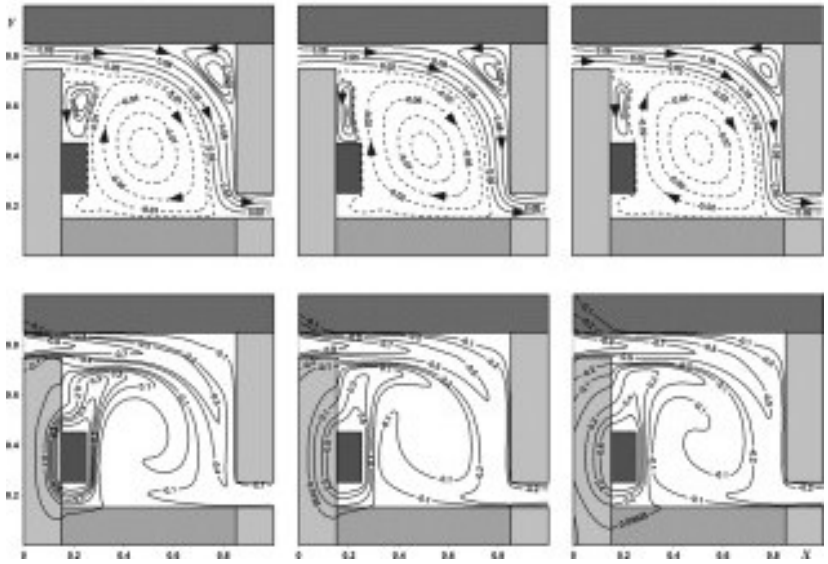
3.1 Fundamentos da transferência de calor

A transferência de calor ou simplesmente calor, é definida como sendo o fluxo de energia térmica devido à diferença de temperatura entre dois corpos, ela pode se dar por três modos diferentes: condução, convecção e radiação. O primeiro modo irá ocorrer teoricamente em um meio estacionário, em sólidos ou fluidos, o segundo ocorrerá entre uma superfície e um fluido em movimento e finalmente o terceiro modo será por meio de ondas eletromagnéticas emitidas por superfícies aquecidas a uma temperatura não nula (INCROPERA e DE WITT, 2003).

Os modos de transferência de calor raramente ocorrem de maneira isolada, portanto condução, convecção e radiação participam ao mesmo tempo do processo de transferência de calor. Desta forma é necessário considerar todos eles em projetos que envolvem trânsito de energia térmica.

A figura 1 abaixo mostra o fluxo de calor em uma área retangular com escoamento de ar laminar, em trabalho ferito por Kuznetsov e Sheremet (2010), como exemplo dos modos de transferência de calor (convecção e condução).

Figura 1 - Exemplo do princípio de transmissão de calor.



Fonte: Kuznetsov e Sheremet (2010).

Neste trabalho, uma resistência elétrica foi colocada junto a uma das paredes desta área retangular, com o objetivo de simular um dispositivo microeletrônico e assim analisar os efeitos de diferentes tipos de escoamentos de ar para uma transferência de calor mais eficiente.

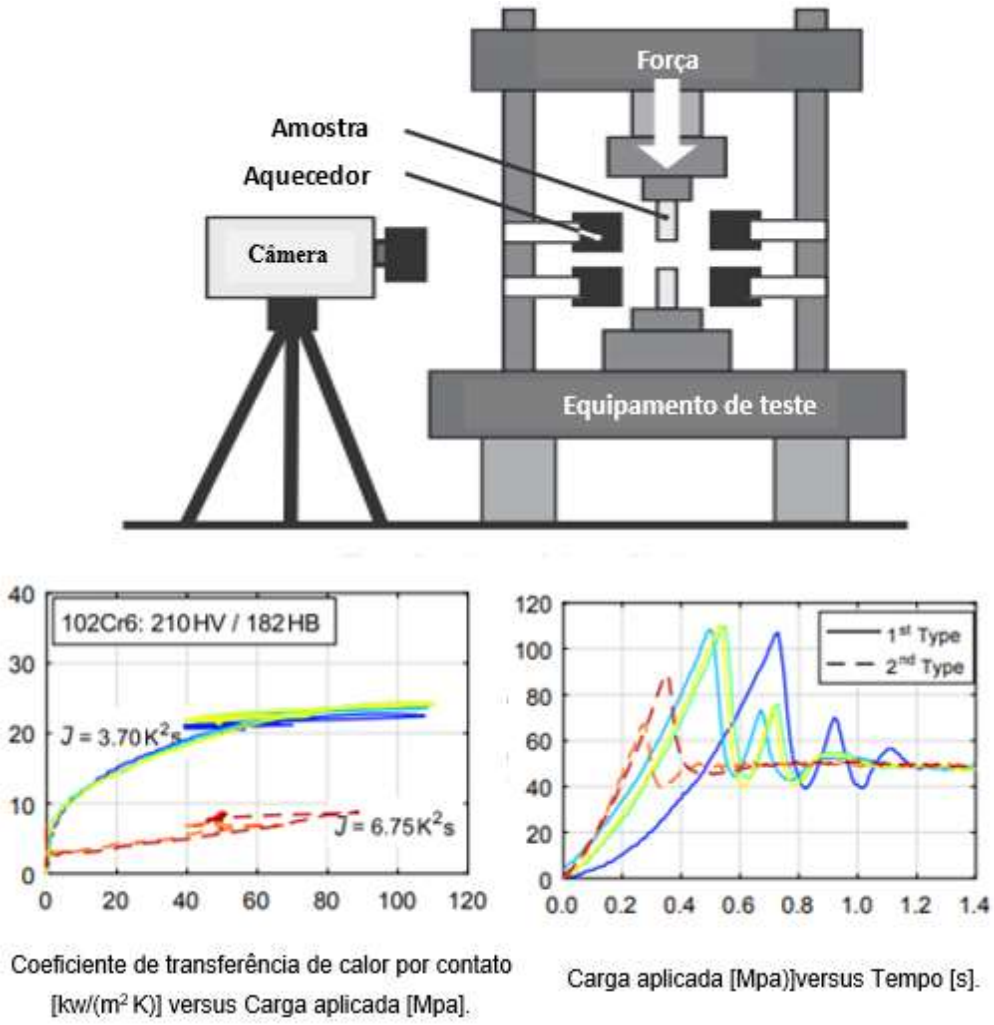
3.1.1 *Transferência de calor por condução*

De acordo com Çengel e Ghajar (2012), o processo físico da condução ocorre a partir da transferência de energia térmica das partículas mais energéticas do meio para as partículas menos energéticas adjacentes. Caso uma extremidade do material esteja em contato com uma fonte de calor, os átomos desta extremidade começarão a vibrar mais, em maior frequência, e esta vibração será transmitida aos átomos adjacentes até que todo o material tenha a mesma temperatura da superfície exposta.

Burghold, Frekers e Kneer (2017), mostram o principio da condução de calor entre duas barras em contato, em experimento para quantificar e avaliar a fluxo de calor em função da resistência de contato. A figura 2 mostra o equipamento utilizado no experimento e os resultados obtidos graficamente do coeficiente de transferência de calor de contato. Durante o contato entre duas amostras em função da carga aplicada, além do valor desta carga em função do tempo, outros fatores que influenciam na condutividade do material, conforme mostrado pelos autores; são: a rugosidade e no caso de aplicação de uma carga seu comportamento.

Ainda de acordo com os autores, experimentos como este podem ser úteis para se projetar, com mais eficiência, máquinas e ferramentas (motores à combustão e ferramentas de usinagem, por exemplo) que sofrem influência da transferência de calor.

Figura 2 - Exemplo aplicado de transmissão de calor por condução.



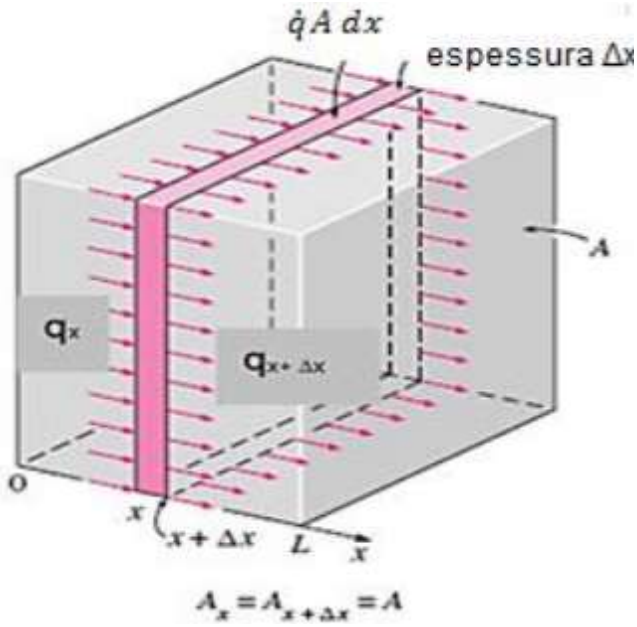
Fonte: Burghold, E. M.; Frekers, Y. e Kneer, R. (2017).

A força motriz para a transferência de calor é a diferença de temperatura (ÇENGEL e GHAJAR, 2012); para o caso de um corpo plano de espessura constante, uma simplificação bastante utilizada é a ‘parede plana’ (Figura 3). Esta relação é traduzida através da lei de Fourier (Eq. 1).

$$q"x = -k.\frac{dT}{dx} \quad (1)$$

- q”x = fluxo de calor na seção transversal [W/m^2].
- k = condutividade térmica do material.
- dT= variação de tempratura entre os meios.
- dx = espessura do corpo.

Figura 3 - Transferência de calor por condução em parede plana.



Fonte: Modificado de Çengel e Ghajar (2012).

Considerando que a parede de uma residência ou qualquer outra construção seja plana, pode-se propor a equação transferência de calor. A partir dos valores de temperatura medidos na superfície externa e interna desta parede e do conhecimento prévio da condutividade térmica do aço (material usado como substrato) é possível obter a distribuição de temperaturas nesta parede.

Considerando regime estacionário, sem presença de fontes ou sumidouros, temos a equação do calor na forma: $\frac{d}{dx}\left(k\frac{dT}{dx}\right) = 0$. O fluxo térmico é então constante e independe de x.

Agora, considerando que a condutividade térmica (k) é constante, a equação pode ser integrada duas vezes obtendo a forma geral: $T(x) = C_1 x + C_2$ (a).

Usando $T(0) = T_{s,1}\ e\ T(L) = T_{s,2}$; como condições de contorno, obtêm-se: $T_{s,1} = C_2$ e $T_{s,2} = C_1 L + C_2$ ou $C_1 = \frac{T_{s,2} - T_{s,1}}{L}$ (b).

Substituindo (b) na solução geral (a) obtemos a equação 2:

$$T(x) = \left(T_{s,2} - T_{s,1}\right)\frac{x}{L} + T_{s,1} \qquad (2)$$

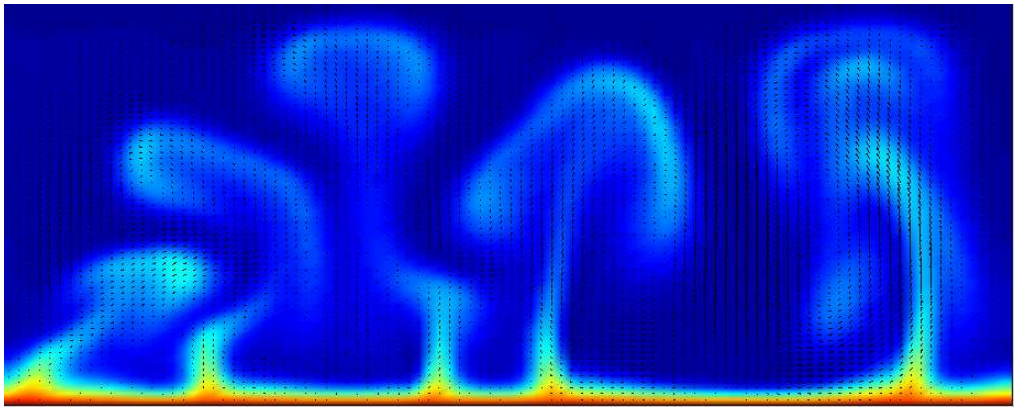
Onde os índices 1 e 2 indicam as temperaturas nas superfícies externa e interna da chapa, L sua espessura e x a distância a partir da superfície em que se deseja saber a temperatura.

Novamente, usando esta equação, conhecendo as temperaturas das superfícies externa e interna, sua área e a condutividade térmica do substrato, podemos estimar a condutiividade térmica da tinta em análise.

3.1.2 *Transferência de calor por convecção*

A transferência de calor por convecção é fortemente influenciada pelo movimento de um ou mais fluidos que compõe o sistema em análise. É composta pelos mecanismos de difusão (movimento das moléculas) e pelo movimento global do fluido (INCROPERA e DE WITT, 2003). Um bom exemplo é mostrado na imagem abaixo (Figura 4), onde uma simulação, no domínio de duas dimensões, feita no software Matlab, traz o movimento de convecção natural de um fluido exposto a uma fonte de calor na parte inferior.

Figura 4 - Simulação térmica: efeito da convecção sobre uma superfície.



Fonte: The MathWorks, Inc., 1994-2020. Disponível em: https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/38093-rayleigh-benard-convection?focused=5247038&tab=function. Acesso em 08 de agosto de 2018).

Este modo ainda pode ser classificado por convecção natural ou forçada e a expressão básica que traz o fluxo de calor convectivo é lei de resfriamento de Newton (Eq. 3).

$$q" = h.(Ts - T_\infty) \quad (3)$$

- q” = fluxo de calor convectivo na superfície do corpo [W/m^2].
- h = coeficiente de convecção térmico do material.
- Ts = temperatura da superfície do corpo.
- T_∞ =temperatura do ambiente.

O coeficiente convectivo (h), depende das propriedades do fluido usado e de sua velocidade relativa no meio (INCROPERA e DE WITT, 2003).

3.1.3 *Transferência de calor por radiação*

Conforme explicado por Incropera e De Witt (2003), a radiação térmica é energia emitida por toda matéria que se encontra a uma temperatura finita. Ela pode ser emitida por sólidos, liquidos ou gases, porém o foco deste trabalho estará na emissão de radição de sólidos.

A radiação emitida por uma superfície (Figura 5) é governada pela lei de Stefan-Boltzmann (Eq. 4).

$$E_b = \varepsilon . \sigma . T_S^4 \quad (4)$$

- E_b = poder emissivo da superfície.
- σ = constante de Stefan-Boltzman (5,67.10^{-08} W/m^2.K^4).
- T_s = temperatura absoluta da superfície [K].
- ε = emissividade da superfície (0≤ε≤1).

Já a radiação absorvida (G_{abs}) por uma superfície é regida pela equação 5:

$$G_{abs} = \alpha . G \quad (5)$$

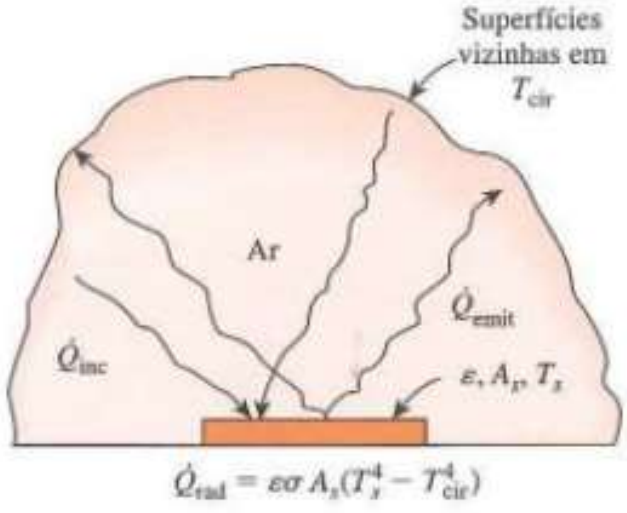
- α = absorvidade (0 ≤ α ≥ 1).
- G = irradiação.

A lei final para o fluxo de calor por radiação, consiste na diferença entre as energias absorvidas e emitidas pelo corpo considerado (Eq. 6).

$$q"_{rad=} \varepsilon . E_{b.}(T_s^4) - \alpha . G = \varepsilon . \sigma . (T_S^4 - T_{viz}^4) \quad (6)$$

- $q"_{rad}$ = taxa liquida de transferencia de calor por radiação [W/m^2].
- T_{viz} – temperatura do ambimente [K].
- T_s – temperatura da superfície do corpo [K].

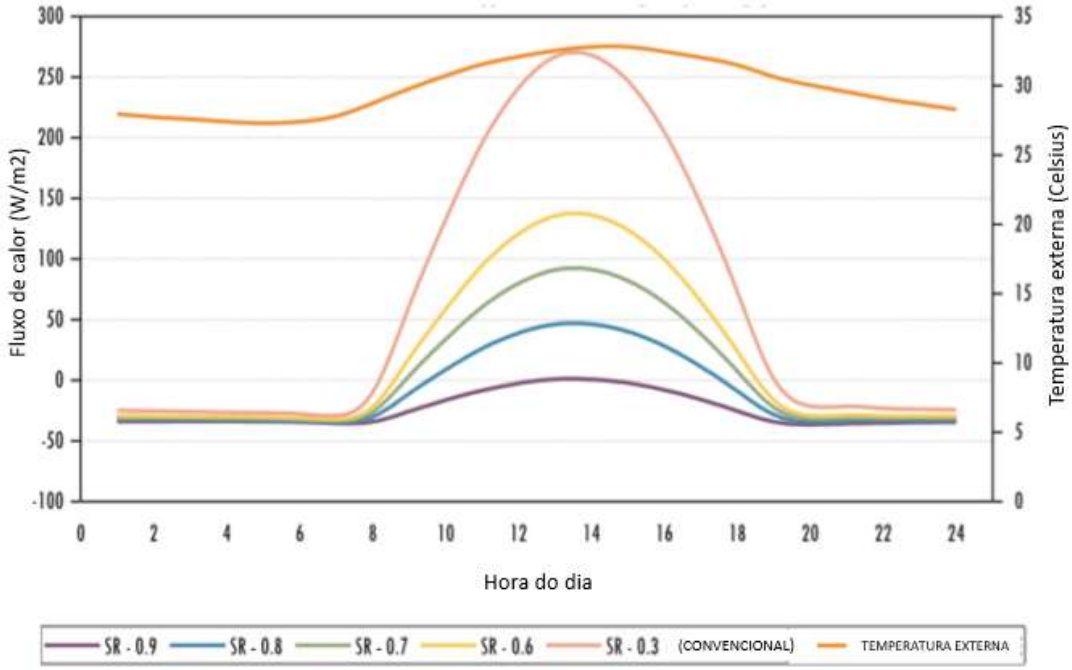
Figura 5 - Transferência de calor por radiação entre superfícies.



Fonte: Çengel e Ghajar (2012).

A performance de tintas isolantes e altamente refletivas, principalmente em ambientes externos, são afetadas pelos três modos de transferência de calor (radiação solar, convecção causada pelos ventos e condução variada de acordo com o material do substrato e da cobertura); como simulado em Yang et al. (2018), mostrado para o clima de Singapura (Figura 6).

Figura 6 - Influência dos modos de transferência de calor em superfícies.



Fonte: Yang et al. (2018).

Os autores mostraram que o fluxo de calor que flui através de determinado material depende, da sua refletância solar e de outras variáveis climáticas como características do espectro solar no local, temperatura ambiente, umidade relativa, precipitação e poluição.

Neste caso, se considerarmos todos estes parâmetros que afetam o isolamento e a transferência de calor, o fluxo convectivo é muito difícil de ser simulado ou previsto (LEVINSON *et al.*, 2005 e 2010).

Por este motivo, as medições de valores de temperatura serão feitas em ambiente com temperatura constante e umidade controlada (laboratório), sem ação externa, onde se levará em consideração principalmente a transferência de calor por radiação (o fator condutivo pode ser reduzido satisfatoriamente por meio de isolamento). Então, a radiação solar incidente, ou no escopo deste trabalho, por um meio artificial (como iluminação), pode gerar a energia térmica que será absorvida pelo corpo; sua emissão é uma característica intrínseca de cada material utilizado.

Deixando, portanto, os dados obtidos possíveis de serem tratados no tempo e com os recursos disponíveis.

3.2 Propriedades térmicas

Algumas propriedades térmicas devem ser consideradas para a escolha das variáveis a serem analisadas neste trabalho. Algumas delas foram levadas em conta na metodologia para escolha dos materias para a construção do modelo e na análise dos resultados obtidos.

As propriedades térmicas referem-se à resposta de um material à aplicação de calor (CALLISTER JR., 2008).

A primeira propriedade a ser descrita é a capacidade calorífica (C) mais comunmente usada como calor específico (c), que significa a capacidade calorifíca por unidade de massa.

Esta propriedade pode ser medida de duas maneiras; enquanto se mantém constante o volume da amostra (capacidade calorífica a volume constante - c_v) ou quando se aplica um pressão externa constante (capacidade calorífica a pressão constante - c_p). (VAN WYLEN, SONNTAG, e BORGNAKKE, 2009). É representada pelas equações 7 e 8.

$$c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v \tag{7}$$

$$c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p \tag{8}$$

- c_v = calor específico à volume constante
- c_p = calor específico à pressão constante
- ∂u = variação de energia interna
- ∂h = variação de entalpia
- ∂T = variação de temperatura

Outra propriedade muito importante é o coeficiente de expansão térmica (α_T) do material. Mudanças de temperatura podem distorcer componentes se um material com coeficiente de expansão térmica diferente for usado (ZHU; ZHENG; YANG, 2015). No uso em conjunto de dois materiais, os coeficientes de expansão devem ser

ao menos similares, a fim de se evitar descolamento ou distorções com o aumento da temperatura.

Sabe-se que o coeficiente de expansão térmica é determinado pelos potências interatômicos não harmônicos que ligam os átomos da rede. Para um oscilador harmônico, a média de deslocamento é igual a zero independentemente da amplitude de oscilação. Por outro lado, para um oscilador não harmônico, um deslocamento médio depende da amplitude de oscilação, consequentemente da temperatura (BURMISTROV *et al.*, 2016).

Assim, o coeficiente de expansão térmica depende do tipo de ligação interatômica do material. Como geralmente os polímeros (principal base para tintas isolantes), possuem ligações mais fracas entre suas cadeiais comparadas à rede cristalina metálica, estes; têm um coeficiente de expansão térmica muito maior que os metais, e portanto, o polímero não terá problemas em acompanhar a expansão do metal.

Finalmente a condutividade térmica (K), que refere-se à quantidade de calor que é transferida em um sólido depende da tempeartura (a condutividade térmica do material diminui com o aumento da tempeartura), também depende do tipo de ligação, empacotamento e arranjos atômicos (VAN VLACK, 2000). É de grande importância neste trabalho pois caracteriza a habilidade de um material em transferir calor.

A tabela 1 fornece comparativos entre capacidades caloríficas a pressão constante e conductividades térmicas de alguns metais e polímeros.

Tabela 1 – Comparativo das propriedades térmicas para materiais de classes diferentes.

Material	Cp (J/Kg.K)	k [(W/m.K)
	Metais	
Alumínio	900	247
Cobre	386	398
Ouro	128	315
Ferro	448	80
Níquel	443	90
Tungstênio	138	178
Aço 1025	486	51,9
Aço inoxidável 316	502	15,9
	Polímeros	
Polietileno de alta densidade	1850	0,46 - 0,50
Polipropileno	1925	0,12
Poliestireno	1170	0,13
Teflon	1050	0,25
Baquelite	1590 - 1760	0,15
Náilon 6,6	1670	0,24

Fonte: Modificado de Callister Jr. (2008).

Nos metais, os valores de condutividade térmica são relativamente altos (devido à existência de eletróns livres), já nos polímeros e compósitos com base polimérica, são baixos; o que influencia na redução do fluxo de calor para o interior de um sistema com tinta isolante aplicada.

3.3 Propriedades ópticas

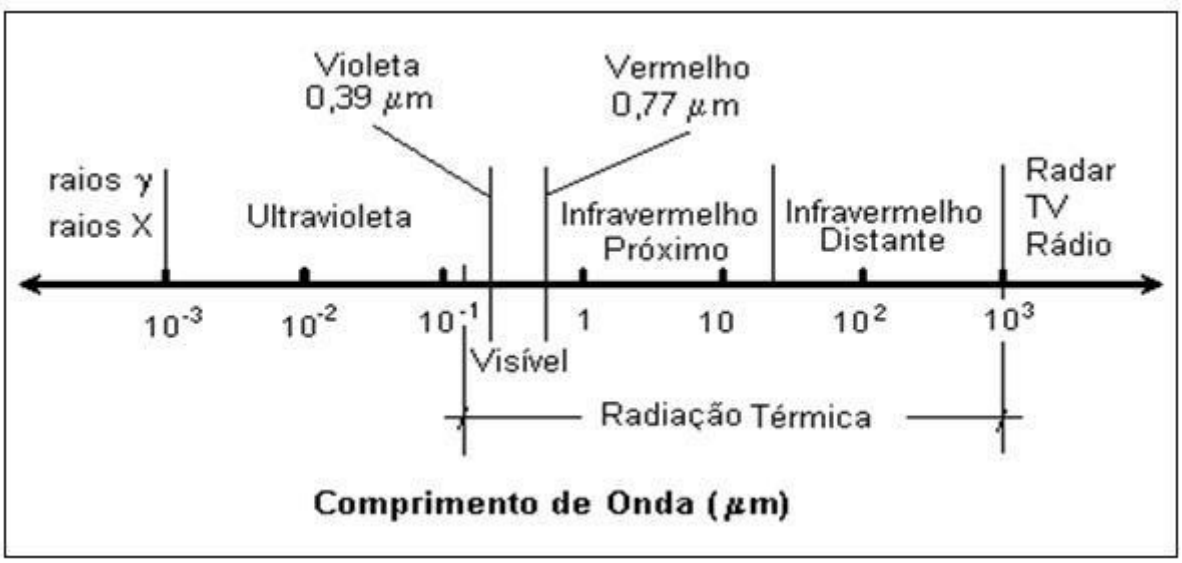
Os valores de refletividade, emissividade e absortividade de cada tinta isolante, são fatores que determinam a eficiência de seu poder de isolamento térmico. A adição de óxidos metálicos ou componentes cerâmicos em tintas com base

polimérica (tornando o material em um compósito) irão influenciar nestas propriedades.

Entende-se como comportamentos ou propriedades ópticas, o modo o qual o material irá refletir, absorver ou transmitir, especialmente a luz visível, quando expostos a ela (SHACKELFORD, 2008).

A luz e o calor, são radiações eletromagnéticas, estas radiações possuem componentes de campo elétrico e magnético. O espectro de radiação vai dos raios gama passando pelos raios X, ultravioleta, visível, infravermelho e até as ondas de rádio (Figura 7).

Figura 7 - Espectro da radiação eletromagnética.



Fonte: Blog Meteorotica. O espectro eletromagnético, 31 de janeiro de 2012. Disponível em: http://meteorotica.blogspot.com/2012/01/o-espectro-eletromagnetico.html. Acesso em: 19 de fevereiro de 2020.

A radiação solar possui as componentes ultravioleta, visível e infravermelha (VAREJÃO-SILVA, 2001) e pode ser simulada com o uso de lâmpadas adequadas.

A energia presente em um componente da radiação eletromagnética (fóton) pode ser relacionada pela equação nove:

$$E = h.v = \frac{h.c}{\lambda} \quad (9)$$

- E = energia de um fóton (eV)

- h = constante de Planck ($6{,}63.10^{-34}$ J.s)
- v = frequência (hertz)
- c = velocidade da luz (m/s)
- λ = comprimento de onda (m)

Ou seja, cada campo do espectro possui uma energia diferente. Esta energia pode ser capaz de excitar os elétrons do material promovendo transições eletrônicas, alterar os modos vibracionais, mudando assim o estado do material.

A luz pode também ter uma parte de sua intensidade absorvida (I_a), transmitida (I_t) ou refletida (I_r) quando ocorre a interação com um sólido. Estas componentes podem ser transformadas em absorvidade (A), transmissividade (T) e refletividade (R) se dividirmos cada parcela pela intensidade total do feixe (I_o), como mostrado pela equação 10.

$$T + A + R = 1 \tag{10}$$

- $T = I_t/I_o$
- $A = I_a/I_o$
- $R = I_r/I_o$

Cada material terá estes componentes em quantidades ou teores diferentes. Por exemplo, em materiais considerados transparentes a maior parte da radiação incidente será transmitida, enquanto em materiais tidos como opacos nenhuma radiação incidente será transmitida (haverá apenas reflexão e absorção) (CALLISTER JR., 2008).

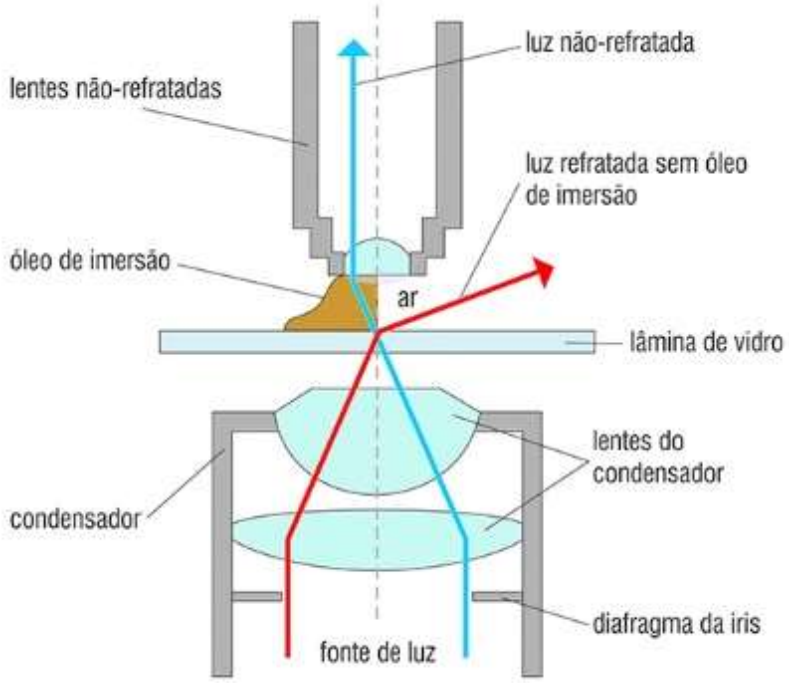
3.3.1 *Refração*

Quando a luz se propaga do ar para o interior de um material transparente seu caminho é alterado (SHACKELFORD, 2008), e esse fenômeno é denominado refração.

O índice de refração (n) é dado por: $n = \frac{c}{v}$, onde c é a velocidade da luz no vácuo e v a velocidade da luz no material considerado. É uma medida indireta da velocidade da luz no material comparada à sua velocidade no vácuo (VAN VLACK, 2000).

Este efeito é usado por exemplo para identificação de materiais ou estruturas na microscopia óptica quando na análise de uma amostra (Figura 8).

Figura 8 - Efeito da refração na microscopia óptica.



Fonte: Blog Mcientífica. Componentes de um microscópio, 21 de outubro de 2014. Disponível em: http://www.blog.mcientifica.com.br/componentes-de-um-microscopio/ . Acesso em: 02 de janeiro de 2019.

3.3.2 *Refletância*

A refletância (R), representa a fração de luz incidente (I_o) que é refletida na interface (I_R): $R = \frac{I_R}{I_o}$ ou $R = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$. Assim, materiais com alto "n" também são altamente refletivos (SHACKELFORD, 2008).

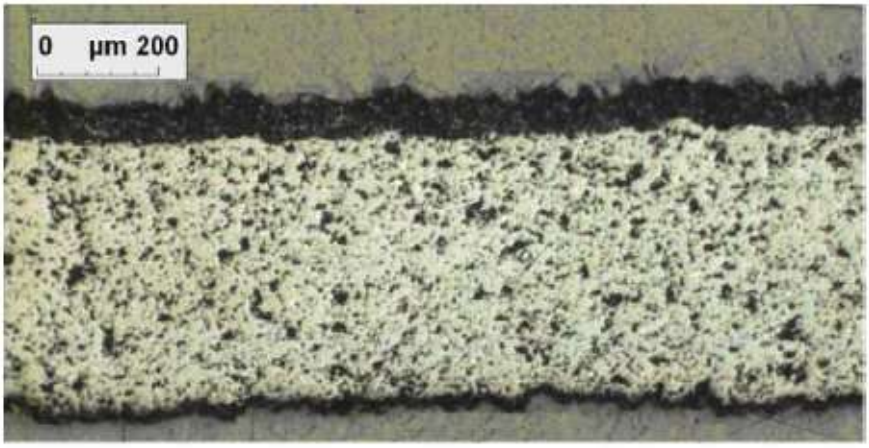
Pode-se dizer que, materiais mais refletivos terão maior poder de ‘resfriamento’, sua superfície terá menor temperatura quando comparado a materiais não refletivos (TESTA e KRARTI, 2017).

Efeitos de redução de temperatura devido à refletividade são devidos a características da superfície (rugosidade e porosidade). Em superfícies muito rugosas ondas incidentes podem ser refletidas mais de uma vez, aumentando a probabilidade de absorção de energia (BERDAHL e BRETZ, 1997).

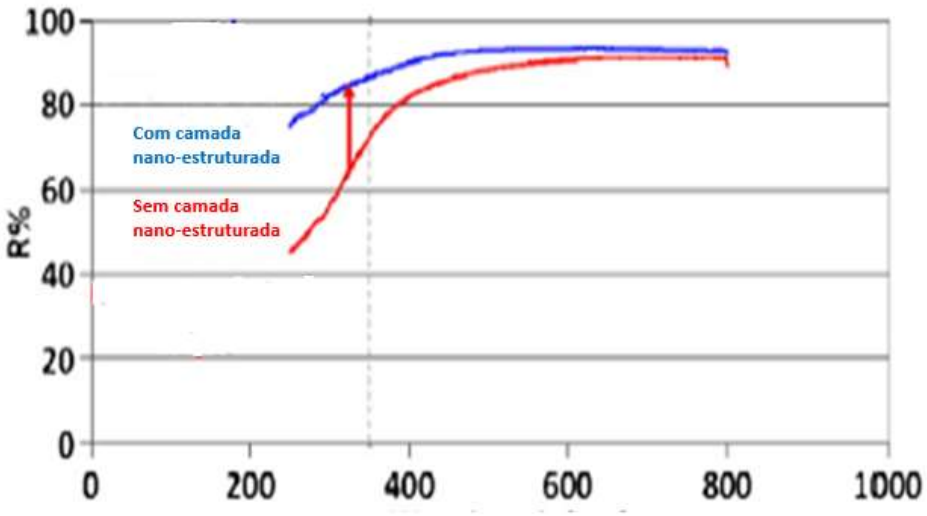
A relação entre porosidade, o tamanho e distribuição dos poros é muito importante. Superfícies com poros de diâmetros maiores refletem melhor radiação com comprimentos de onda maiores, enquanto poros menores melhoram a refletividade em comprimentos de onda menores. Esta diminuição de temperatura devido ao aumento na porosidade pode ser explicada pela teoria de Mie (poros de tamanhos maiores, não espalham eficientemente a radiação de comprimentos menores (MARTHE *et al.*, 2013), (Figura 9).

Figura 9 - Efeito da porosidade da superfície sobre a reflexão.
a) Imagem de microscopia óptica das camadas com poros micro e nano métricos. b) Relação do tamanho de poros com a refletividade.

a)



b)



Fonte: Marthe et al. (2013).

Ou ainda a redução de temperatura superficial pode ser devido a um composto específico, por exemplo; o dióxido de titânio que reflete mais a luz, melhorando a refletividade da superfície (IKEMATSU, 2007).

3.3.3 *Absorção e emissividade*

De acordo com Novo et al. (2014), a intensidade de radiação absorvida (I_a) pode ser usada parte para aumento da temperatura do material e parte pode ser irradiada para o ambiente, esta parte irradiada novamente consiste na emissividade do material. Em materiais que possuem superfície (sólidos e líquidos), o valor da emissividade bem como das outras propriedades radiativas dependem da rugosidade superficial, da temperatura, do comprimento de onda e do ângulo da radiação incidente.

Materiais com alta emissividade (capacidade de emitir calor) promovem o resfriamento radiativo. Materiais metálicos possuem baixa emissividade e a aplicação de revestimento com valores de emissividade maiores, aumenta a emissividade da superfície (MARTHE *et al.*, 2013).

De acordo com Fazenda (2009), os fatores que influenciam na emissividade da tinta, podem ser classificados como intrínsecos e extrínsecos.

Os fatores intrínsecos podem ser devido a:

- Dopagem da tinta: a dopagem ocorre com a adição de agentes que aumentam a absorção e emissão. Estes agentes podem ser óxidos, carbetos e nitretos. Estes materiais devem apresentar semicondutividade.

O aumento da absorção e da emissão se dá devido ao espaçamento entre as bandas de valência e condução. Quando os elétrons excitados pelo aumento de temperatura retornam ao seu estado normal emitem energia.

Materiais semicondutores possuem valores de emissividade maiores e a escolha do material adequado depende da temperatura de trabalho, pois existe uma emissividade ótima para cada comprimento de onda.

E os fatores extrínsecos são:

- Espessura da tinta: um aumento na espessura reduz a transmissividade, contribuindo assim para aumento das parcelas de reflexão e absorção. Porém existe um valor de espessura crítica que deve ser levado em conta para aplicação do material na superfície. Esta espessura crítica muda em função da composição da tinta.
- Adesão, coesão: uma superfície mais rugosa promove uma maior difusão da radiação incidente e uma propagação mais uniforme em todas as direções da energia emitida. Uma superfície mais rugosa apresentará maior superfície de

contato entre a tinta e radiação emitida, resultando em uma maior absorção. O tamanho das partículas tem relação com a adesão na superfície, pós ultrafinos aderem melhor.

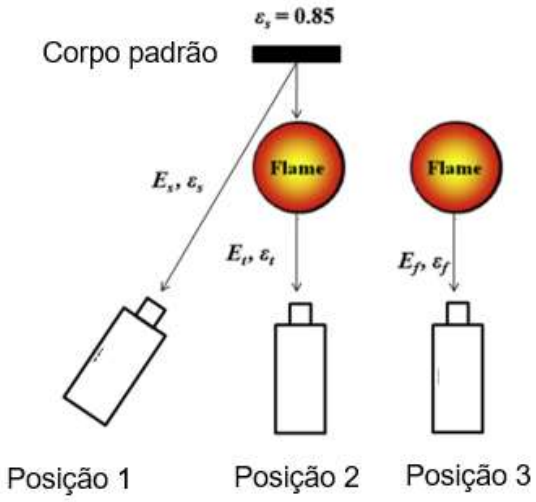
3.3.4 *Transmissão*

Para um feixe de elétrons com intensidade I_o, que atinge a superfície de uma amostra com espessura l e coeficiente de absorção β, a intensidade transmitida (transmissividade) na face posterior (I_T) é dado pela equação 11:

$$I_T = I_o.(1-R)^2 e^{-\beta} \tag{11}$$

Onde R é a refletividade do material. Este fenômeno é usado em vários métodos empíricos como por exemplo, medir a emissividade de chamas geradas por combustível usando termografia. Raj e Prabhu (2017), mediram a intensidade de radiação emitida por um corpo padrão, a intensidade emitida pelo corpo e pelas chamas simultaneamente e somente pelas chamas (objeto de estudo). A intensidade de radiação proveniente do corpo padrão depende da transmissividade das chamas no segundo caso.

Figura 10 - Exemplo de cálculo de emissividade de forma indireta.



Fonte: Raj e Prabhu (2017).

A figura 10 mostra os posicionamentos da câmera termográfica. Também foram formuladas equações que relacionam emissividade, transmissividade e temperatura do corpo e das chamas e assim; a emissividade das chamas foi escolhida tendo em mente que ela é menor que a do corpo padrão, e que a emissividade total é maior que a da chama e que a do produto transmissividade da chama e emissividade do corpo.

Considerando as superfícies opacas, a transmissividade será nula, então a radiação que incide em uma superfície terá apenas as componentes de absorvidade e refletividade.

3.4 Tintas e revestimentos

Os primeiros materiais usados como tintas datam da pré-história com a pintura em cavernas, seu uso como meio estético e como proteção se deu somente com os egípicios que usavam as tintas como proteção e selagem de embarcações (FAZENDA, 2009).

Os componentes básicos das tintas são: a resina (parte não volátil da tinta que serve para reter as partículas de pigmentos), os pigmentos (material insolúvel no meio que confere cor, opacidade, características como resistência e efeitos ópticos como grau de refração, reflexão e absorção), os aditivos (material que quando adicionado proporciona melhora nas propriedades das tintas, como por exemplo visosidade, opacidade, estabilidade ambiental, etc.) e solventes (líquido volátil para dissolver a resina) (RAMDÉ, ECCO e ROSSI, 2017).

As tintas comercialmente mais usadas são formadas por polímeros orgânicos. Estes tipos de tintas possuem certas vantagens em relação às inorgânicas, como pigmentos com maior cor, brilho e melhor poder de tingimento.

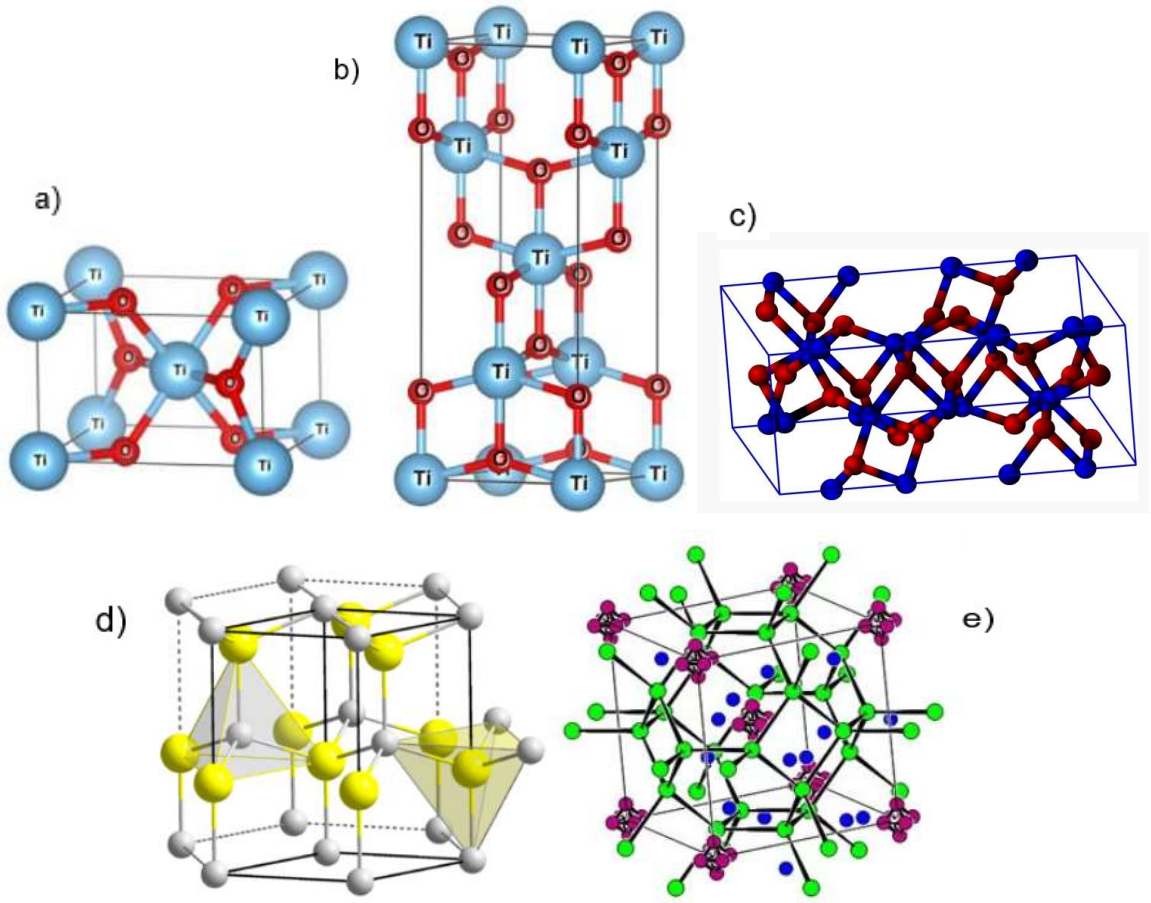
As tintas poliméricas apresentam a desvantagem de mudar a cor e perder o brilho quando expostas à radiação solar (principalmente pelo raios ultravioleta) e degradação. Para contornar este problema são adicionados pigmentos inorgânicos em sua formulação. Outra desvantagem está em sua baixa estabilidade térmica (RAMDÉ, ECCO e ROSSI, 2017).

As tintas isolantes, alvo deste trabalho são compostas usualmente por uma base polimérica, onde são adicionados pigmentos inorgânicos que podem ser os mais diversos. Estes pigmentos devem apresentar alta refletividade no espectro solar e alta emissividade no espectro infravermelho (GENTLE, AGUILAR e SMITH, 2011).

Os pigmentos inorgânicos são componentes que garantem melhoras das propriedades ópticas e térmicas às tintas, necessárias a aplicações de alto desempenho e que de acordo com Fazenda (2009), estes pigmentos inorgânicos podem ser naturais ou sintéticos e os mais utilizados são:

- Dióxido de titânio (TiO_2) – Possui estrutura cristalina tetragonal (Rutilo - figura 11a) ou ortorrômbica (Anatase e bruquita - figura 11b), sendo que o rutilo é mais compacto. Por este motivo possui alto índice de refração e opacidade (que depende do tamanho da partícula).
- Óxidos de ferro (FeO, FeO_3) – São pigmentos não tóxicos, de baixo custo, estáveis e podem ser produzidos em diversas cores (Hematita - figura 11c).
- Cromatos de chumbo – Possuem estrutura ortorrômbica instável, alta limpidez, alta opacidade, boa resistência e propriedades reológicas.
- Cromatos de zinco – Usados em ‘primers’ anticorrosivos.
- Verdes de cromo – Possuem alta estabilidade química e a luz. Devem ser usados em ambientes com pH não alcalino e em camuflagem devido à sua alta refletância no espectro infra vermelho.
- Azul de prússia ($Fe_4[Fe(CN)_6]_3$) – Possui boa resistência a ácidos, baixa resistência a álcalis e são usados em tintas para impressão.
- Sulfetos e sulfoselenetos de cádmio - Possuem estabilidade a altas temperaturas, boa durabilidade e alta resistência ao ultravioleta, resistência a ácidos e álcalis diluidos (Figura 11d). Além disso o pigmento possui boa dispersibilidade e grande poder de tingimento.
- Azul ultramar – ($Na_6Al_6Si_6O_{24}S_4$) – Possui resitência a luz, estabilidade térmica para temperaturas acima de 350℃, resistência a solventes e álcalis (Figura 11e). Em contrapartida possui baixa resistência a ácidos e baixa dispersibilidade (hidrofílico). São usados como alvejante.

Figura 11 - Estrutura molecular dos pigmentos mais usados em tintas.



Fonte: a) e b) ResearchGate. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Estruturas-Cristalograficas-do-dioxido-de-titanio-a-rutilo-b-anatase_fig3_275716843. c) Química gera. Departamento de química da UFMG, 21 de agosto de 2012. Disponível em: http://zeus.qui.ufmg.br/~qgeral/?attachment_id=356; d) Wikiwand. Sulfeto de Cádmio. Disponível em: https://www.wikiwand.com/pt/Sulfeto_de_c%C3%A1dmio; e) produtos Kolortek. Disponível em: http://www.kolortek.com/product.php?iniMain=3. Acessos em 10 de setembro de 2019.

Alguns outros pigmentos muito usados são:

- Fosfato de zinco – Possui alta resistência a passagem de água e sais (efeito de barreira) e fazem a polarização formando áreas anódicas e catódicas (efeito químico).
- Titanatos de níquel e cromo – Possuem alto poder de cobertura, resistência térmica superior aos óxidos de ferro porém possuem baixo poder de tingimento e em altas concentrações ocorre perda de brilho.
- Bismuto vanatados ($BiVO_4$) – Possuem alta solidez a luz e intempéries e alta densidade, porém baixo poder de tingimento e baixa resistência ao ácido clorídrico.

- Azuis e verdes de cobalto – Possuem alta resitência térmica, à intempéries e baixo poder de tingimento. São usados em climas agressivos e em aplicações com altas cargas térmicas. São produzidos ainda, os óxidos de zinco e de cromo; o negro de fumo; o silico aluminato de sódio.

Os pigmentos inorgânicos portanto aumentam a reflexão da luz proporcionando redução da temperatura em sua superfície (devido a menor energia absorvida) e consequentemente protegem o material da degradação por ultravioleta, devido a sua característica conhecida como agente de ocultação, que está associada ao fenômeno de absorção e reflexão a determinados comprimentos de onda do espectro (PISELLO *et al.*, 2016).

De acordo com Saron e Felisberti (2006), o mecanismo de ação destes pigmentos depende de suas características físicas e químicas. Os pigmentos escuros atuam como um corpo negro, absorvendo principalmente radiações solares mais energéticas como as ultravioletas, que provocam a degradação do material, emitindo radiações menos energéticas e não alterando a estrutura do polímero.

Pigmentos brancos refletem a luz incidente no polímero, a qual é capaz de provocar degradação e, por isso, também podem atuar como agentes de ocultação. Frequentemente, os pigmentos de cores escuras são mais eficazes para a estabilização de polímeros que os de cores claras. Dentre os pigmentos não coloridos mais utilizados destacam-se o dióxido de titânio (branco) e o negro de fumo (preto).

3.4.1 *Tintas poliméricas e cerâmicas*

Os polímeros são muito usados no setor de tintas, as principais resinas poliméricas são: alquídicas, poliésteres, epóxis, acrílicas, vinílicas, borracha clorada, maléicas, melamínicas, uréicas e poliuretânicas. A curas destas tintas são normalmente processo de polimerização, etapa de grande importância na obtenção das propriedades desejadas (FAZENDA, 2009).

Os polímeros usados em tintas possuem grupos funcionais em suas cadeias que possibilita outra etapa de polimerização, conhecida como cura de tintas

termoconversíveis. Esta segunda etapa acontece somente após a aplicação da tinta (FAZENDA, 2009).

Já os revestimentos cerâmicos são usados em aplicações de engenharia proteção estrutural, prolongamento de vida de ferramentas de fabricação, porém este revestimentos possuem limitações devido a sua baixa tenacidade (WANG e ZHANG, 2014).

Estes revestimentos cerâmicos podem servir também como barreira; como o usado por Ananthapadmanabhan et al. (2015), em pesquisas a respeito de revestimento composto de óxido de ítrio (Y_2O_3), aplicado por deposição à plasma, contra corrosão por urânio derretido. Este material tem pouca reatividade com o urânio e, portanto, é efetivo contra corrosão.

Tintas com carga cerâmica, usadas com propósito de isolamento térmico, são normalmente dotadas de microesferas ocas, funcionando como barreira para as ondas de calor. Ocorre mudança no grau de absorção da superfície, estas barreiras refletem, circulam e distribuem o calor, assim durante o inverno o calor é mantido no interior do ambiente e durante o verão no exterior. As particulas cerâmicas possuem baixa densidade e são ideais para locais que não suportam altas cargas, como telhados ou painés finos por exemplo (AZEMATI et al. 2013).

3.4.2 *Tintas de alta refletância*

De acordo com Synnefa, Santamouris, and Akbari (2007) e com Uemoto, Sato e John (2010); os materiais mais usados ou em estado de desenvolvimento para uso como isolantes de alta refletância (chamadas de “cool paints”), são compostos por pigmentos inorgânicos de óxidos metálicos como por exemplo, o óxido de titânio (TiO_2) ou por cargas como microesferas ocas de vidro.

Alguns materiais são ainda mais avançados (possuem maior poder de isolamento). Estes, foram estudados por Revel, Martarelli, Emiliani, Gozalbo, et al. (2014); por Revel, Martarelli, Emiliani, Celotti, et al. (2014) e por Ramamurthy et al. (2015). Possuem compostos como o alumínio-cobalto (CoAl), ferro-cromo (FeCr) e níquel-antimônio-titânio (Ni-Sb-Ti).

Finalmente, materiais que apresentam mudança de fase (PISELLO ET AL. 2016) estão sendo desenvolvidos como forma de proteção térmica. Estes materiais promovem o aumento das características citadas como alta refletividade, absorção da radiação ultra violeta e isolamento.

Os materiais citados são usados para diversas aplicações como na proteção de estruturas metálicas contra corrosão: Emira (2013), formulou e testou tintas com adição de caulin calcinado, em concentrações diferentes, para proteção de substrato de aço contra corrosão.

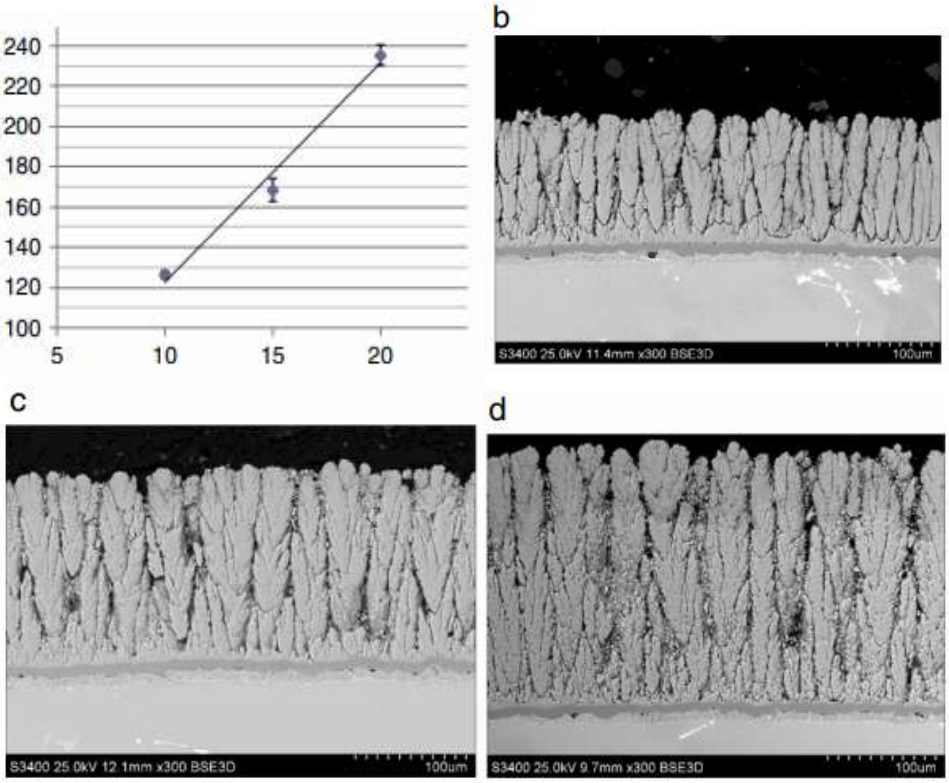
Podem ser também usadas como modo de proteção de fachadas e substratos contra intempéries e contra radiação ultravioleta: Temtchenko et al (2001), criou mistura à base de resina de poliuretano e isocianatos que foi usada como pintura automotiva com boas propriedades anticorrosivas, resistência química, durabilidade e comportamento auto limpante.

Clar et al (2019) formulou revestimento contendo nano partículas de óxido de zinco para melhora da resistência à radiação ultra violeta, avaliando a eficientcia do revestimento, através da concentração de nano partículas de zinco liberadas em seis meses de exposição ao ambiente, em comparação com amostras protegidas (amostras mais eficientes mostraram liberação de quantidade de partículas menor).

As tintas ou revestimentos podem ser aplicados de diversas maneiras diferentes, as mais usadas são: por “spray”, como mostrado em Bi et al. (2017), que aplicou em substrato de dióxido de titânio um filme de peroviskita ($CaTiO_3$) pelo método de spray de gás nitrogênio, obtendo filme denso e sem defeitos para uso em células solares, com melhor conversão de energia.

Para materiais compostos por partículas mais duras e resistentes (partículas cerâmicas, por exemplo) ou para obtenção de superfícies mais homogêneas, o uso de deposição eletrolítica, por plasma ou deposição física de vapor como utilizado por Goral et al (2013), na avaliação da mudança da estrutura do revestimento cerâmico, com a alteração dos parâmetros do método de deposição física de vapor. Dados mostraram que a taxa de alimentação do composto em pó influencia na microestrutura e na espessura do esvestimento (Figura 12).

Figura 12 - Influencia da taxa de alimentação no método de deposição física de vapor na espessura e microestrutura do revestimento. a) variação da espessura. b) taxa de 10g/min. c) taxa de 15g/min. d) taxa de 20g/min.



Fonte: Goral et al (2013).

Ou com o uso de pincéis e rolos, cuja avaliação do revestimento gerado deve ser feita de forma cuidadosa, através de normas específicas, como por exemplo, a norma ASTM D7073-05 (“Standard Guide for Application and Evaluation of Brush and Roller Applied paint films” de 2012), que trata de forma detalhada este assunto.

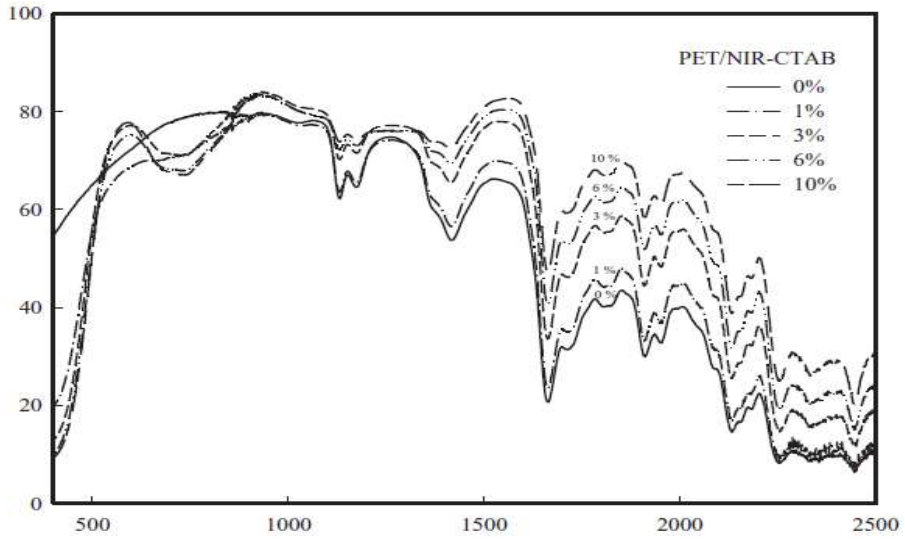
A espessura deve ser homogênea e não muito espessa para não provocar lascamentos ou alta de adesão (NOVO *et al.*, 2014). O processo de cobertura de uma superfície é relativamente simples. Após a aplicação, o último processo, o processo de cura é bastante importante pois transforma a tinta que ainda esta inacabada em produto final que possui as propriedades específicas requeridas. Este processo é feito pelo usuário e deve ser seguido conforme especificado pelo fabricante (FAZENDA, 2009).

A maioria das tintas isolantes são consideradas materiais compósitos pois têm adicionadas em sua formulação polimérica outras classes de materias (cerâmicos e metálicos), promovendo melhora de propriedades.

A combinação de um material polimérico, essencialmente isolante com outros tipos de materiais que podem promover aumento na absorção de calor, emissividade e refletividade; cria novos tipos de produtos que podem ser aplicados com fins de redução no aporte de energia para refrigeração, ou para isolamento de sistemas térmicos e consequente redução de consumo de combustíveis. Como o material estudo por Lai et al. (2013), que utilizou pigmento rutílico em matriz de polietileno com o objetivo de melhora das propriedades térmicas do material no infra vermelho próximo.

As tintas compósitos possuem comportamento semelhante ao apresentado na figura 13.

Figura 13 - Porcentagem de radiação refletida em função do comprimento de onda para várias concentrações de rutilo.



Fonte: Lai et al. (2013).

Os “colts” pode ser usados em processos desde os mais avançados, como o de criogenia, até os mais simples como câmaras frigoríficas ou condicionamento de ar (DA SILVA, 2004).

O uso mais difundido e pesquisado das tintas isolantes é o de reduzir temperaturas no interior de edifícios e galpões industriais (PISELLO et al. 2016), sendo que ao se considerar o aquecimento de ambientes internos principalmente em países de clima frio durante o inverno, as tintas têm um papel depreciativo pois geralmente aumentam as cargas necessárias para o aquecimento (PISELLO et al. 2016). O uso de tintas isolantes podem ser estender para sistemas industriais, como

aplicação no interior de dutos com fluidos aquecidos. Deve-se, entretanto, ponderar seu uso para algumas aplicações, pois na maioria das vezes este materiais são constiuídos com base polimérica, possuindo baixo ponto de fusão, o que pode ocasionar problemas como contaminações.

3.5 Ensaios de caracterização térmicos

Os ensaios são meios de se medir o desempenho entre o material em estudo e uma variável ou variáveis que se deseja analisar, levando em conta um certo tipo de energia.

São inúmeros os ensaios de caracterização térmicos aplicados, alguns deles são muito importantes para estudo do material, como por exemplo, a espectrofotometria, a termografia e as técnicas análise de condutividade térmica.

3.5.1 *Esctrofotometria para medição da refletância*

A técnica de espectrofotometria pode ser usada para medir o índice de refletância de um material, este varia de acordo com o comprimento de onda a que está esposto.

Um material pode ser altamente refletivo em determinada faixa de comprimento de onda e ter este percentual bastante reduzido em outra faixa. Por este motivo o desenvolvimento de um material deve ser pensado levando em conta qual aplicação estará inserido, ou seja, a qual tipo de fonte de radição estará exposto (radiação solar, ultra violeta, infravermelha, ondas de rádio, raios X, entre outras).

Esta técnica usa um equipamento especialmente projetado para este fim (espectrofotômetro).

Este equipamento usa lâmpadas projetadas para emitir radiação em comprimentos de ondas específicos, ajustados durante o ensaio. A radiação incide na

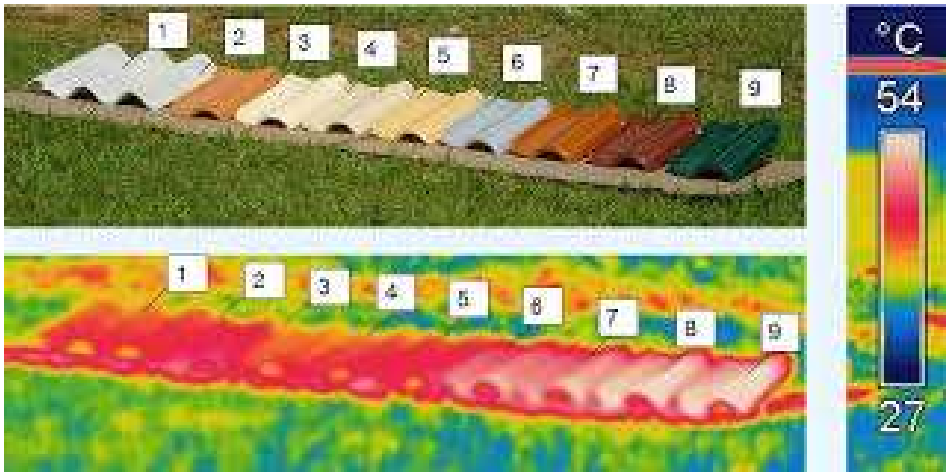
superfície analisada e a quantidade refletida em função de cada comprimento de onda é captada por um dispositivo especial (esfera integradora) que envia estes sinais ao sistema de aquisição.

3.5.2 *Termografia*

A principal técnica de termografia usada é a termografia na região do infravermelho, que é uma técnica não destrutiva, bi dimensional de não contato, usada na análise de materiais. Os ensaios podem seguir dois tipos de metodologias: a termografia pulsada tradicional ou a termografia modulada (GIORLEO; MEOLA, 2002).

Análises de imagens térmicas (termografia) de uma superfície podem revelar, por exemplo, como é o fluxo de calor naquela região, se o composto está disposto de forma homegênea sobre a superfície e se existem fissuras ou perda de material, conforme mostrado em Gonçalves (2014).

Figura 14 - Exemplo de superfície analisada por câmera térmica.



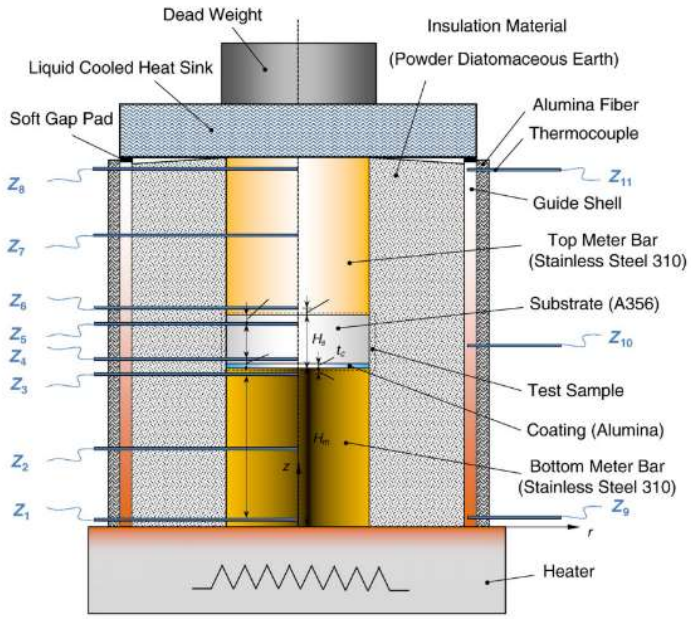
Fonte: LAMBERTS, Roberto. Desempenho Térmico de edificações: Aula 9 - Desempenho térmico de paredes e coberturas. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula-Desempenho%20termico%20paredes%20e%20coberturas.pdf . Acesso em 03 de janeiro de 2019.

A figura 14 mostra o uso de câmeras térmicas no estudo de telhas recobertas por tintas; as recobertas por cores mais claras possuem valores de temperatura menores em sua superfície.

3.5.3 *Determinação do coeficiente de condutividade térmica*

Existem diversos métodos para determinação da condutividade térmica de materiais, como o utilizado em Shen et al. (2012), em que foi determinada a condutividade térmica para diferentes espessuras de revestimento de alumina depositado por processo à plasma sobre um substrato de alumínio.

Figura 15 - Método para determinação da condutividade térmica de revestimento.



Fonte: Shen et al. (2012).

Neste experimento (figura 15), foi colocada uma peça de alumínio recoberta com o revestimento de alumina, entre dois cilindros de aço inoxidável (usados como referência), foi usada uma fonte (aquecedor) com potência conhecida na base e liquido de resfrimamento no topo, foram posicionados termopares para medir as temperaturas de aquecimento e de resfriamento do aço inoxidável e do material em análise. O ensaio foi feito também com peça de alumínio sem revestimento para comparação de resultados e repetido para as diferentes espessuras de revestimento.

Pode-se ainda levantar o perfil de temperatura de um determinado material, (com o uso de termopares, termistores ou qualquer outro tipo de sensor), avaliando o comportamento deste material diante do aumento ou redução de temperatura (ANTONAIA *et al.*, 2016).

3.5.4 *Simulações computacionais*

Através de simulações computacionais e métodos de elementos finitos, como realizado em Azemati et al. (2013), que através do software GAMBIT, simulou a taxa de transferência de calor e as temperaturas externas e internas de paredes constituídas por camadas de diferentes materiais (gesso, argila, concreto, revestimento acrílico).

Sarikaya, Islamoglu e Celik (2005), utilizaram método de elementos finitos com valores pré estabelecidos de certas características para cada material (densidade, condutividade térmica, coeficiente de expensão térmica, calor específico, módulo de elasticidade), para avaliar revestimentos de óxidos metálicos combinados (óxido de magnésio, óxido de zircônia e alumina), obtendo resultados para condutividade térmica do compósito, além da difusividade térmica, temperaturas na superfície e na interface com o substrato e tensões térmicas residuais.

Hongbo et al. (2014), criou modelo analítico, simulando a distribuição de temperaturas em placas de aço revestidas e expostas à radiação solar.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi construído um dispositivo que mede as temperaturas geradas pelo calor de uma lâmpada infravermelha que foi posicionada frontalmente à três diferentes distâncias da chapa revestida com o material de interresse; as distânicas estipuladas neste trabalho foram de 60, 40 e 20 cm; e com três condições de fluxo de ar incidente, promovendo perda de calor por convecção (sem fluxo sobre a chapa, com fluxo de ar frontal à chapa e com fluxo de ar lateral à chapa). As temperaturas foram coletadas digitalmente por meio de um sistema eletrônico desenvolvido pelo autor para este fim.

As chapas revestidas com os *colts* comerciais e de alta reflectâcia foram caracterizadas por meio de ensaios: de índice de refletância difusa utilizando um espectrofotômetro; geração de imagens opticas ampliadas e geração de imagens térmicas através de câmera termográfica, conforme figura 16.

Figura 16 - Fluxograma de caracterizações e objetivos específicos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 Construção da estrutura do dispositivo

Para fazer a coleta e tratamento dos dados de temperatura, foi projetado e construído um equipamento na fase de protótipo, no formato de cubo, usando madeira compensada com espessura de 4 mm e isolado externamente com EVA também de 4 mm de espessura.

Após a montagem, obteve-se uma estrutura com dimensões externas de 316 mm de altura, 316 mm de largura e 316 mm de profundidade e dimensões internas de 300 mm de altura, 300 mm de largura e 300 mm de profundidade.

A estrutura, foi confeccionado sem uma das laterais, onde poderão ser instaladas as chapas de aço 1020 revestidas (apenas no lado externo) ou não com as tintas de interesse. Ele está instrumentalizado com três (3) termopares que coletaram a temperatura em lugares diferentes da chapa e do equipamento.

Os seguintes materiais foram utilizados para a confecção da parte estrutural (carcaça):

1- Placas de madeira compensada com 4 mm de espessura cortadas nas dimensões de 300 mm de altura por 300 mm de largura, criando espaço confinado, onde a temperatura de seu interior será medida.

2- Placas de EVA de 4mm de espessura fixadas sobre as placas de madeira compensada, para isolamento, evitando a perda de calor do interior do protótipo.

3- Parafusos e cantoneira em forma de “L”, usados para a fixação das laterais.

As dimensões e quantidades de material usado na confecção do protótipo encontram-se detalhadas no apêndice A.

4.2 Projeto e construção do sistema eletrônico

Para a construção do sistema eletrônico de coleta de dados, foram usados os seguintes materiais:

1- Sensores de temperatura (termistores NTC 3950 100K), usados na montagem do circuito, com faixa de medição de -40ºC a 300ºC e sensibilidade de ±1%, conforme datasheet (anexo A).

2- Um microcontrolador Arduino modelo “Mega”, para coleta dos dados de temperatura, conforme *datasheet* (anexo B), que será o controlador dos sensores de temperatura.

3- Um *protoboard* para fixação dos componentes eletrônicos.

4- Resistores de 100KΩ para ligação entre a placa de captura de dados e os sendores.

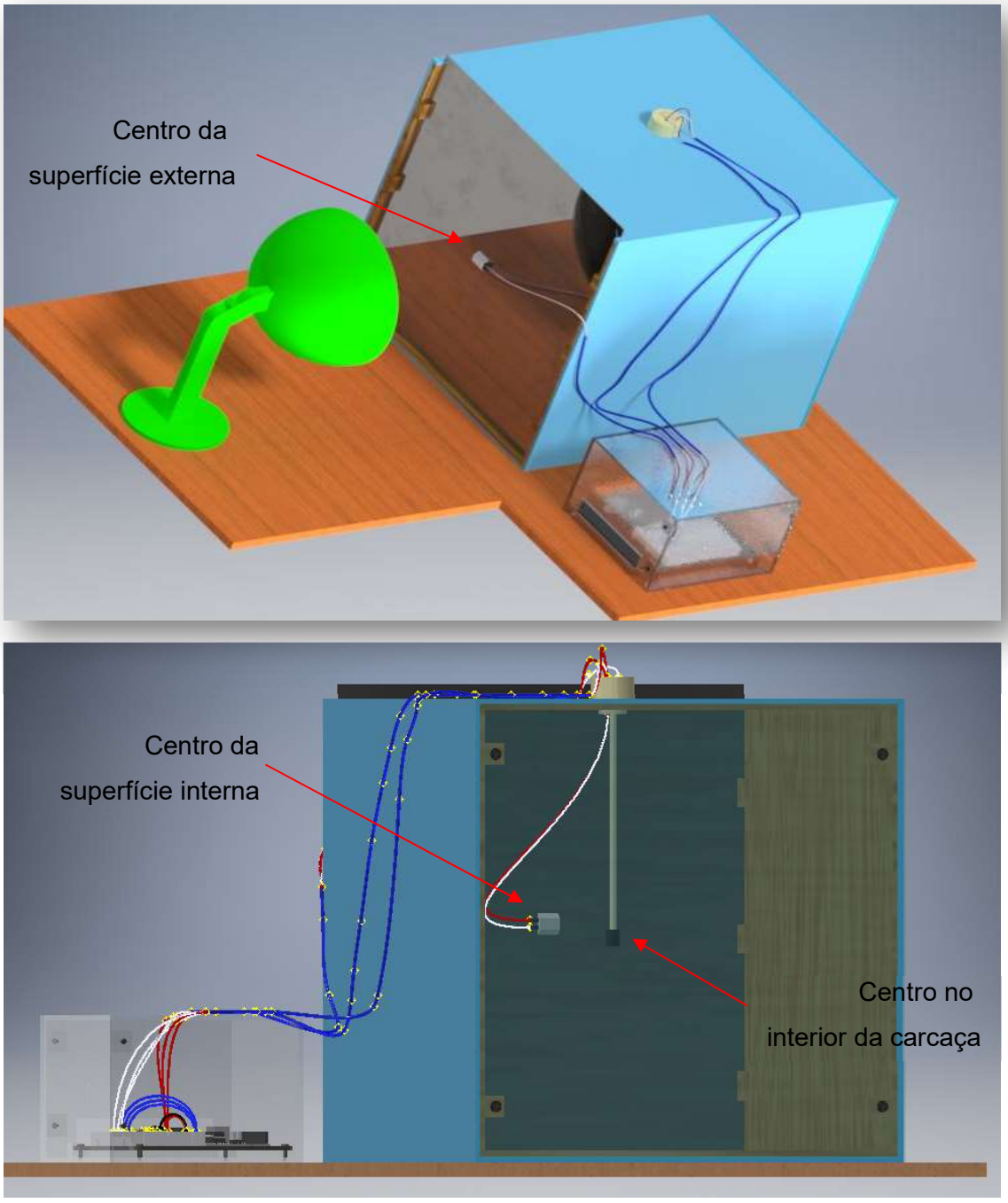
5- Uma caixa acrílica para proteção do circuito.

O programa usado para captura dos dados (software Arduino IDE versão gratuita).

A disposição dos termistores no protótipo foi feita conforme a figuras 17 e o esquema de ligação do circuito eletrônico é mostrado no apêndice B. Esta figura também mostra o desenho esquemático do dispositivo completo montado.

Este sensores foram os responsáveis pela medição dos valores de temperatura da superfície externa e interna da chapa de aço e do ar no interior do cubo formado pelas chapas de madeira compensada e EVA. Um termistor também foi usado para medição da temperatura ambiente que servirá como referência.

Figura 17 - Detalhe esquemático da disposição dos termistores no dispositivo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outros materiais, auxiliares, usados na execução do experimento foram:

1- Lâmpadas infravermelhas com potência nominal de 250W e tensão de 127v da marca Empalux, que serão as fontes de radiação infravermelha responsáveis pelo aumento de temperatura na superfície externa das chapas de aço.

2- Suporte para as lâmpadas infravermelhas.

3- Computador para interface sensores / programa de captura.

4- Anemômetro para medir a velocidade do fluxo de ar (marca Incoterm, modelo TAN 050).

4.3 Pintura das chapas de aço

Os materiais usados para pintura das chapas de aço foram os seguintes:

1- Tinta TC-01: Tinta base acrílica comercial comum na cor preta.

2- Tinta TC-02: Tinta base acrílica comercial comum na cor branca.

3- Tinta TSH-R1: Tinta especial de alta refletividade de cor branca.

4- Tinta TSH-C1: Tinta especial de alta refletividade de cor banca.

5- Tinta TSH-C2: Tinta especial de alta refletividade de cor branca.

6- Chapas de aço 1020 cortadas nas dimensões de 300mm de altura por 300mm de largura e 1,5mm de espessura, que servirão como o substrato para aplicação das tintas em análise.

7- Pincel para aplicação das tintas especiais de alta refletividade.

8- Lixa número 1000 para acabamento final das superfícies e controle da espessura do revestimento.

O procedimento para pintura das amostras, foi feito de acordo com as especificações do fabricante, a aplicação foi feita de forma manual, através de pincel para as tintas altamente refletivas e por spray a ar para as tintas comerciais. Após a aplicação a secagem foi feita à temperatura ambiente (25 ± 5 ºC) por 3 dias.

Após deposição e secagem das tintas, as amostras foram lixadas para se obter uma superfície com rugosidade uniforme e para que todas posuíssem valores de espessura entre 550 e 850 μm.

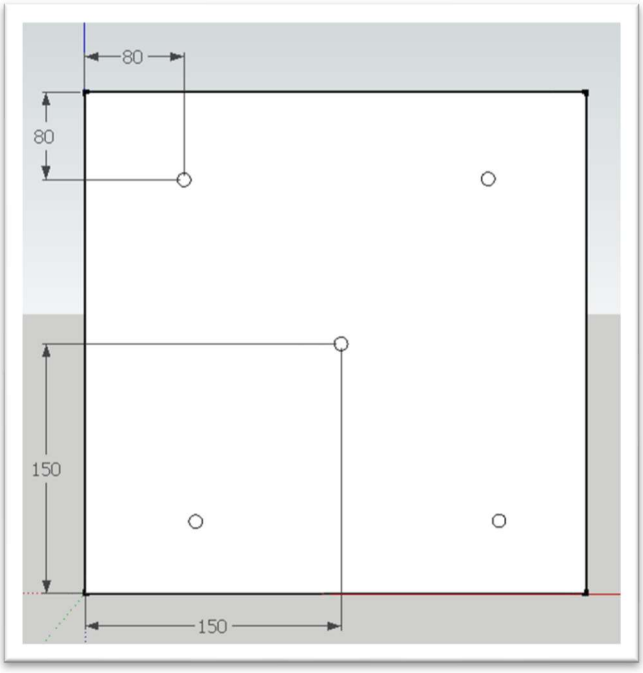
A espessura dos revestimentos foram medidas, por meio de um medidor de espessura marca Check line, modelo 3000FX (Figura 18), em 5 pontos diferentes na chapa conforme figura 19.

Figura 18 - Medidor de espessura de revestimento.



Fonte: Foto do autor.

Figura 19 - Detalhe dos locais de medição das espessuras dos revestimentos na chapa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Coleta de dados de temperatura

A partir do dispositivo completo mostrado anteriormente na figura 17, dados de temperatura (na superfície externa da chapa, na superfície interna da chapa e do ar no interior do modelo) foram coletados através do programa citado no item 4.2.

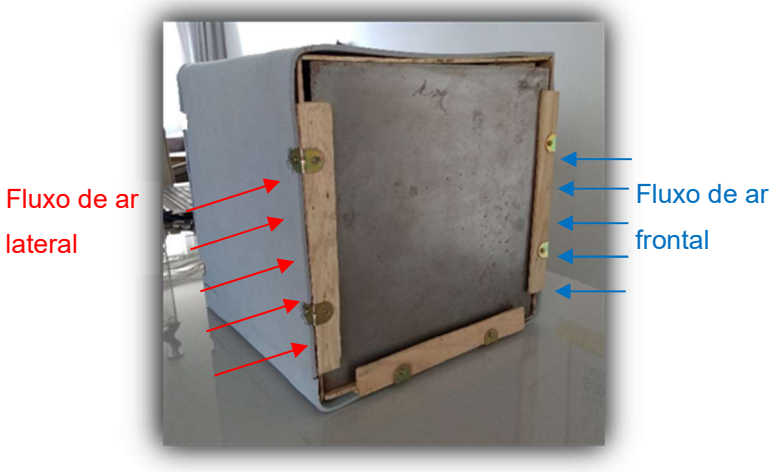
As seis amostras analisadas foram: uma placa de aço 1020 sem revestimento, usada para comparação, duas placas de aço revestidas com tintas comerciais comuns de base acrílica (uma de cor preta e outra branca) e outras três chapas revestidas com tintas de alta refletividade brancas. Sndo a chapa de aço sem revestimento usada como referência

Para cada experimento, a fonte de radiação (lâmpada infravermelha com 250 W de potência) foi colocada à três distâncias diferentes (60, 40 e 20 cm).

O fluxo fluxo de ar também foi modificado em três configurações (figura 20): sem fluxo siginificativo de ar, fluxo frontal à chapa e fluxo lateral à chapa. Para permitir a mudança no fluxo de ar, foi montado um equipamento consistindo em motor elétrico de voltagem variável e hélice. Assim, a combinações entre distâncias do fonte e fluxo de ar, resultam em 9 experimentos diferentes.

A velocidade do ar imposto no experimento foi mantida constante, no valor de 1 m/s, medida através de um anemômetro digital da marca Incoterm, modelo TAN 050 (figura 21).

Figura 20 - Esquema dos fluxos de ar impostos ao modelo.



Fonte: Elaborado autor.

Figura 21 - Equipamento usado na medição da velocidade do ar.



Fonte: Foto do autor.

O procedimento, descrito a seguir, teve duração aproximada de duas horas para cada ensaio. Foram feitas medições simultâneas em dois modelos iguais, um com cada chapa pintada, a ser analisada e outro apenas com a chapa de aço sem pintura, para garantir que as temperaturas medidas em cada caso estariam em condições similares, não afetando na comparação dos resultados.

Além disso, os ensaios foram repetidos duas vezes para todas as amostras e configurações (combinações entre as distâncias da fonte e fluxos de ar).

O procedimento de medição das temperaturas ocorreu conforme abaixo:

1- O monitoramento das temperaturas começou à temperatura ambiente;

2- A fonte de radiação (e quando apropriado a ventilação) foram ligadas e os valores de temperaturas foram coletados usando o programa Arduino IDE, a fonte foi mantida ligada até que a variação de temperatura atingisse um valor pré-determinado (variações menores que 1°C), para garantir estabilidade térmica do sistema.

3- A fonte de radiação foi então desligada, e os dados foram coletados até que o tempo de duas horas para cada experimento fosse atingido.

Cada combinação entre distância e fluxo de ar foi testada duas vezes (cada ensaio feito em duplicata). O termo “temperaturas médias máximas” refere-se à média das duas temperaturas máximas encontradas em cada um deles.

4.5 Medição do índice de refletância

A medição da refletância difusa foi realizada através de um espectrofotômetro Perkin Elmer Lambda 1050, equipado com esfera de integração de 60mm de diâmetro. O equipamento está localizado no laboratório do Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (CRTI) da Universidade Federal de Goiás. As medições foram feitas de acordo com a norma ASTM E903 “Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres”.

A faixa de medição foi de 250nm a 2500nm do espectro de radiação. Foi usado como padrão o sprectralon (material com índice de refletância teórico de 0,99).

4.6 Coleta das imagens ópticas e termográficas

Para a análise termográfica, fez-se o uso da técnica de termografia ativa, que consiste na aplicação de uma fonte de radiação, para geração de calor (em metodologia similar à usada para a medição das temperaturas com os termistores) possibilitando assim a mudança de temperatura da superfície revestida com a tinta de interesse. O equipamento usado foi uma câmera termografica da marca Flir, modelo e4 (Figura 22).

Figura 22 - Câmera termográfica usada no ensaio.



Fonte: Foto do autor.

Imagens ópticas digitais amplidas também foram coletadas nas mesmas amostras usadas para a coleta de dados de temperatura. O equipamento usado foi um microscópio digital conectado via USB (anexo C) que possui suporte que garante que todas as imagens geradas estejam a uma mesma distância da superfície

4.7 Análise do custo-benefício

Usando os valores de temperatura da superfície interna e do ar interior do protótipo, o fluxo de calor transferido pela radiação para o interior pode ser calculado usando a equação 12, seguindo um caminho semelhante ao adotado por Uemoto, Sato e John (2010).

$$q_{12} = \frac{A.\sigma.(T_1^4 - T_2^4)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_1}\right)+\left(\frac{1}{\varepsilon_2}\right)-1} \quad (12)$$

Onde "T_1" e "T_2" referem-se, respectivamente, às temperaturas da superfície interna e do ar no interior, medidas anteriormente no item 5.1.2. "A" é a área da placa (0,09m^2); ε_1 e ε_2 são as emissividades do aço e do ar (assumidas como 0,85) e σ é a constante de Stephan-Boltzmann (5,67.10^{-8} W/m^2.K^4).

Usando este fluxo de calor encontrado para cada material, seu preço e rendimento, pode-se fazer uma análise de custo-benefício levando em conta somente este fator.

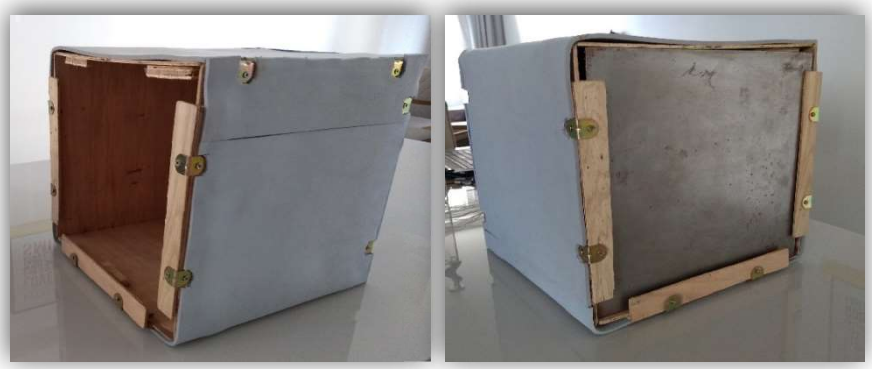
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise do perfil de temperaturas

5.1.1 Dispositivo para medição das temperaturas

A carcaça construída do dispositivo é mostrada, sem e com a chapa colocada na posição para início dos experimetnos, na figura 23.

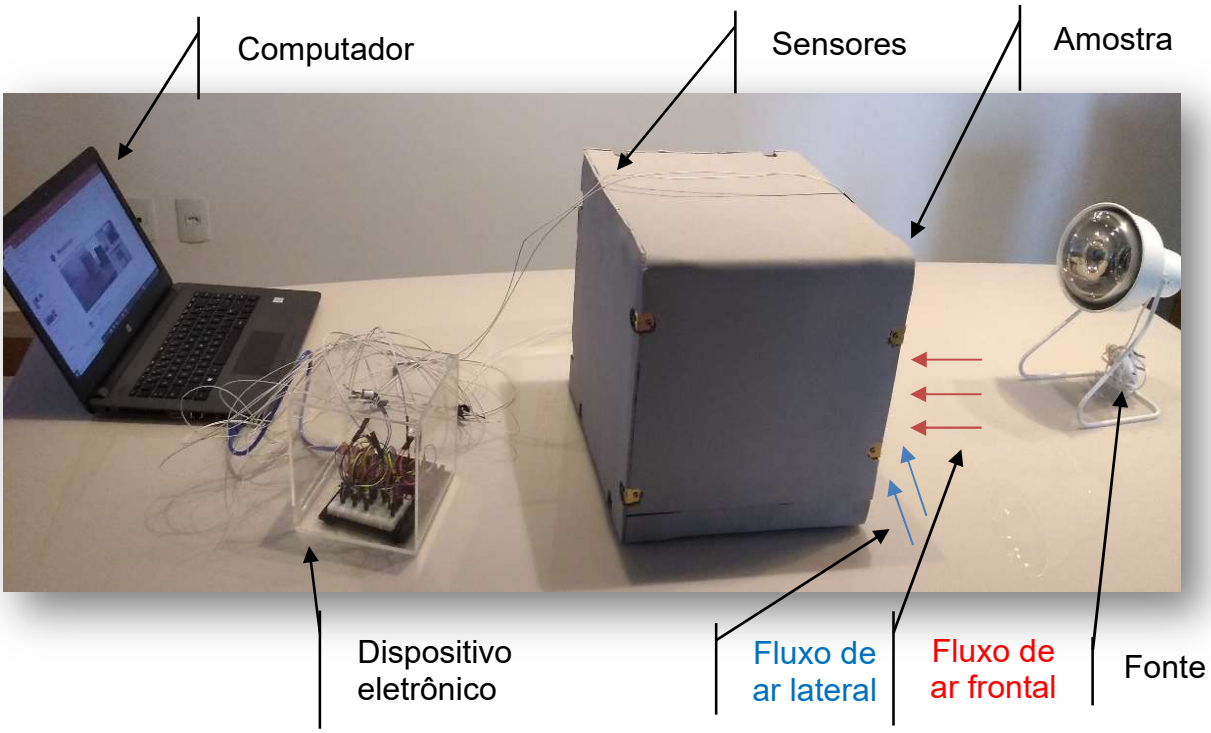
Figura 23 - Estrutura (carcaça) do protótipo.



Fonte: Foto do autor.

A figura 24 mostra o dispositivo real montado.

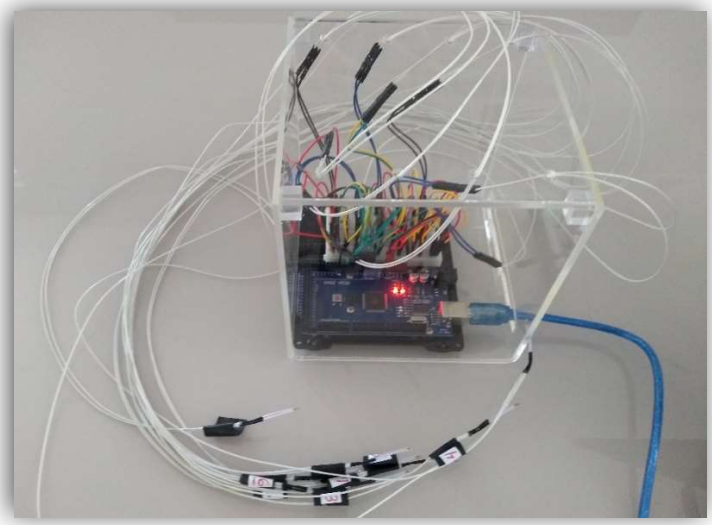
Figura 24 - Foto do dispositivo real montado.



Fonte: Elaborado pelo autor

O dispositivo eletrônico para coleta de dados é mostrado na figura 25.

Figura 25 - Sistema eletrônico para aquisição de dados de temperatura.

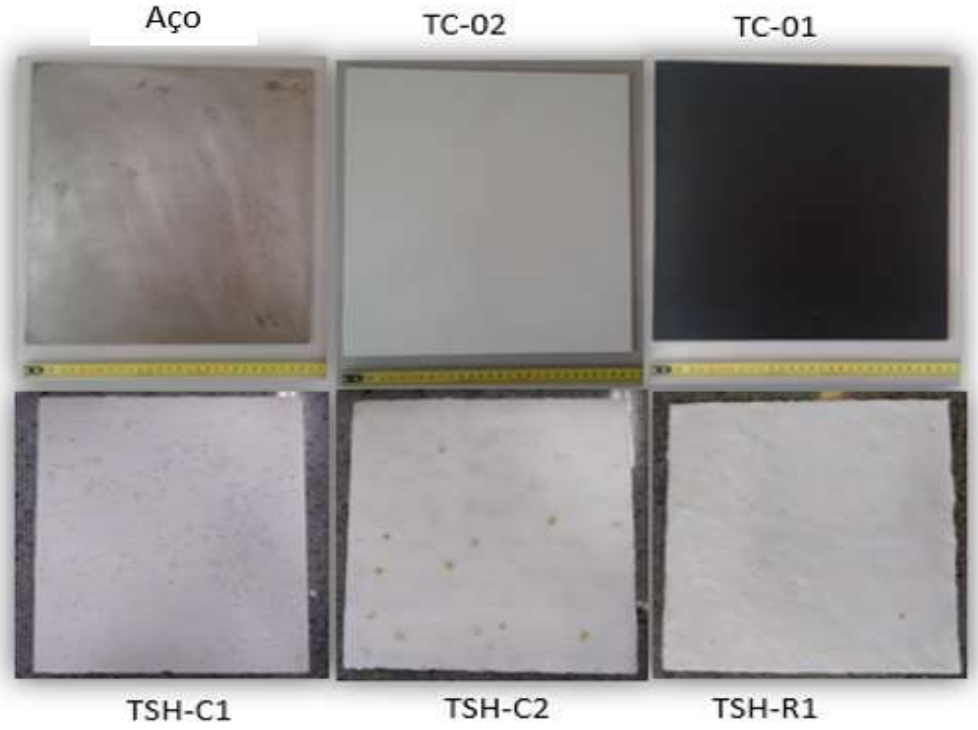


Fonte: Foto do autor.

5.1.2 *Análise da espessura dos revestimentos*

As amostras confeccionadas são mostradas na figura 26.

Figura 26 - Chapas de aço usadas para a medição de temperaturas.



Fonte: Foto do autor.

De acordo com os valores de espessuras das amostras e das análises estatísticas feitas quanto aos seus intervalos de média e desvio padrão, mostrados na tabela 2 abaixo, as espessuras das amostras podem ser consideradas equivalentes, já que o intervalo das médias de todas as amostras se intercepta, bem como a razão entre as variâncias das amostras estão contidas no intervalo da probabilidade acumulada. Portanto estas variáveis não terão influência sobre as demais análises.

Tabela 2 - Valores de espessura de revestimento medidos por equipamento medidor e análise estatística do intervalo das médias e variâncias das amostras.

Resultados/ Amostras	TC-01 (µm)	TC-02 (µm)	TSH-C1 (µm)	TSH-C2 (µm)	TSH-R1 (µm)
1	581,8	659,2	831,3	815,7	570,4
2	597,8	652,2	855,6	822.3	585,2
3	560,8	641,0	860,3	800,5	598,1
4	613,4	669,8	840,5	820,3	600,4
5	603,8	624,4	810.3	795.4	630,8
Média	592	649	847	812	597
Desvio padrão	21	17	13	10	22
Variância	427	304	180	107	501
Intervalo das médias	61,7 < µ < 1121,4	272,0 < µ < 1026,6	623,6 < µ < 945,5	678,9 < µ < 945,5	24,4 < µ < 1218,3
Intervalo das variâncias Pac1(F1;4;4)= 9,604 Pac2(F2;4;4)= 0,102	$\frac{S_1^2}{S_2^2}$= 0,712	$\frac{S_1^2}{S_4^2}$= 0,252	$\frac{S_2^2}{S_3^2}$= 0,592	$\frac{S_2^2}{S_5^2}$= 0,607	$\frac{S_3^2}{S_5^2}$= 0,359
	$\frac{S_1^2}{S_3^2}$= 0,421	$\frac{S_1^2}{S_5^2}$= 0,853	$\frac{S_2^2}{S_4^2}$= 2,830	$\frac{S_3^2}{S_4^2}$= 1,675	$\frac{S_4^2}{S_5^2}$= 0,215

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se observar também que na aplicação das tintas de alta refletividade, a superfície apresentou em graus diferentes, a presença de manchas na cor vermelha-alaranjada, que pode ser associada à formação de óxido férrico (ferrugem), este fato ocorreu devido à todas as tintas aplicadas serem solúveis em água, o que no caso particular de aplicação em substrato metálico favorece o aparecimento de ferrugem.

5.1.3 *Resultados da coleta das temperaturas no modelo*

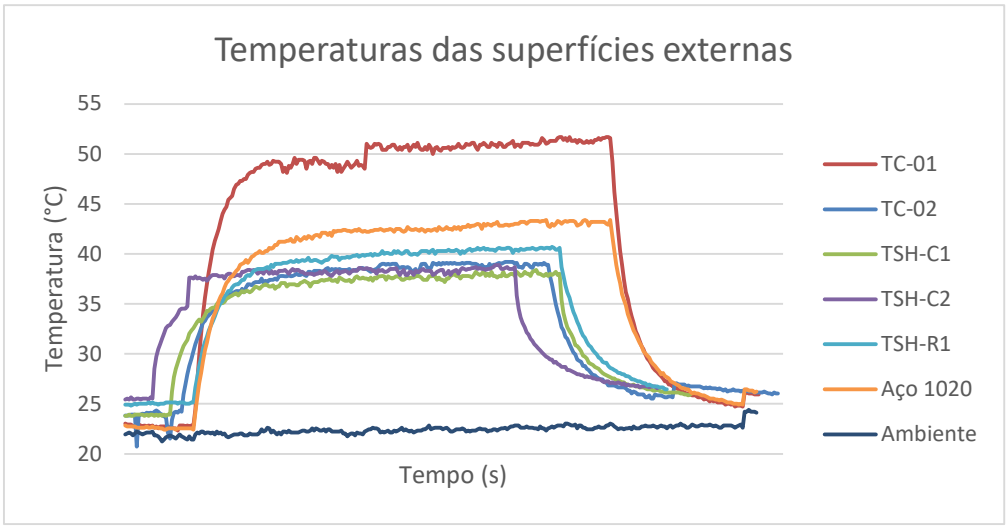
Os perfis de temperatura (curvas temperatura x tempo), são mostrados nas figuras 27, 28 e 29; nas distâncias de 60cm, 40cm e 20cm da fonte de radiação, sem fluxo significativo de ar (ar estagnado). Os perfis para as demais configurações são mostrados no apêndice F.

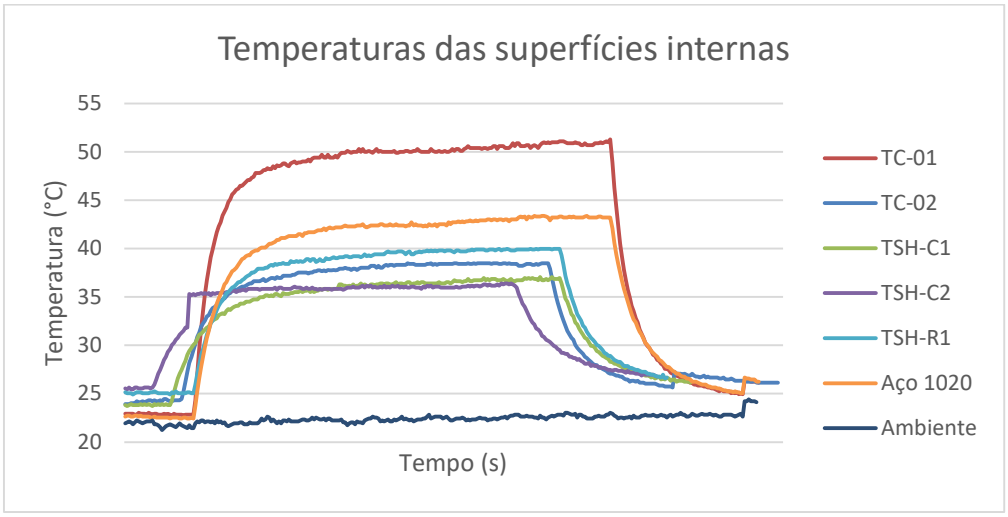
A figura 30 resume as temperaturas medias máximas de todas as amostras considerando variações nas distâncias da fonte e na configuração do fluxo de ar,

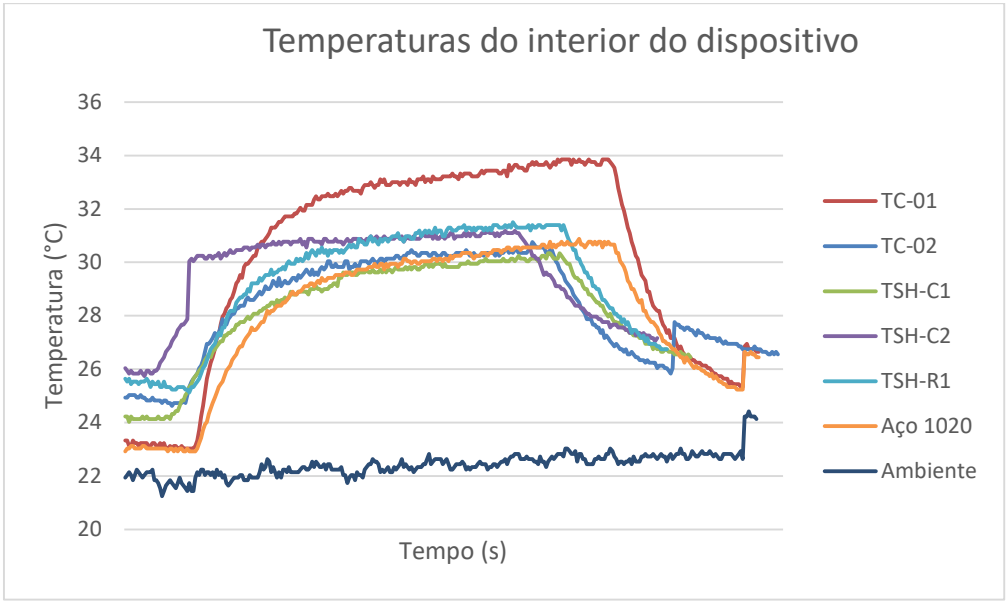
enfatizando assim a influência dos diferentes fluxos. O apêndice C mostra a tabela com os valores destas temperaturas máximas (em Kelvin e Celsius) e o apêndice D mostra a razão percentual das temperaturas máximas absolutas (em Kelvin).

As análises foram feitas com o objetivo de encontrar uma relação entre as variações de temperatura para cada tinta para, posteriormente, comparando-as entre si, avaliar ou justificar investimento em uma tinta de maior valor comercial.

Figura 27 - Gráfico dos valores de temperaturas com fonte de calor posicionada à **60cm** da chapa das superfícies externas, superfícies internas e interiores do modelo, para cada tinta em análise.

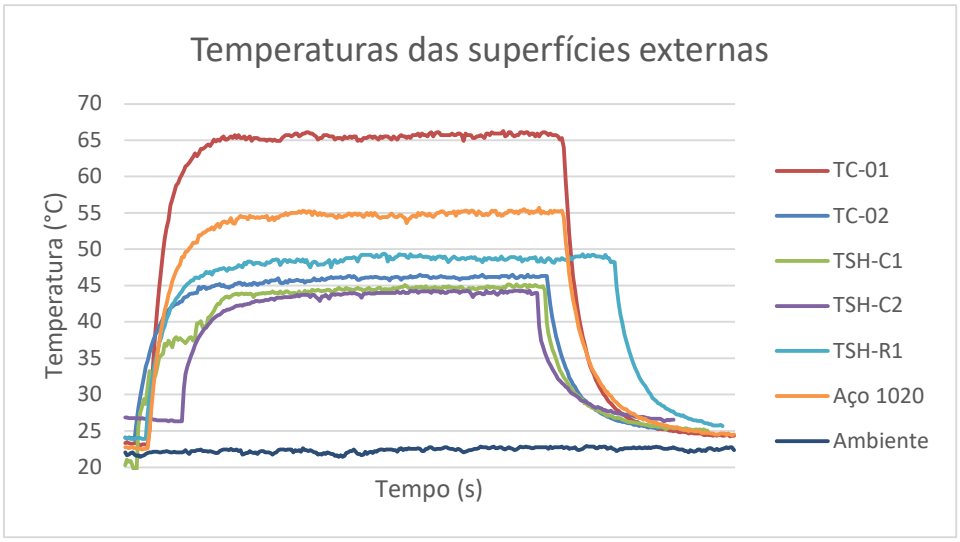


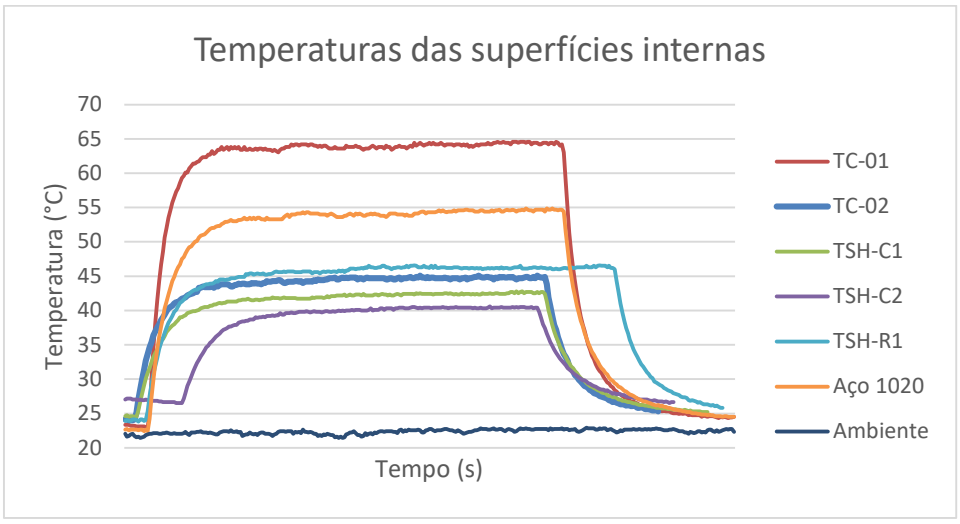


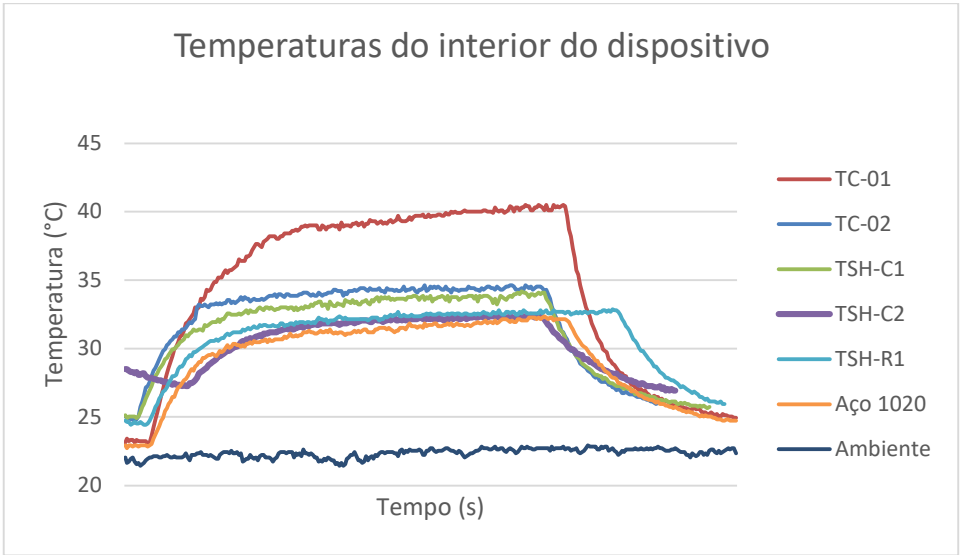


Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28 - Gráfico dos valores de temperaturas com fonte de calor posicionada à **40cm** da chapa das superfícies externas, superfícies internas e interiores do modelo, para cada tinta em análise.

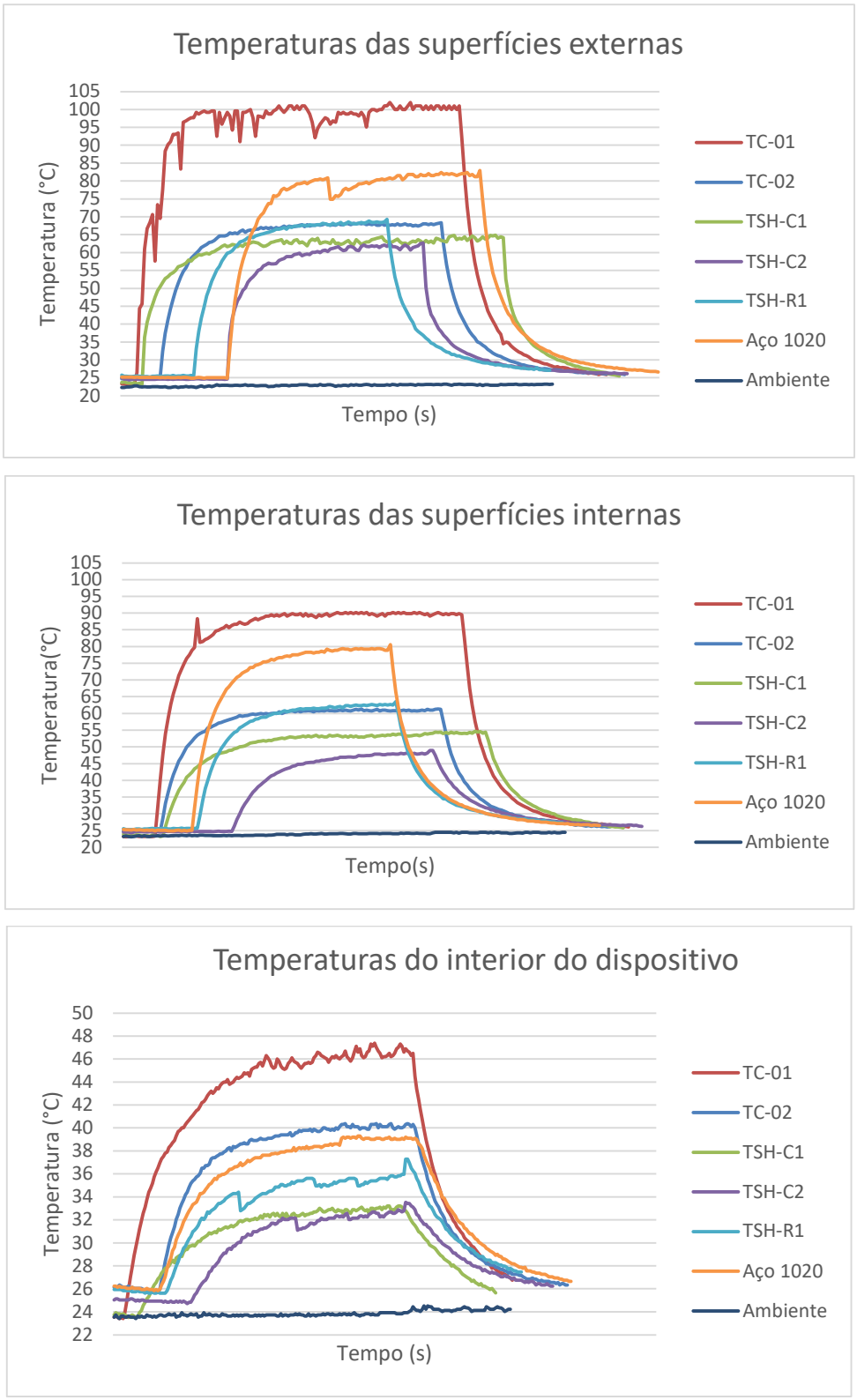






Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 - Gráfico dos valores de temperaturas com fonte de calor posicionada à **20cm** da chapa das superfícies externas, superfícies internas e interiores do modelo, para cada tinta em análise.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram realizadas duas medições para cada configuração (distância x fluxo de ar). Os valores tomados para obtenção dos percentuais e das temperaturas máximas foram os valores médios das duas temperaturas máximas medidas durante os ensaios.

Antes de se iniciar a análise dos resultados obtidos, algumas considerações devem ser feitas:

O método de fixação pode influenciar nos valores medidos, porém como o procedimento foi o mesmo para todos os experimentos realizados, este erro estará implícito e será o mesmo em todos os ensaios; assim os resultados podem ser analisados e comparados entre si.

As incertezas de medição dos sensores e no posicionamento da fonte, novamente estão presentes em todos os experimentos e, portanto, a análise e comparações dos resultados é possível.

O método de aplicação das tintas sobre o substrato, afeta o estado da mesma (rugosidade e porosidade) e promove alterações na quantidade de energia refletida ou absorvida pela superfície, porém o intuito foi exatamente o de usar métodos similares aos usados em aplicações reais e em campo. A presença de óxidos na superfície em quantidades diferentes em cada amostra também seguiu o mesmo raciocínio anterior.

Analisando inicialmente, apenas os resultados sem fluxo de ar significativo, os resultados mostram que:

a) A amostra TC-01 possui os valores de temperatura da superfície externa mais altos de todos, conforme o esperado. Possui uma diferença (subtraindo-se TC-01 da chapa sem revestimento) média máxima de 17,0°C.

b) A diferença máxima de temperatura da superfície externa entre as placas revestidas foi de 5,8°C (TSH-C2 versus TSH-R1). Esta análise exclui as amostras TC-01 e a chapa de aço não revestida, que têm temperaturas muito mais altas.

c) As temperaturas da superfície interna apresentam uma diferença máxima de 16,9°C (TSH-C2 versus TSH-R1), excluindo novamente as amostras TC-01 e a placa não revestida. E a diferença máxima de temperatura do ar do interior do protótipo foi de 7,1°C (TSH-C1 versus TC-02).

Pode-se observar que as amostras TSH-C1 e TSH-C2 tiveram resultados semelhantes. As mudanças nos valores de temperatura ao alternar apenas a distância da fonte de radiação foram:

Para a amostra TSH-C1:

• Temperatura máxima da superfície externa: +7,2°C, mudando de 60 cm para 40 cm de distância e +21,5°C, mudando de 40 cm para 20 cm de distância;

• Temperatura máxima da superfície interna: +5,8°C, mudando de 60 cm para 40 cm de distância e +13,2°C, mudando de 40 cm para 20 cm de distância;

• Temperatura interna máxima: +0,2°C, mudando de 60 cm para 40 cm de distância e +1,1°C, mudando de 40 cm para 20 cm de distância.

Para a amostra TSH-C2:

• Temperatura máxima da superfície externa: +7,9°C, mudando de 60 cm para 40 cm de distância e +22,4°C, mudando de 40 cm para 20 cm de distância;

• Temperatura máxima da superfície interna: +5,7°C, mudando de 60 cm para 40 cm de distância e +9,8°C, mudando de 40 cm para 20 cm de distância;

• Temperatura interna máxima: +3,1°C, mudando de 60 cm para 40 cm de distância e +2,8°C, mudando de 40 cm para 20 cm de distância.

E, finalmente, os resultados da amostra TSH-R1 foram:

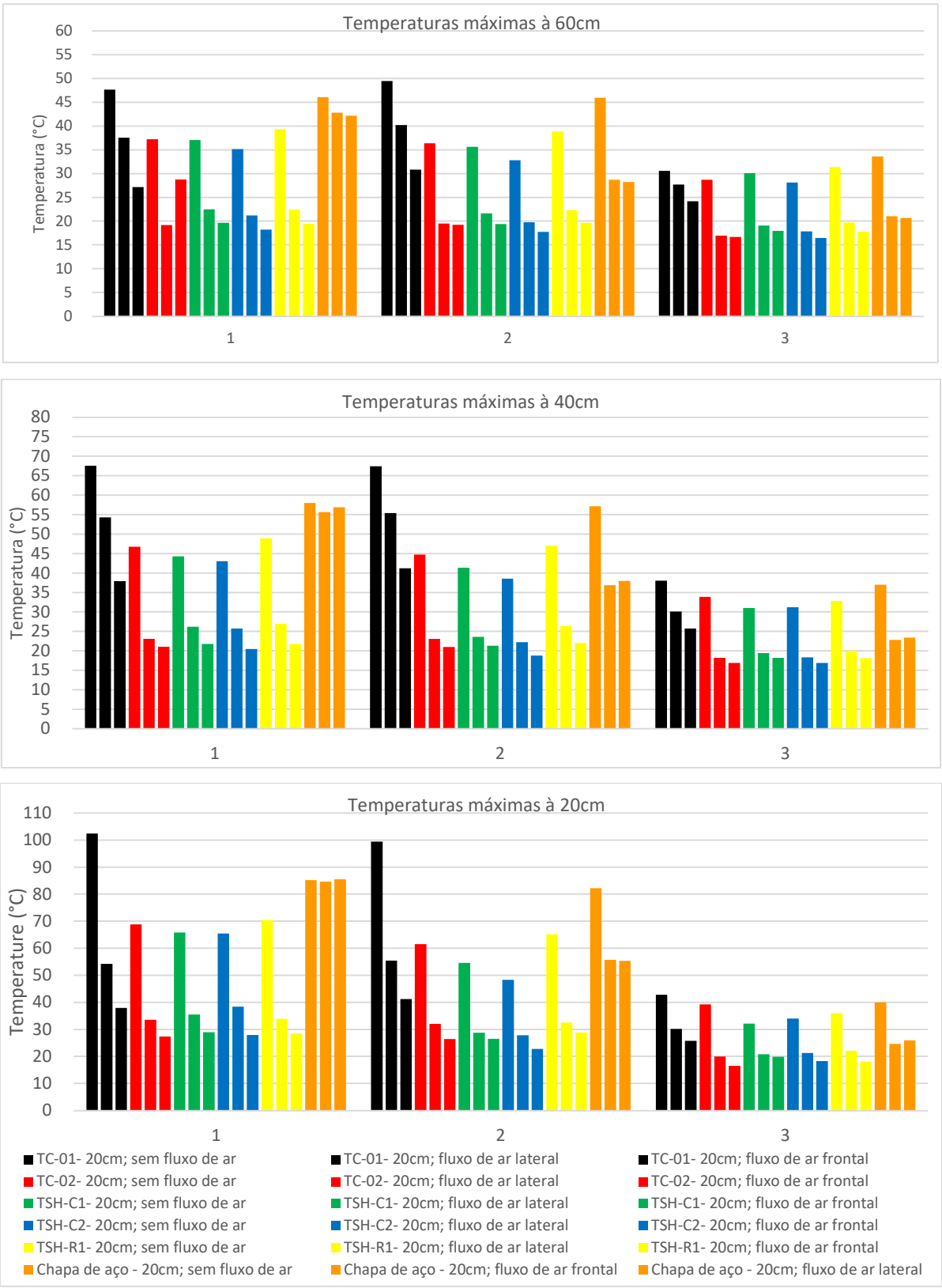
• Temperatura máxima da superfície externa: +9,5°C, mudando de 60 cm para 40 cm de distância e +21,5°C, mudando de 40cm para 20cm de distância;

• Temperatura máxima da superfície interna: +8,1°C, mudando de 60 cm para 40 cm de distância e +18,2°C, mudando de 40 cm para 20 cm de distância;

• Temperatura interna máxima: +1,5ºC, mudando de 60 cm para 40 cm de distância e +3,1ºC, mudando de 40 cm para 20 cm de distância.

As tintas especiais mostraram uma possível tendência a manter as temperaturas interiores mais baixas; isto é, a variação da temperatura do ar interior para a amostra TSH-C1 é menor ao diminuir a distância da fonte do que para a amostra TC-02. Ou ainda, a tendência de aumento na temperatura interna ao se aproximar a fonte é menor.

Figura 30 - Gráfico dos valores de temperaturas com fonte de calor posicionada à **60, 40 e 20 cm** da chapa e diferentes configurações de fluxo de ar.



*1) Superfícies externas, 2) Superfícies internas e 3) Interiores do modelo, para cada tinta em análise, com fluxo de ar estagnado, lateral e frontal, nesta ordem.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando agora, o comportamento dos materiais quanto ao fluxo de ar (figura 30); pode-se observar que o fluxo de ar frontal causa uma forte diminuição nas temperaturas externas da superfície, na maioria das amostras.

A amostra TC-02 mostrou comportamento inverso: fluxo de ar lateral foi responsável por maior redução nas temperaturas externas.

Isso deve ocorrer devido ao efeito da rugosidade na perda de calor por convecção. Amostras de tinta comum em branco e preto foram aplicadas usando o método de pulverização (spray), tornando a superfície mais lisa do que as aplicadas manualmente (TSH-C1, TSH-C2 e TSH-R1). As superfícies de alta rugosidade têm mais área e podem ser resfriadas com mais eficiência.

A tinta preta comum (TC-01) provavelmente mostrou esse mesmo comportamento, mas como suas temperaturas eram muito mais altas, isso não foi facilmente visto.

As amostras parecem se tornar cada vez mais semelhantes à medida que a distância da fonte de radiação é aumentada ou o fluxo de ar frontal é imposto - menos energia atinge a placa e a precisão nas medições fica comprometida, devido à sensibilidade dos sensores

Quase todos os resultados das amostras de tintas de alta refletância, apresentaram pior desempenho quando o fluxo de ar é imposto ao protótipo, em comparação com o branco comum. Novamente, isso deve-se à semelhança desses materiais para níveis mais baixos de energia.

Foi utilizada também a análise de variância (ANOVA), (Tabela 3), para verificar se as amostras são estatisticamente diferentes. Foi utilizado o intervalo de confiança de 95%, análise de fator único para alterações nas distâncias e fluxos de ar, em relação aos valores de temperatura e análise de fator duplo para interações entre configurações de fluxo de ar.

Tabela 3 - Análise de variância para alterações no fluxo de ar e interações entre amostras.

Temperaturas/ Análise		À 60 cm da fonte		À 40 cm da fonte		À 20 cm da fonte	
		F	F crítico	F	F crítico	F	F crítico
Superfície externa	Amostra	1.66	3.01	3.53	3.01	1.23	3.01
	Fluxos de ar	34.02	3.40	123.86	3.40	190.59	3.40
	Interaçãoes	0.72	2.51	2.38	2.51	2.66	2.51
Superfície interna	Amostra	3.03	3.01	14.97	3.01	32.86	3.01
	Fluxos de ar	27.75	3.40	117.97	3.40	185.44	3.40
	Interaçãoes	0.54	2.51	1.54	2.51	3.65	2.51
Interior do dispositivo	Amostra	1.73	3.01	1.03	3.01	0.28	3.01
	Fluxos de ar	8.02	3.40	21.87	3.40	13.36	3.40
	Interaçãoes	0.11	2.51	0.49	2.51	0.98	2.51

Fluxos de ar.
Alterações nas temperaturas entre amostras.
Interações entre amostra e fluxo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a linhas dos fluxos de ar, como F é maior que F crítico, a alteração nos fluxos de ar promove diferença significativa nos valores de temperatura em todos os locais.

Para a linha das amostras F é maior que F crítico em alguns casos, indicando que existe diferença significativa nas temperaturas entre cada amostras nas superfícies internas e na superfície externa, com a fonte à 40 cm de distância.

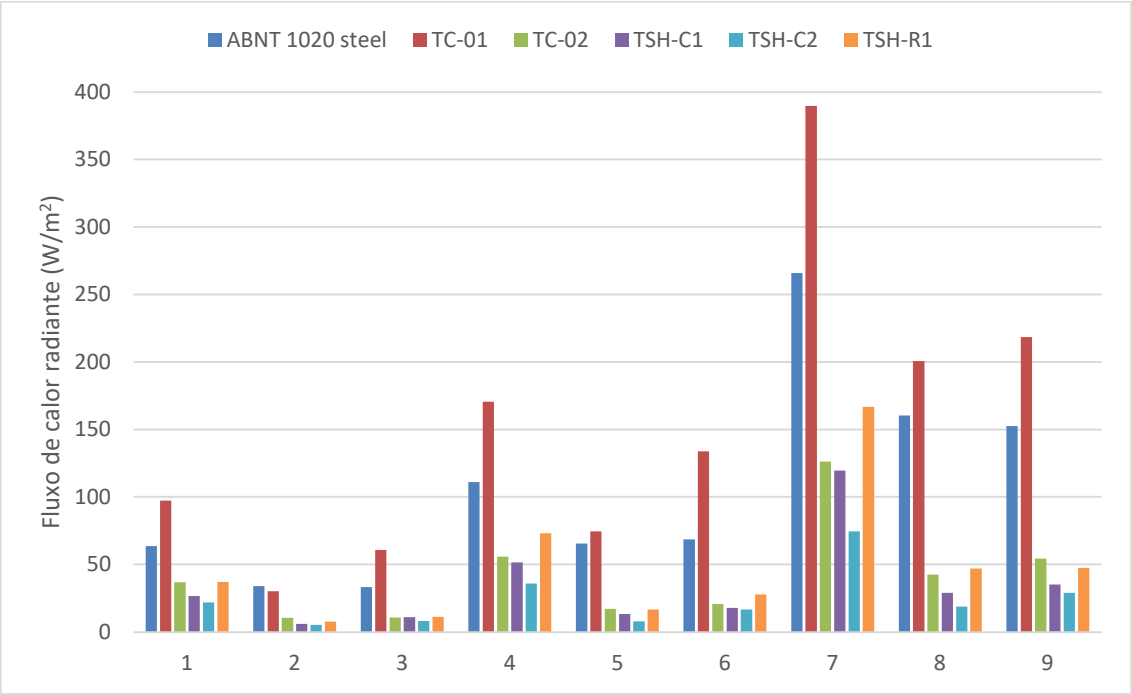
Para a linha das interações, F é maior que F crítico algumas em alguns casos, indicando que a interação entre amostra e fluxos promove mudanças significativas nas temperaturas da superfície externa e da superfície interna com a fonte à 20 cm de distância.

5.1.4 *Cálculo do fluxo radiante para o interior do modelo*

Os resultados do fluxo de calor que flui para o interior, quando cada amostra é usada como revestimento da chapa de aço, são mostrados na figura 31 para uma distância de 20 cm da fonte de radiação. O apêndice E mostra a tabela completa com

os fluxos radiantes e a redução que cada amostra foi responsável em relação à chapa não pintada.

Figura 31 - Gráfico do fluxo de calor em direção ao interior do modelo.



*1) 60cm/sem fluxo de ar. 2) 60 cm/fluxo de ar frontal. 3) 60 cm/fluxo de ar lateral. 4) 40 cm/sem fluxo de ar. 5) 40 cm/fluxo de ar frontal. 6) 40 cm/fluxo de ar lateral. 7) 20 cm/sem fluxo de ar. 8) 20 cm/fluxo de ar frontal. 9) 20 cm/fluxo de ar lateral.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando os resultados, podemos dizer que, quanto maior a distância da fonte de radiação menor será o fluxo de calor para o interior do dispositivo. A uma distância de 20 cm da fonte de radiação, grande parte do calor que atinge a placa não revestida e a amostra TC-01 é transferido para o interior.

A amostra TSH-C2 teve o melhor desempenho, ou seja, menos calor é transferido pela radiação para o interior. A amostra TC-01 teve o pior resultado de todos. As amostras TC-02 e TSH-R1 apresentaram comportamento semelhante em relação à redução do fluxo de calor por radiação.

5.1.5 *Análise do custo benefício*

Usando a quantidade de radiação que flui para o interior das amostras calculada, as vantagens ou desvantagens em termos de custo no uso das tintas de alta refletividade pode ser avaliada usando como comparativo o custo comercial destes materiais.

Os fluxos de calor para o interior quando a fonte de radiação está a 20 cm de distância são, respectivamente de 126 W/m^2; 120 W/m^2; 75 W/m^2 e 167 W/m^2 para as amostras TC-02, TSH-C1, TSH-C2 e TSH-R1.

Usando também os preços comerciais médios das tintas branca e de alta refletividade, no Brasil, no ano de 2019 e ainda, considerando uma área de 1m^2 com o custo real de cada uma (rendimento em litros por metro quadrado multiplicado pelo preço por litro), a razão entre custos pode ser vista na tabela 4.

Tabela 4 - Análise econômica comparativa das tintas.

Amostra	Preço [R$/l]	Eficiência [l/m^2]	Área [m^2]	Custo (R$)
TC-01	40,0	0,6	1,0	24,0
TC-02	62,5	0,6	1,0	37,5
TSH-C1	77,8	0,6	1,0	46,7
TSH-C2	98,0	0,6	1,0	58,8
TSH-R1	68,9	0,6	1,0	41,3

Comparações		Variação (%)
Tintas especiais/Tinta comum branca	TSH-C1	24%
	TSH-C2	57%
	TSH-R1	10%

Comparação da redução de fluxo de calor entre as amostras

Amostras	60 cm (sem fluxo de ar)	60cm (fluxo de ar frontal)	60 cm (fluxo de ar lateral)	40 cm (sem fluxo de ar)	40cm (fluxo de ar frontal)	40 cm (fluxo de ar lateral)	20cm (sem fluxo de ar)	20cm (fluxo de ar frontal)	20 cm (fluxo de ar lateral)
TC-02/TSH-C1	27%	43%	-1%	8%	22%	15%	5%	32%	35%
TC-02/TSH-C2	40%	50%	26%	36%	53%	20%	41%	56%	47%
TC-02/TSH-R1	-1%	27%	-3%	-31%	3%	-34%	-32%	-11%	13%

Configurações me que o uso das tintas especiais é viável.

Ambas as tintas podem ser usadas.

*Sinal negativo indica que o fluxo de calor em direção ao interior é maior na amostra que está no denominador.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Calculando a razão entre as amostras de alta refletividade e a tinta branca comum tanto em relação ao fluxo de calor quanto ao preço, temos que:

Os custos das amostras TSH-C1, TSH-C2 e TSH-R1 são, respectivamente, 24%, 57% e 10% mais caros que o de TC-02. Analisando a tabela 3 e a figura 36, para justificar os investimentos em pinturas de alta refletividade, elas precisam reduzir pelo menos 24%, 57% e 10% mais do que o TC-02.

Considerando então como referência as reduções do fluxo de calor, as amostras e configurações que atendem a essas condições são: TSH-C1, apenas para 60 cm/sem fluxo de ar; 60 cm/fluxo de ar frontal; 20 cm/fluxo de ar frontal e 20 cm/fluxo de ar lateral. TSH-C2 apenas para: 20 cm/fluxo de ar frontal. E TSH-R1: 60 cm/fluxo de ar frontal e 20 cm/fluxo de ar lateral. Ou seja, duas das amostras são eficientes pra menores e maiores temperaturas de uso e outra é eficiente apenas para maiores temperaturas de uso.

As tintas podem possuir qualidades diferentes, isto é, tintas comuns podem possuir formulação com materiais superiores e tintas de alta refletividade com materiais inferiores e vice-versa.

Contudo deve-se considerar que esta análise de custo benefício não leva em consideração o conforto térmico que seria gerado com o uso de colts de alta refletividade e a redução do consumo de energia elétrica em uma estrutura que usa ar condicionado.

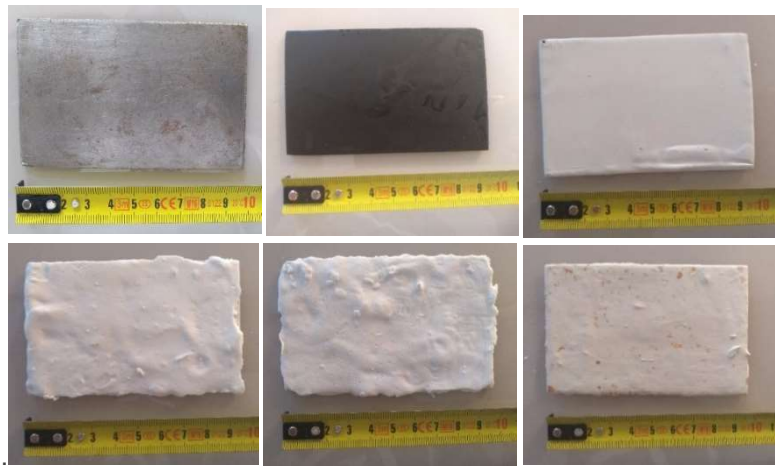
Neste caso em específico, deve-se considerar a redução de consumo por períodos de tempos mais longos. O uso de tintas de custo mais elevado poderia ser economicamente viável quando se considera o impacto na redução do consumo de energia elétrica em períodos de tempo maiores, é necessário também avaliar o efeito da sua eficiência associada ao seu envelhecimento, dentre outros fatores técnicos como fatores ambientais por exemplos. Cálculos na maioria das vezes feitos através de simulações (SYNNEFA, SANTAMOURIS e AKBARI, 2007; TAHA, 2008).

5.2 Refletividades das amostras

Para esta análise foram confeccionados corpos de prova de dimensões de 100 mm de altura, 60 mm de largura e 1,5 mm de espessura, para cada tipo de tinta de acordo com a figura 32. Além dos corpos de prova pintados com cada tipo de tinta, o ensaio de refletância também foi feito para amostra de aço 1020 sem revestimento.

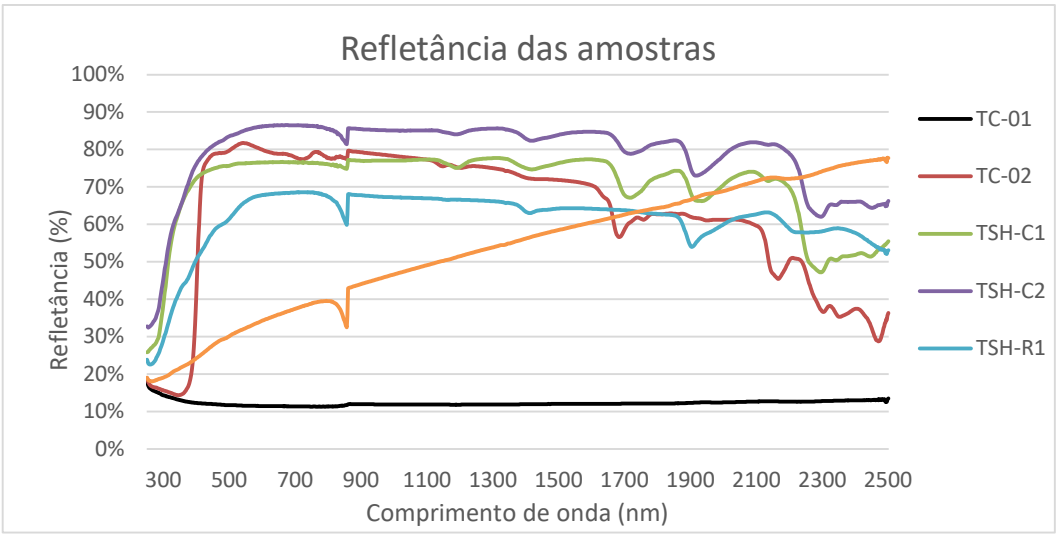
A aplicação e acabamento das superfícies das tintas foram feitas através do mesmo procedimento adotado nas chapas para medição de temperatura.

Figura 32 - Corpos de prova confeccionados para medição do índice de refletância.



Fonte: Foto do autor.

Figura 33 - Gráfico do índice de refletância em função do comprimento de onda dos materiais analisados.



Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando a figura 33, pode-se ver que a refletância do aço tende a aumentar em comprimentos de onda mais longos. A amostra TC-01 apresenta a menor refletância em comparação com todas as outras. Todos os valores estão abaixo de 15%, mostrando a influência desses resultados nos valores de temperatura obtidos para a respectiva amostra. Pode-se assumir que a cor da tinta desempenha um papel importante em seu comportamento.

Pode-se também estabelecer uma relação entre as temperaturas externas da superfície e a refletância das tintas branca comum e especiais:

Ao considerar experimentos sem fluxo de ar significativo, os valores de temperatura foram menores para as amostras TSH-C1 e TSH-C2 e maiores ou similares para TSH-R1, mesmo comportamento indicado nos ensaios de refletância.

No espectro visível, a tinta branca comum tem comportamento semelhante em comparação com as especiais. Porém, os valores percentuais de refletância desse material tendem a cair mais acentuadamente nos comprimentos de onda do infravermelho; isto é, maior variação quando comparada com as tintas de alta refletância. Essa queda começa aproximadamente no comprimento de onda de 1500 nm.

Este resultado pode explicar o fato de que as temperaturas no interior do modelo são menores com o uso de tintas altamente refletivas a distâncias menores entre a placa e a fonte de radiação (grande influência da fonte de radiação infravermelha no experimento).

Observou-se também que a refletância das amostras pintadas com tintas especiais parece estabilizar-se para comprimentos de onda superiores a 2300 nm, o que corrobora com o fato mencionado acima.

Analisando as curvas do índice de refletância de cada amostra (figura 33) em conjunto com a tabela 4 que compara a refletância média no infravermelho próximo das amostras, tendo em mente que a fonte de radiação usada não possui componente no comprimento de onda do ultravioleta.

Pode ser observado pela tabela 5 que as amostras TSH-C1, TSH-C2 e TSH-R1 apresentam, respectivamente, uma refletância média de 6,63% e 15,38% maiores e 1,29% menor que TC-02. As variações de temperatura das amostras TSH-C1, TSH-C2 e TSH-R1 apresentam, respectivamente, uma temperatura superficial externa 3,03 K e 3,36 K menores e 1,54 K maior que a de TC-02.

Tabela 5 - Comparação entre a refletância média no comprimento de onda no infravermelho próximo e as temperaturas externas da superfície medidas.

Amostra/ Refletância média (%)	UV (250nn a 300nm)	VIS (300nm a 70nm)	IV (700nm a 2500nm)	Temperaturas da superfície externa (K)
Aço 1020	20,49%	31,83%	59,59%	358,32
TC-01	13,95%	11,65%	12,16%	375,55
TC-02	16,96%	78,18%	64,38%	341,98
TSH-C1	50,55%	75,79%	71,01%	338,95
TSH-C2	54,37%	83,96%	80,21%	338,62
TSH-R1	35,47%	63,55%	63,09%	343,52

*Valores de temperatura para 20 cm de distância da fonte de radiação.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Embora a fonte seja composta de outros comprimentos de onda além do infravermelho próximo, essa comparação prova que a refletância tem um efeito direto nos valores de temperatura das superfícies do aço revestido, ao se usar energia infravermelha.

5.3 Comparação entre a radiação solar e a radiação da fonte

Considerando que a radiação solar ao meio-dia atinge a superfície da Terra em um nível médio de 5,13 KWh/m^2.dia (ou 213,75 W/m^2) na cidade de Belo Horizonte - MG, Brasil (dados coletados no site do Centro de referência para energia eólica e solar, CRECESB) e tendo em mente que sua composição é conhecida, sendo: 42%

no comprimento de onda ultravioleta; 9% no comprimento de onda visível e 49% no comprimento de onda do infravermelho próximo. Podemos usar esta referência para comparar a radiação solar e a energia fornecida pela lâmpada de 250 W de potência.

A energia da fonte é composta da seguinte forma: 6% no comprimento de onda visível; 34% no comprimento de onda no infravermelho próximo (700 nm a 2500 nm); 50% no comprimento de onda infravermelho médio (2500 nm a 5000 nm) e 10% no comprimento de onda infravermelho distante (5000 nm a 100000 nm) (informado pelo fabricante). E considerando apenas a distância de 20cm, onde praticamente toda a energia atinge a placa, podemos fazer a seguinte relação:

Considerando que quase toda energia da fonte 250 W, atinge as placas de 0,09 m^2, gera-se aproximadamente, uma energia equivalente a 2777,78 W/m^2, em uma área de 1 m^2.

Assim, 944,45 W/m^2 (34%) corresponde à energia infravermelha próxima, que pode ser medida através do ensaio de refletância difusa.

A radiação solar é de 5130 Wh/m^2.dia ou 5130 W/m^2.dia, convertendo essa energia, a radiação solar equivalente é de 213,75 W/m^2.

Ou seja, a energia total que atinge a placa é cerca de 13 vezes maior que a radiação solar incidente. Isso impõe uma quantidade enorme de energia no material revestido, resultando em valores de temperatura muito superiores aos observados quando uma estrutura é exposta à luz solar. Assim, o uso de fonte infravermelha , neste caso, promove grande aporte de energia, isto traz vantagens pois, uma maior energia sobre um material facilita a análise quantitativa do fluxo de calor que o atravessa. Também corrobora com a suposição de que o fluxo de calor radiativo, usado para calcular a viabilidade no item 5.1.4, tem grande importância no experimento.

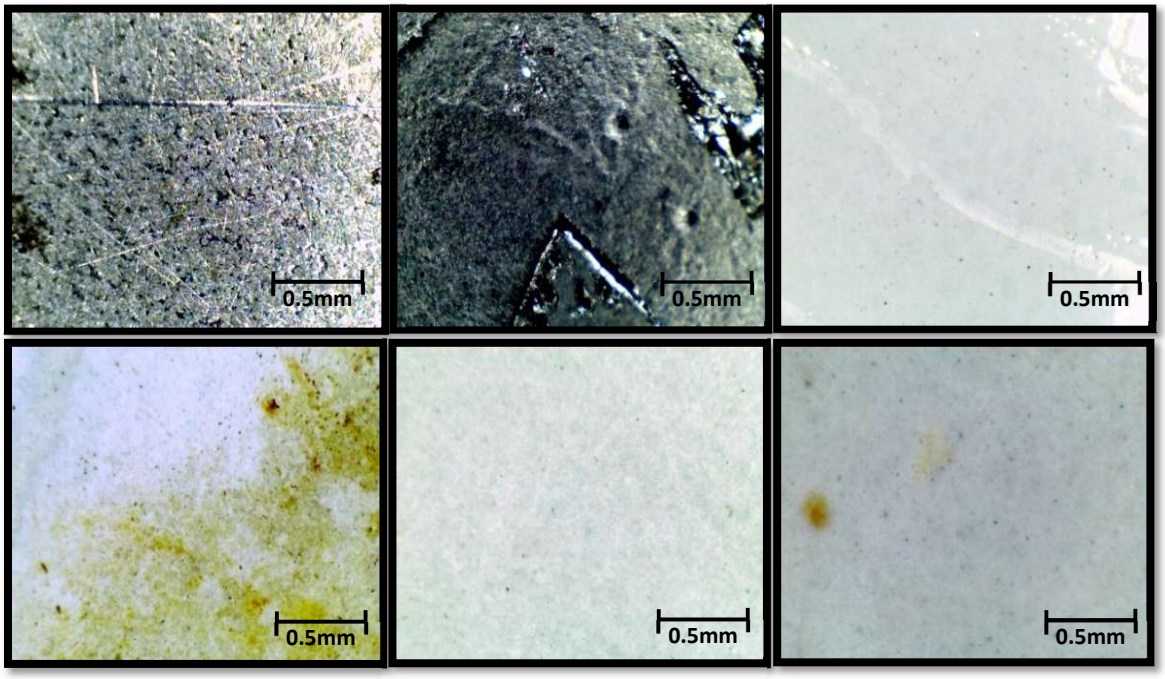
5.4 Imagens opticas e termograficas das superfícies

Para auxiliar na análise das superfícies, obteve-se as imagems ópticas ampliadas,mostradas na figura 34.

O objetivo do uso deste método é determinar se as cinco amostras possuem ou não aspectos de superfície semelhantes e como isso pode afetar o fluxo de calor através da placa e a distribuição de temperatura em sua superfície externa.

Figura 34 - Imagens ampliadas das superfícies das chapas revestidas.

a) b) c)



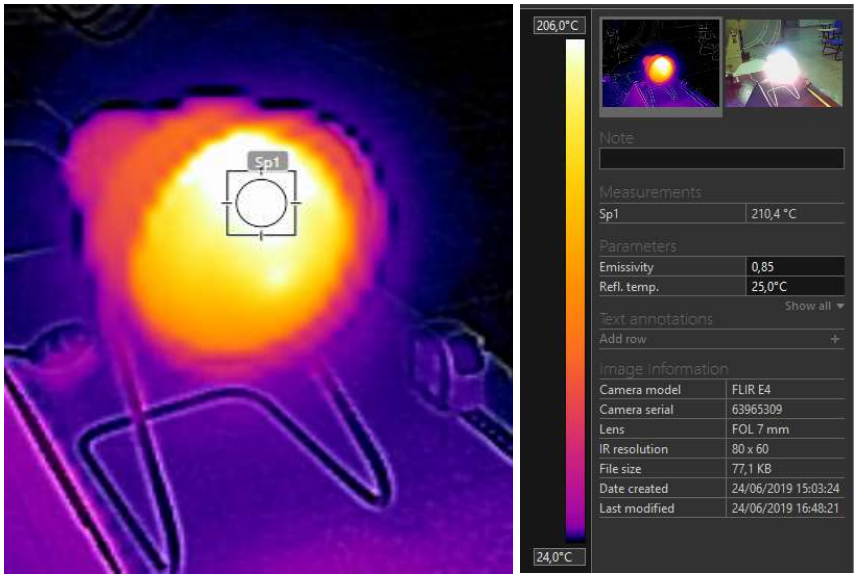
d) e) f)

* a) Substrato de aço. b) TC-01. c) TC-02. d) TSH-C1. e) TSH-C2. f) TSH-R1.

Fonte: Foto do autor.

A temperatura da fonte de radiação usada nos ensaios para coleta das temperaturas e para obtenção das imagens térmicas também foi medida usando a câmera termográfica para se ter uma estimativa da energia emitida. A imagem obtida é mostrada na figura 35, a imagem mostrou uma temperatura média de aproximadamente 210°C.

Figura 35 - Imagem termográfica da fonte de radiação usada nos ensaios.



Fonte: Foto do autor.

Tanto as imagens obtidas pelo microscópio digital quanto as imagens térmicas possibilitam avaliar a presença de descontinuidades e inclusões no revestimento; e ainda, com as imagens termográficas pode-se avaliar o aspecto da distribuição de temperatura na superfície.

Nas imagens obtidas por micoscópio digital, podemos ver que a amostra TC-01 possui superfície irregular (partes lisas e partes rugosas). A amostra TC-02 tem aspecto bem regular e parece refletir bem a luz, apesar de ambas as amostras terem sido pintadas usando mesmo método de deposição.

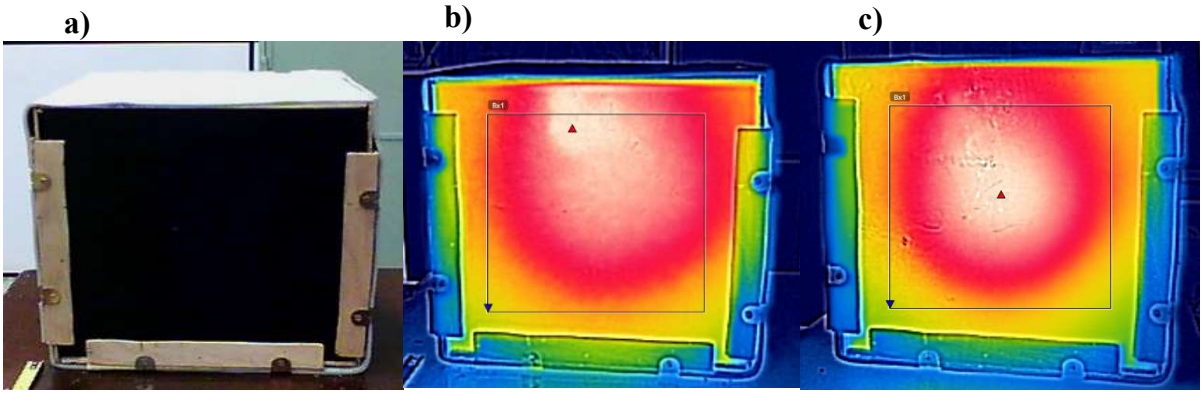
TSH-C1 possui alguns pontos oxidados que podem afetar seu comportamento térmico e serem responsáveis por elevar a temperatura da superfície. TSH-C2 possui algumas inclusões, provavelmente devido às cargas que dão à tinta a propriedade de alta refletância, porém sua superfície é bem uniforme e similar à da amostra TC-02.

TSH-R1 também possui pontos de oxidação porém analisando de forma qualitativa, em menor quantidade que o apresentado pela amostra TSH-C1. Sua surpefície se mostra uniforme.

Como resultado da termografia, foram obtidas imagens para as distâncias da fonte de radiação à chapa frontal de 40 cm e 20 cm (figuras 36, 37, 38, 39 e 40) após 30 minutos de exposição à radiação infravermelha, as imagens mostradas abaixo são todas configuradas para emissividade de 0,85; para favorecer a comparação entre elas.

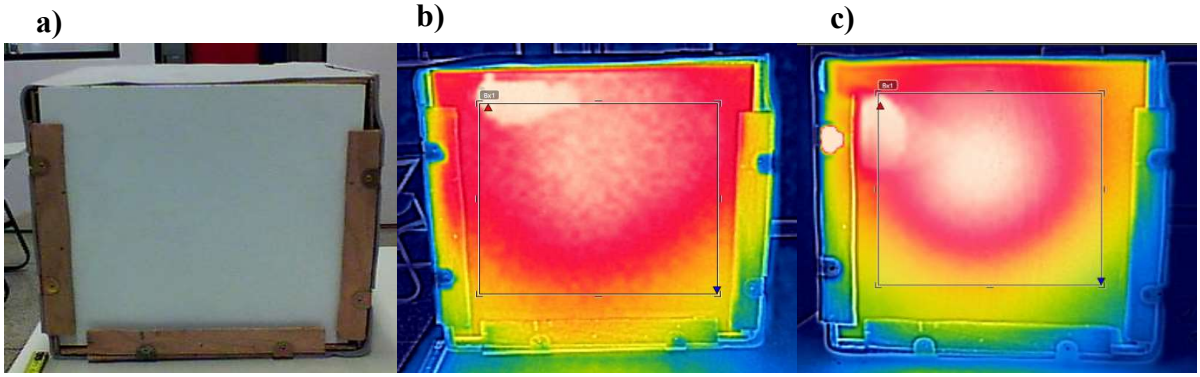
Analisou-se somente a região central das imagens (conforme mostrado nas imagens termográficas), próximo ao local em que foram fixados os termistores, desconsiderando as extremidades, a fim de eliminar possíveis fontes de erro como a influência das bordas do protótipo, falta de preenchimento nas extremidades e reflexos de fontes externas.

Figura 36 - Foto (a) e imagem térmica da superfície externa da chapa pintada com a amostra **TC-01**, com a fonte de radiação nas distâncias de 40cm (b) e 20cm (c) e sem fluxo de ar significativo.



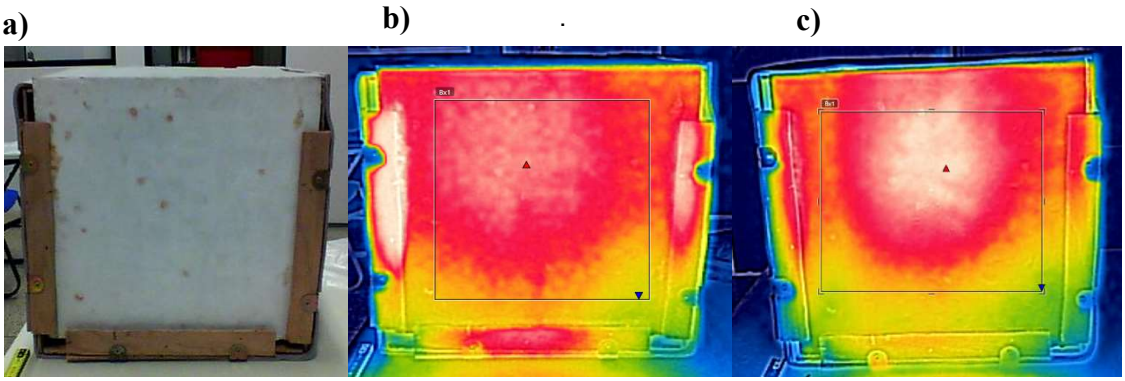
Fonte: Foto do autor.

Figura 37 - Foto (a) e imagem térmica da superfície externa da chapa pintada com a amostra **TC-02**, com a fonte de radiação nas distâncias de 40cm (b) e 20cm (c) e sem fluxo de ar significativo.



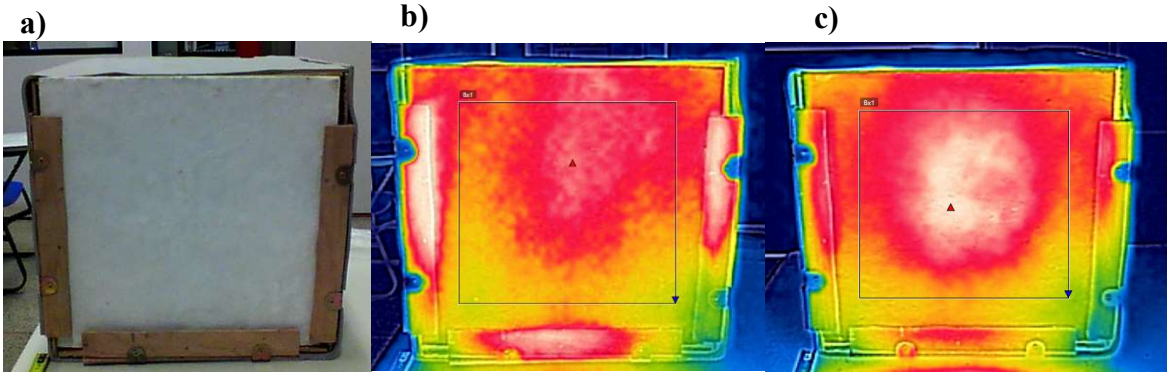
Fonte: Foto do autor.

Figura 38 - Foto (a) e imagem térmica da superfície externa da chapa pintada com a amostra **TSH-C1**, com a fonte de radiação nas distâncias de 40cm (b) e 20cm (c) e sem fluxo de ar significativo.



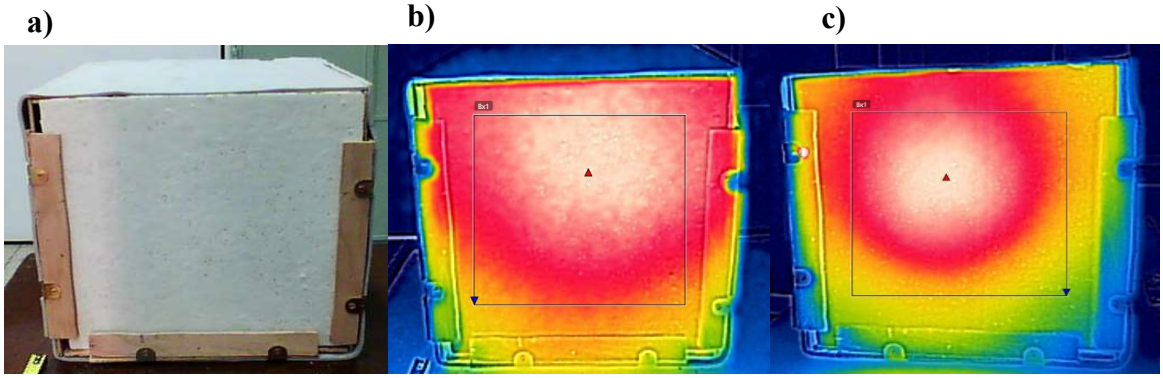
Fonte: Foto do autor.

Figura 39 - Foto (a) e imagem térmica da superfície externa da chapa pintada com a amostra **TSH-C2**, com a fonte de radiação nas distâncias de 40cm (b) e 20cm (c) e sem fluxo de ar significativo.



Fonte: Foto do autor.

Figura 40 - Foto (a) e imagem térmica da superfície externa da chapa pintada com a amostra TSH-R1, com a fonte de radiação nas distâncias de 40cm (b) e 20cm (c) e sem fluxo de ar significativo.



Fonte: Foto do autor.

As imagens térmicas mostram que a amostra TC-01 tem alguns pontos quentes, provavelmente devido a diferenças de espessura e às irregularidades

observadas no microscópio digital. A distribuição de calor ao longo da placa para esta amostra mostrou-se maior no centro, onde a incidência do calor proveniente da fonte de radiação é direta; diminuindo para a periferia da placa. Ela mostrou uma temperatura máxima de 99,3ºC.

A placa pintada com tinta branca comum (TC-02), possui uma superfície mais uniforme, mostrando uma distribuição mais uniforme de calor ao longo da placa em comparação com a amostra TC-01. Esta amostra teve uma temperatura máxima de 66,9°C.

Analisando agora a amostra TSH-C1, vemos que a superfície tem uma distribuição uniforme de calor quando o experimento é realizado a uma distância de 40cm da fonte de radiação e que esta distribuição é um pouco menos uniforme à distância de 20 cm. Quando comparado com as amostras TC-01 e TC-02, é observada uma distribuição muito mais homogênea.

A superfície da placa também tende a ter valores de temperatura mais baixos do que as amostras de tinta banca e preto comum. Esta amostra mostrou uma temperatura máxima de 51,3ºC, significativamente menor que a obtida para a amostra TC-02 e provavelmente devido à sua composição.

A amostra pintada com a tinta TSH-C2 mostrou boa distribuição de calor por toda a placa, semelhante à amostra TSH-C1, com temperaturas ligeiramente maiores no centro. A temperatura máxima observada foi de 52,3ºC.

Finalmente, a amostra de TSH-R1 apresenta uma boa distribuição de calor a uma distância de 40cm da fonte, mas com temperaturas superficiais mais altas quando comparada às outras duas tintas de alta refletância, essas temperaturas eram próximas ao TC-02 e tinham um valor máximo de 67,9°C.

Tabela 6 - Temperaturas versus emissividades ajustadas na termografia.

Parâmetros		Amostras				
Distância da fonte de radiação (cm)	Emissividade (ε)	Temperaturas máximas encontradas (°C)				
		TC-01	TC-02	TSH-C1	TSH-C2	TSH-R1
60	**0,75**	57,5	44,3	37,7	35,9	39,6
	0,80	55,7	42,1	36,6	35,0	38,7
	0,85	54,2	40,5	35,8	34,3	37,7
	0,90	52,5	39,9	35,0	34,5	37,1
	0,95	51,2	39,0	34,2	33,8	36,6
	0,99	50,3	38,6	34,7	33,3	36,0
40	**0,75**	70,7	51,3	44,2	44,3	51,8
	0,80	68,4	49,0	42,8	42,1	49,9
	0,85	67,3	46,4	42,0	41,0	48,3
	0,90	64,4	45,4	40,9	39,8	48,0
	0,95	62,2	44,2	40,2	38,8	47,4
	0,99	60,6	43,4	39,4	39,0	47,1
20	**0,75**	112,3	69,7	57,5	53,5	71,9
	0,80	106,4	67,3	52,6	54,1	69,2
	0,85	99,3	66,6	51,3	52,3	67,9
	0,90	97,8	64,0	50,5	49,2	65,6
	0,95	93,8	62,2	49,2	49,0	64,1
	0,99	95,5	59,2	50,3	49,1	63,1

Temperaturas mais próximas às medidas pelos termistores.

Fonte: Elaborado pelo autor.

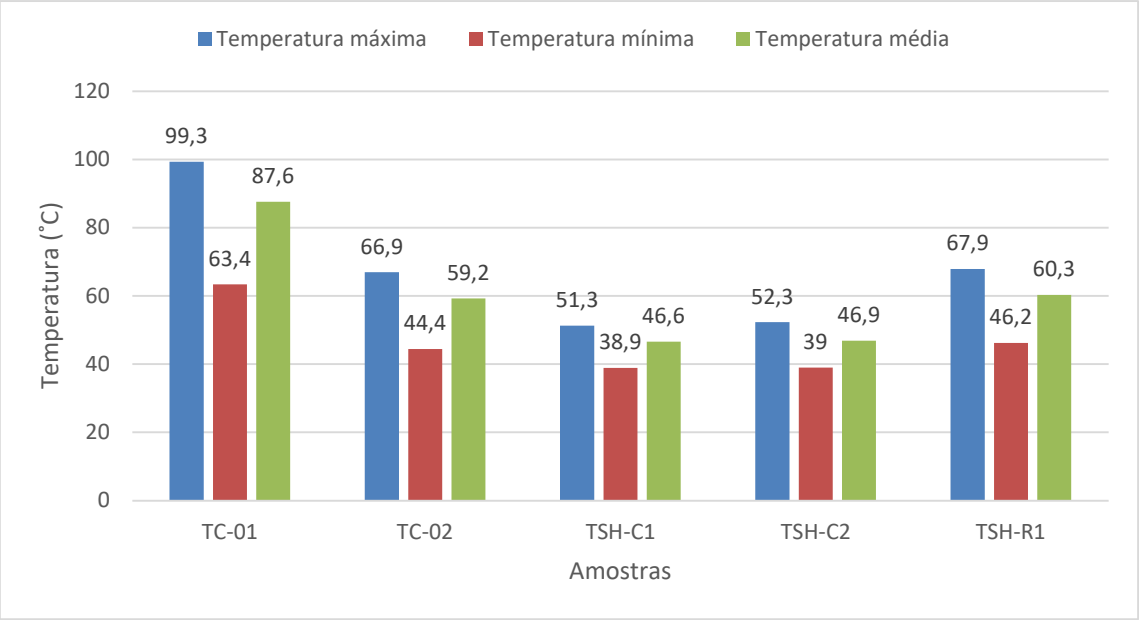
Através da comparação das temperaturas obtidas na análise termográfica, com as registradas pelos termistores, ajustando a emissividade do equipamento, obteve-se uma aproximação para a emissividade de cada amostra (tabela 6).

Deve-se salientar que deve-se ter muito cuidado ao estimar as emissividades dos materiais analisados pois além da emissividade depender da temperatura em que o material se encontra no momento da medição, algumas das temperaturas impostas no ensaio são relativamente baixas o que não promove alteração significativa da emissividade e dificulta a obtenção de seu valor verdadeiro.

Ensaios mais precisos e criteriosos no que diz respeito à análise de emissividade, que não fazem parte do escopo deste trabalho, devem ser realizados.

Na figura 41 são apresentados os dados dos valores de temperatura da superfície, empregando a câmera termográfica a uma distância de 20cm da fonte de emissão.

Figura 41 - Gráfico dos valores de temperatura da superfície, para a distância de 20cm da fonte de radiação, medidas pela câmera termográfica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com este gráfico, é possível que, visualmente, tenha-se ideia das temperaturas das superfíceis externas das chapas de aço revestidas com diferentes materiais.

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados encontrados, conclui-se que as tintas de alta refletividade, quando comparadas à tinta branca comum, têm comportamento semelhante no espectro visível de radiação.

Porém, estas tintas têm a capacidade de manter as temperaturas interiores mais baixas a altas temperaturas (onde ocorre grande influência da fonte infravermelha), devido menor variação na refletância no espectro do infravermelho.

À medida que a distância da fonte de radiação aumenta, o comportamento das amostras se torna semelhante, resultando em valores de temperatura similares para as tintas de alta refletividade e para a tinta branca comum.

Comparando a tinta de alta refletividade mais eficiente (TSH-C1, que resulta em menor valor de temperatura no interior do dispositivo), com a tinta branca comum:

- Ela reduziu a temperatura interior do protótipo em 275,98 K (2,8°C inferior à tinta branca) para fonte posicionada a 40 cm da chapa e em 280,28 K (7,1°C inferior à tinta branca) a uma distância de 20 cm da fonte de radiação, sem fluxo sinificativo de ar.

Em relação à redução de temperatura interior, este trabalho mostrou semelhança com experimentos realizados por outros autores:

- Synnefa, Santamouris e Akbari (2007), mostrou que o aumento da refletância solar do telhado reduziu as temperaturas máximas em prédios não climatizados entre 1,2°C (K) a 3,4°C (K).
- Synnefa, Santamouris e Livada (2006), que mostraram que o uso de revestimentos de alta refletância podem reduzir a temperatura da superfície de telhas de concreto brancas, durante condições quentes de verão em 4,0°C (K) durante o dia e em 2,°C (K) durante a noite.
- E Dias et al. (2014), cujos resultados mostraram que um aumento na refletância solar total do telhado e fachadas de 50% para 90%, de prédio simulado, reduziu a temperatura máxima interna entre 2,0°C (K) e 4,7°C (K) em construções sem isolamento térmico e entre 1,2°C (K) e 3,0°C (K) em construções com isolamento.

O estudo também mostrou que a cor do pigmento tem uma grande influência nos resultados medidos. Isso foi evidenciado na análise da tinta branca comum em

comparação com a tinta preta comum. Esta tinta na cor preta mostrou temperaturas médias máximas no interior de 303,74K (30,59°C), 311,20K (38,05°C) e 315,98K (42,83°C) para as distâncias de 60cm, 40cm e 20cm da fonte de radiação, respectivamente.

Levando em conta a análise de custo benefício, mostra-se que o uso de dois tipos destas tintas (TSH-C1 e TSH-R1) traz benefícios apenas em distâncias mais alta e mais próximas da fonte (fonte de radiação à 60cm e 20 cm de distância). E, Outra (TSH-C2) é viável para uso apenas quando a energia incidente promove altas temperaturas (fonte à 20cm de distância).

Estes resultados devem-se à qualidade de fabricação de cada tinta. Isto é, tintas comuns podem possuir em sua formulação matérias primas de qualidades superiores e tintas de alta refletividade formulações inferiores e vice-versa. Para configurações intermediárias, é recomendável o uso de tinta branca comum.

A temperaturas da amostra TSH-C1 tem os menores valores médios entre todas, mas os pontos de ferrugem na superfície da chapa revestida com a esta tinta podem ter influenciado em sua eficiência.

Outros aspectos que influenciam fortemente o comportamento térmico são: rugosidade, porosidade e composição química, a serem estudados no futuro.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para continuidade deste projeto pode-se realizar trabalhos para:

- Analisar a influência da mudança de composição dos pigmentos nas temperaturas obtidos e no comportamento quanto ao fluxo de calor ao longo do material.
- Evloiu o equipamento usado na medição das temperaturas.
- Formular tinta de alta refletividade de cores escuras, porém com efeitos similares aos das tintas de alta refletividade de cores claras analizadas.
- Analisar a influência da espessura do revestimento, de sua rugosidade relativa, da porosidade média e do método de aplicação sobre os valores de temperatura e comportamento do fluxo de calor.
- Desenvolver modelo númerico em elementos finitos, que simula o comportanto destes materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Pensilvânia, EUA. ASTM D7073-05: Standard Guide for Application and Evaluation of Brush and Roller Applied paint films. Pensilvânia, EUA., 2012. 4 páginas.

AKBARI, H.; KONOPACKI, S. Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. **Energy Policy**, v. 33, n. 6, p. 721–756, 2005.

ANANTHAPADMANABHAN, P. V. *et al.* Plasma-Sprayed Ceramic Coatings for Barrier Applications Against Molten Uranium Corrosion. ***Jom***, v. 67, n. 7, p. 1554–1564, 2015.

ANTONAIA, A. et al. Cool materials for reducing summer energy consumptions in Mediterranean climate: In-lab experiments and numerical analysis of a new coating based on acrylic paint **Applied Thermal Engineering,** V.102, p.91–107, 2016.

AZEMATI, A. A. et al. Thermal modeling of mineral insulator in paints for energy saving. **Energy and Buildings**, v. 56, p. 109–114, 2013.

BERDAHL, P.; BRETZ, S. E. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy and Buildings**, v. 25, n. 2, p. 149–158, 1997.

BI, Z. et al. Fast preparation of uniform large grain size perovskite thin film in air condition via spray deposition method for high efficient planar solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 162, p. 13–20, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2016.12.032>.

BURGHOLD, E.M., FREKERS, Y., KNEER, R. Transient contact heat transfer measurements based on high-speed IR-thermography. International Journal of Thermal Sciences. v. 115, p. 169-175, 2017.

BURMISTROV, I. S. et al. Quantum elasticity of graphene: Thermal expansion coefficient and specific heat. **Physical Review B**, v. 94, n. 19, p. 1–18, 2016.

CALLISTER JR., W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais**: Uma Introdução. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705 p.

CANEVAROLO, S. **Técnicas De Caracterização de Polímeros.** São Paulo: Artliber editora, 2004.

CAVALCANTI, M. A. V. **Análise da influência de superfícies refletivas nas perdas de calor de sistemas térmicos.** 2011. 83f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2011.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa:** uma abordagem prática. 4 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2012. 902 p.

CLAR, J. G.; PLATTEN, W. E.; BAUMANN, E.; REMSEN, A.; HARMON, S. M.; RODGERS, K.; TREVE, A. T.; MATHESON, J.; LUXTON, T. *Release and*

transformation of ZnO nanoparticles used in outdoor surface coatings for UV protection. **Science of the Total Environment**, v. 670, p. 78-86, 2019.

CUCHI, E.P.; CHATRIS, J. M.; LOPEZ, C.; ARNALDOS, J. Determination of Flame Emissivity in hydrocarbon pool fires using infrared thermography. **Fire Technol.,** v.39, p. 261-273, 2003.

DALMOLIN, C. Tintas industriais. 29 f. Notas de aula Disponível em: http://www.joinvile.udesc.br/portal/professores/carlad/materias/09_tintas.pdf (acessado em 07 jan. 2019).

DA SILVA, J. G. **Introdução à Tecnologia da Refrigeração e da Climatização.** 2 ed. Editora Artliber, 2004.

DE SANTIS, S. et al. Strengthening of structures with Steel Reinforced Polymers: A state-of-the-art review. **Composites Part B: Engineering**, v. 104, p. 87–110, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.08.025>.

DIAS, D. et al. Impact of using cool paints on energy demand and thermal comfort of a residential building. **Applied Thermal Engineering**, v. 65, n. 1–2, p. 273–281, 2014.

EMIRA, H. S. A. High performance alkyd paints based on platy kaolin for corrosion protection of steel. **Journal of Coatings Technology and Research**, v. 10, n. 2, p. 199–208, 2013.

FAZENDA J. M. R. **Tintas e vernizes** - Ciência e tecnologia. 3 ed. ABRAFATI. Edgard Blucher, 2009.

GENTLE, A. R.; AGUILAR, J. L. C.; SMITH, G. B. Optimized cool roofs: Integrating albedo and thermal emittance with R-value. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 95, n. 12, p. 3207–3215, 2011.

GIORLEO, G.; MEOLA, C. Comparison between pulsed and modulated thermography in glass-epoxy laminates. **NDT&E International**, v. 35, p. 287–292, 2002.

GOBAKIS, K. et al. Development and analysis of advanced inorganic coatings for buildings and urban structures. **Energy and Buildings**, v. 89, p. 196–205, 2015.

GOLDBERG, R. et al. Mitigating New York City's heat island: Integrating Stakeholder Perspectives and Scientific Evaluation. **American Meteorological Society,** 17p., 2009.

GONÇALVES, L. **Avaliação do desempenho térmico de tintas reflectantes em fachadas por análise termográfica**. 2014. 191f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal; jul. 2014.

GORAL, M.; KOTOWSKI, S.; NOWOTNIK, A.; PYTEL, M.; DRAJEWICZ, M.; SIENIAWSKI, J. PS-PVD deposition of thermal barrier coatings. **Surfaces and Coatings technology**, v. 237, p. 51-55, 2013.

HAGE JR., E. Aspectos históricos sobre o desenvolvimento da ciência e da tecnologia de polímeros. **Polímeros**, v. 8, n. 2, p. 6–9, 1998.

HONGBO, L. et al. Studies on the temperature distribution of steel plates with different paints under solar radiation. **Appl. Therm. Eng.** v. 71, p. 342-354, 2014.

INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 698 p.

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.

KAKIUCHIDA, H. et al. Meso-scale wrinkled coatings to improve heat transfers of surfaces facing ambient air. **Appl. Therm. Eng.**, v. 87, p. 251–257, 2015.

KOLOKOTSA, D. et al. Development and analysis of mineral based coatings for buildings and urban structures. **Solar Energy**, v. 86, n. 5, p. 1648–1659, 2012.

KUZNETSOV, G. V.; SHEREMET M. A. Numerical Simulation of Convective Heat Transfer Modes in a Rectangular Area With a Heat Source and Conducting Walls. **Journal of Heat Transfer,** v. 132(8), 2010. doi: 10.1115/1.4001303

LAI, S. M. et al. Preparation and properties of polyethylene terephthalate (PET)/near infrared reflective pigment (NIR) composites. **J. Macromol. Sci. Part B Phys**. v. 52, p. 1355–1371, 2013.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho Térmico de edificações:** Aula 9 - Desempenho térmico de paredes e coberturas (ECV 5161 – UFSC). Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula-Desempenho%20termico%20paredes%20e%20coberturas.pdf>. Acesso em 20 de fevereiro de 2019.

LEVINSON, R. et al. A novel technique for the production of cool colored concrete tile and asphalt shingle roofing products. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 94, n. 6, p. 946–954, 2010.

LEVINSON, R. et al. Effects of soiling and cleaning on the reflectance and solar heat gain of a light-colored roofing membrane. **Atmospheric Environment**, v. 39, n. 40, p. 7807–7824, 2005.

MARTHE, J. et al. Enhancement of scattering and reflectance properties of plasma-sprayed alumina coatings by controlling the porosity. **Surface and Coatings Technology**, v. 220, p. 80–84, 2013.

MASTRAPOSTOLI, E. et al. On the cooling potential of cool roofs in cold climates: Use of cool fluorocarbon coatings to enhance the optical properties and the energy performance of industrial buildings. **Energy and Buildings**, v. 69, p. 417–425, 2014.

MORINI, E. et al. Optic-energy performance improvement of exterior paints for buildings. **Energy and Buildings**, v. 139, p. 690–701, 2017.

NOVO, M. M. M. et al. Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade (Fundamentals on emissivity and its correlation with the refractory). **Cerâmica**, v. 60, p. 22–33, 2014.

PISELLO, A. L. State of the art on the development of cool coatings for buildings and cities. **Solar Energy**, v. 144, p. 660–680, 2017.

PISELLO, A. L. et al. Investigation on the effect of innovative cool tiles on local indoor thermal conditions: Finite element modeling and continuous monitoring. **Building and Environment**, v. 97, p. 55–68, 2016.

POSSIDONIO M.A.V., CORDEIRO G.C., VIEIRA J.D. **Estudo da degradação por radiação ultravioleta de compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro**. In: II Congresso Fluminense de iniciação cientifica e tecnológica.4p. Disponível em: <http://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/confict/article/download/2649/1497>. Acesso em 18 dez de 2018

Propriedades UV dos plásticos: transmissão e resistência. Adaptado de: <https://www.coleparmer.com/tech-article/uv-properties-of-plastics?tlg=pt-PT>. Acesso em 02 de fevereiro de 2019.

RAJ, V. C.; PRABHU, S. V. A refined methodology to determine the spatial and temporal variation in the emissivity of diffusion flames. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 115, p. 89–103, 2017.

RAMAMURTHY, P. et al. The joint influence of albedo and insulation on roof performance: An observational study. **Energy and Buildings**, v. 93, p. 249–258, 2015.

RAMDÉ, T.; ECCO, L. G.; ROSSI, S. Visual appearance durability as function of natural and accelerated ageing of electrophoretic styrene-acrylic coatings: Influence of yellow pigment concentration. **Progress in Organic Coatings**, v. 103, p. 23–32, 2017.

REVEL, G. M. et al. Cool products for building envelope - Part I: Development and lab scale testing. **Solar Energy**, v. 105, p. 770–779, 2014.

REVEL, G. M. et al. Cool products for building envelope - Part II: Experimental and numerical evaluation of thermal performances. **Solar Energy**, v. 105, p. 780–791, 2014.

ROSENFELD, A. H. et al. Cool communities: Strategies for heat island mitigation and smog reduction. **Energy and Buildings**, v. 28, n. 1, p. 51–62, 1998.

ROSSI, F. et al. Experimental evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement in urban canyons. **Energy and Buildings**, v. 126, p. 340–352, 2016.

SARIKAYA, O.; ISLAMOGLU, Y.; CELIK, E. Finite element modeling of the effect of the ceramic coatings on heat transfer characteristics in thermal barrier applications. **Materials and Design**, v. 26, n. 4, p. 357–362, 2005.

SARON, C.; FELISBERTI, M. I. Ação de colorantes na degradação e estabilização de polímeros. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 124–128, 2006.

SHACKELFORD, J. F. **Uma introdução à ciência dos materiais para engenheiros**. 6 ed. Americana. São Paulo: Prentice Hall, 2008. 546p.

SHEN, X. et al. Effects of coating thickness on thermal conductivities of alumina coatings and alumina/aluminum hybrid materials prepared using plasma electrolytic oxidation. **Surface and Coatings Technology**, v. 207, p. 96–101, 2012.

SYNNEFA, A. et al. On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 47, n. 11, p. 2846–2856, 2008.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 11, p. 1167–1174, 2007.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M. & LIVADA, I. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. **Sol. Energy**, v. 80, p. 968–981, 2006

TAHA, H. Meso-urban meteorological and photochemical modeling of heat island mitigation. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 38, p. 8795–8809, 2008.

TEMTCHENKO, T. et al. New developments in perfluoropolyether resins technology: high solid and durable polyurethanes for heavy duty and clear OEM coatings. **Progress in Organic Coatings**, v. 43, p. 75-84, 2001.

TESTA, J.; KRARTI, M. A review of benefits and limitations of static and switchable cool roof systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 77, n. April, p. 451–460, 2017.

TONHAUSER, C. et al. Microflow technology in polymer synthesis. **Macromolecules**, v. 45, n. 24, p. 9551–9570, 2012.

UEMOTO, K. L.; SATO, N. M. N.; JOHN, V. M. Estimating thermal performance of cool colored paints. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 1, p. 17–22, 2010.

VAN VLACK, L.H. **Princípios de Ciências dos Materiais.** Tradução da língua inglesa - São Paulo: Edgar Blucher, 2000.

VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R. E.; BORGNAKKE, B. **Fundamentos da Termodinâmica**. Tradução da sétima edição inglesa – São Paulo: Edgard Blutcher, 2009. 577 p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia.** Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia-Ministério da Agricultura. 2001. 515 p.

VERHOEVEN, J.; PUIK, E.; VAN DER WIEL, M. J. 1.Formation and characterization of multilayer coatings for X-ray optics. **Vaccum**, v. 39, n. 7/8, p. 711-716, 1989.

WANG, Y. X.; ZHANG, S. Toward hard yet tough ceramic coatings. **Surface & Coatings Technology**, v. 258, p. 1-16, 2014.

WELDEN, N. A.; COWIE, P. R. Degradation of common polymer ropes in a sublittoral marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 118, n. 1–2, p. 248–253, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.072>.

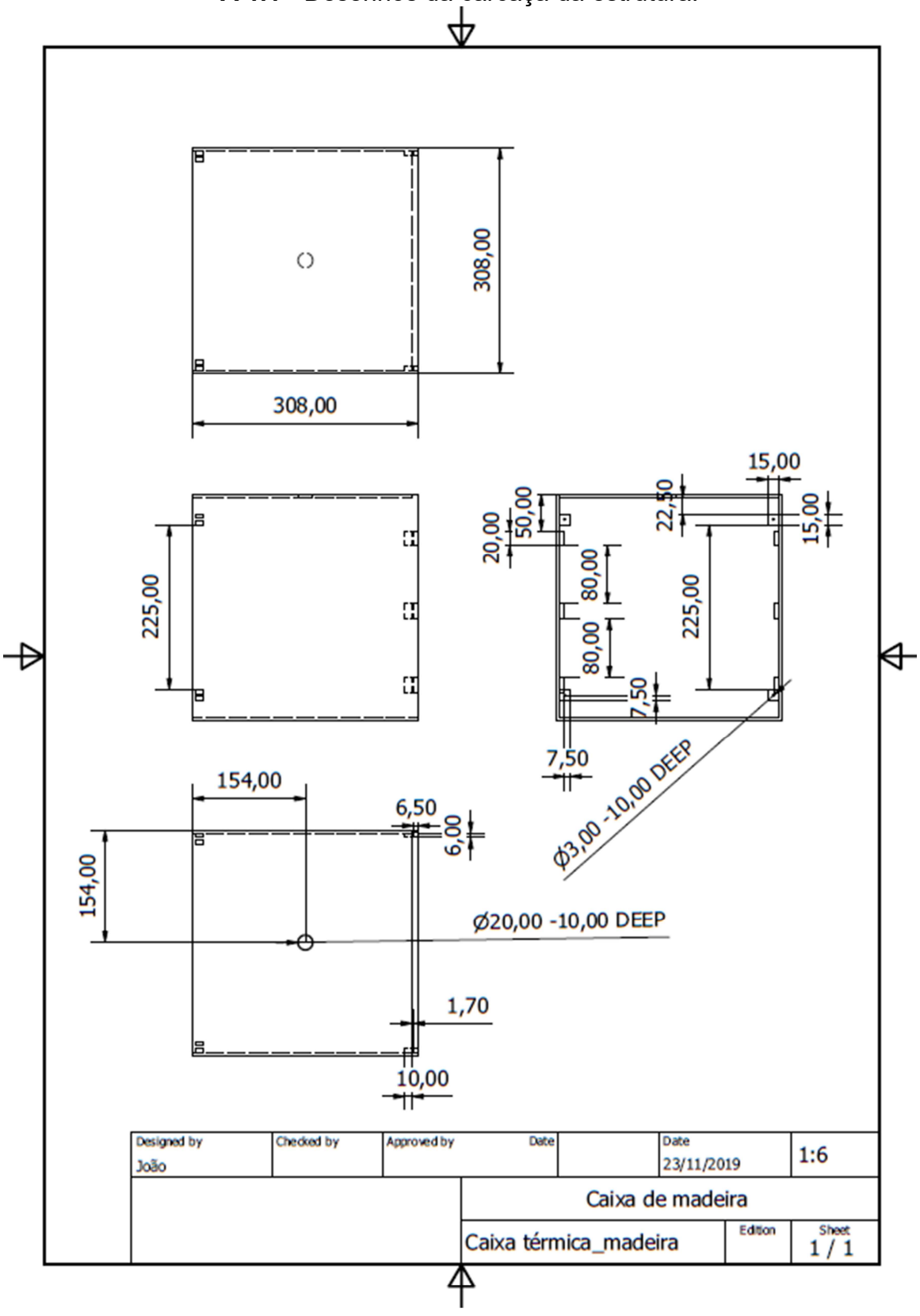
XUE, X. et al. The study of an energy efficient cool white roof coating based on styrene acrylate copolymer and cement for waterproofing purpose - Part I: Optical properties, estimated cooling effect and relevant properties after dirt and accelerated exposures. **Construction and Building Materials**, v. 98, p. 176–184, 2015.

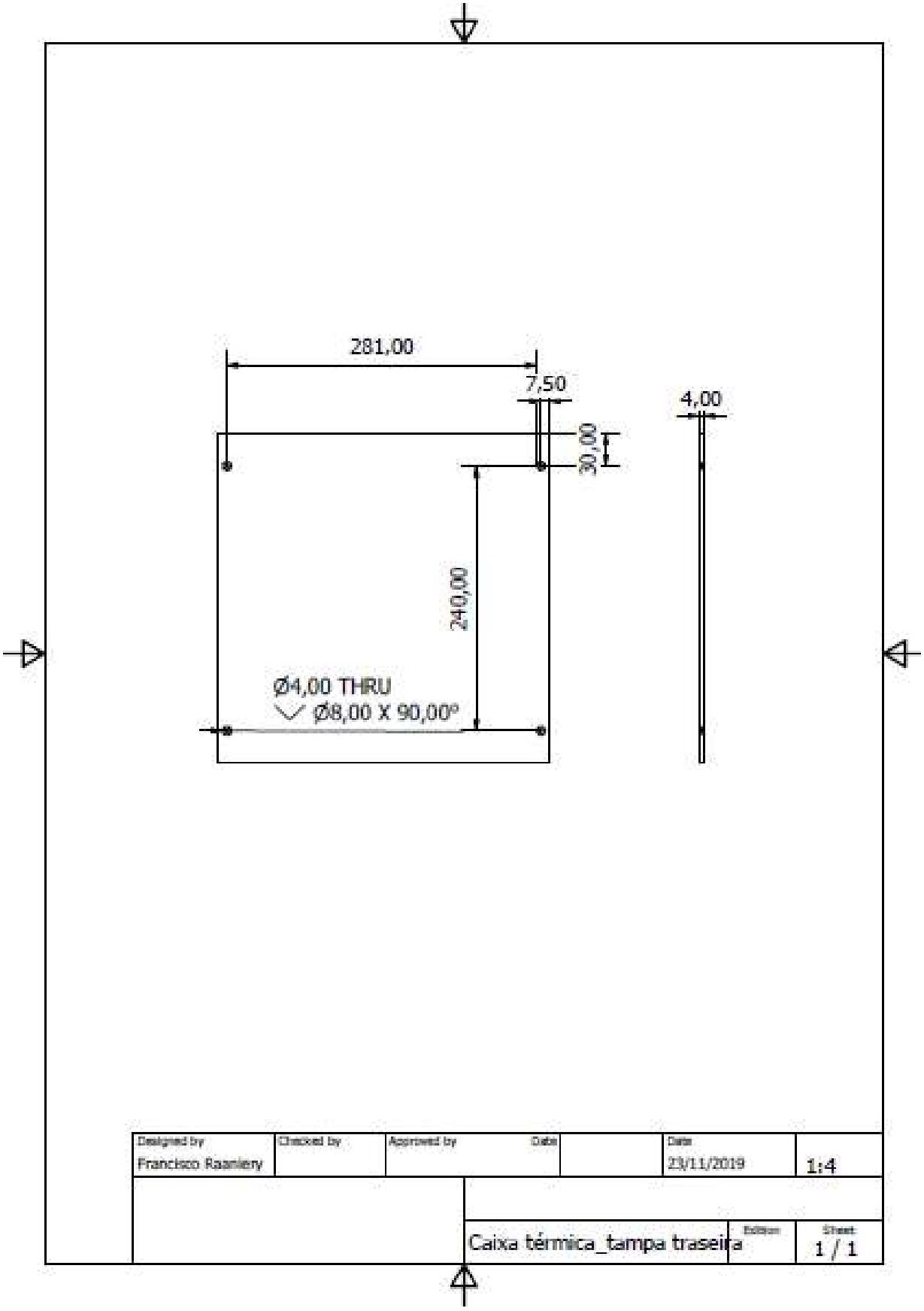
YANG, J. et al. Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in tropical climate. **Solar Energy**, v. 173, n. August, p. 597–609, 2018.

Zhu, X.; Zheng, L.; Yang, F. A Novel Measurement Method for Linear Thermal Expansion Coefficient of Laminated Composite Material Tubular Specimen. ***Material Science**, v.*21(4), p.568–73, 2015. https://doi.org/10.5755/j01.ms.21.4.9708.

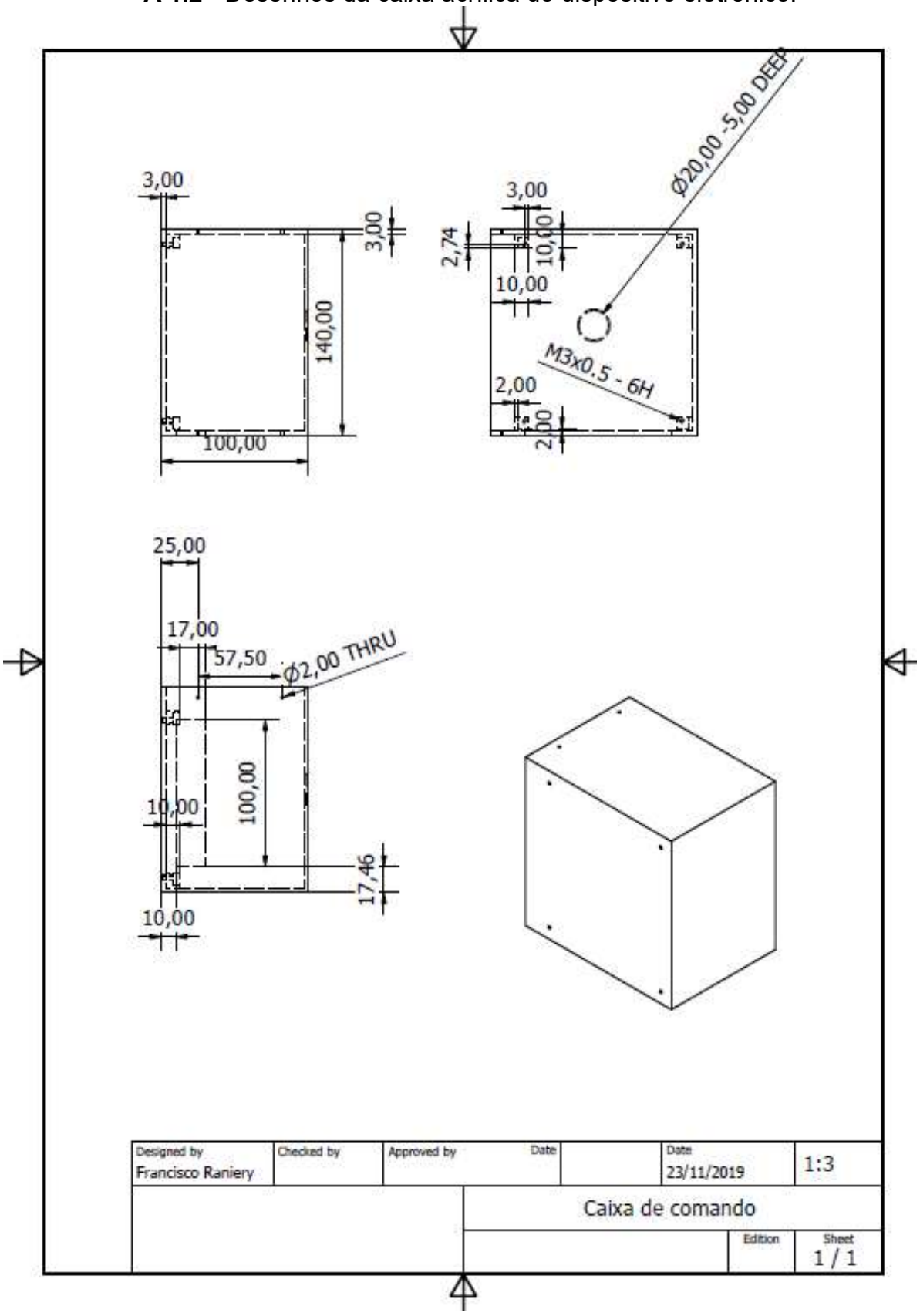
APÊNDICE A - *Desenhos A 1.1) da carcaça, A 1.2) da caixa de acrílica usada no protótipo e A 1.3) lista de materiais usados***.**

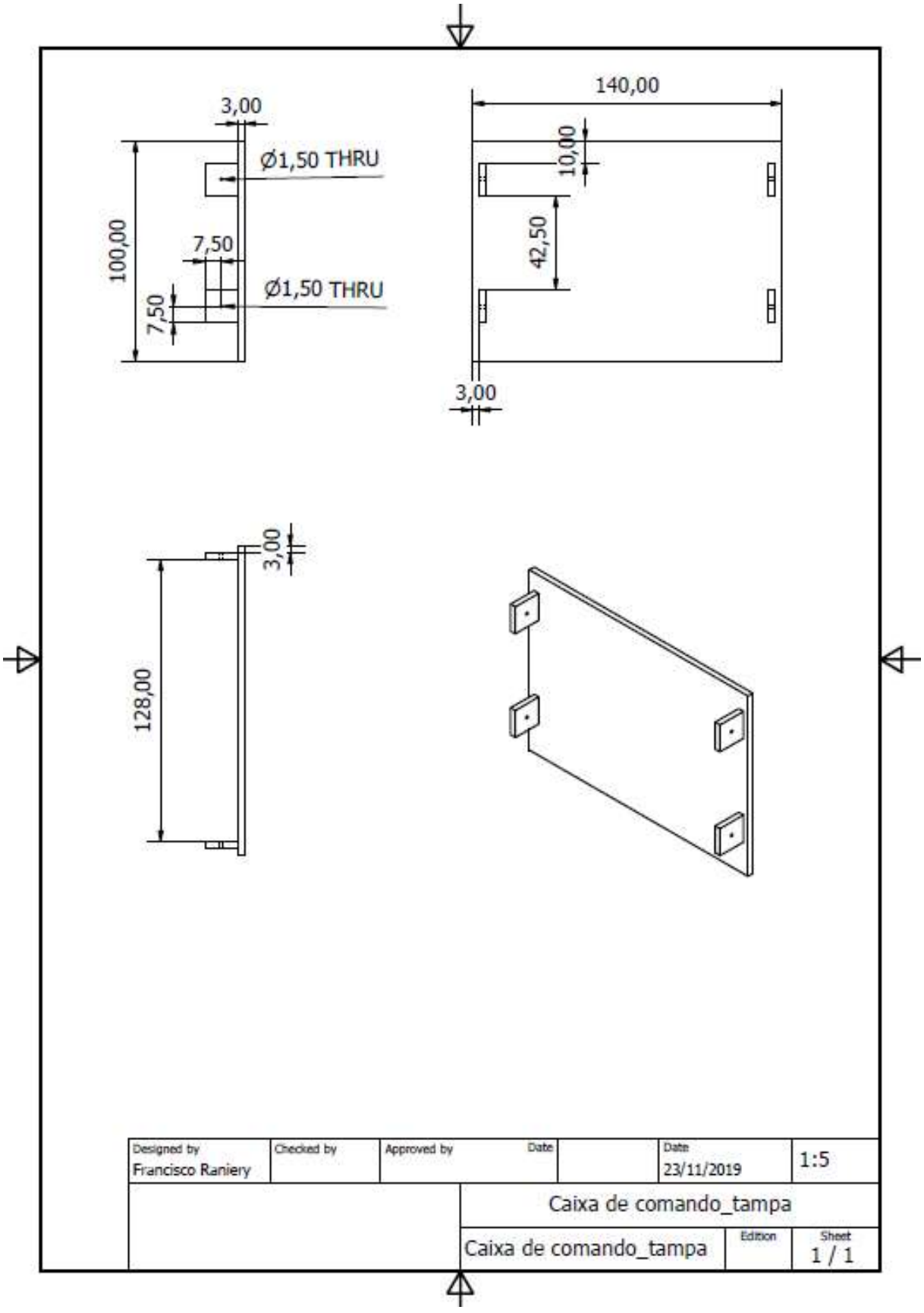
A 1.1 - Desenhos da carcaça da estrutura.




281,00
7,50
4,00
30,00
240,00
Ø4,00 THRU
Ø8,00 X 90,00°
Designed by
Francisco Raanlery
Checked by
Approved by
Date
Date
23/11/2019
1:4
Caixa térmica_tampa traseira
Edition
Sheet
1 / 1

A 1.2 - Desenhos da caixa acrílica do dispositivo eletrônico.



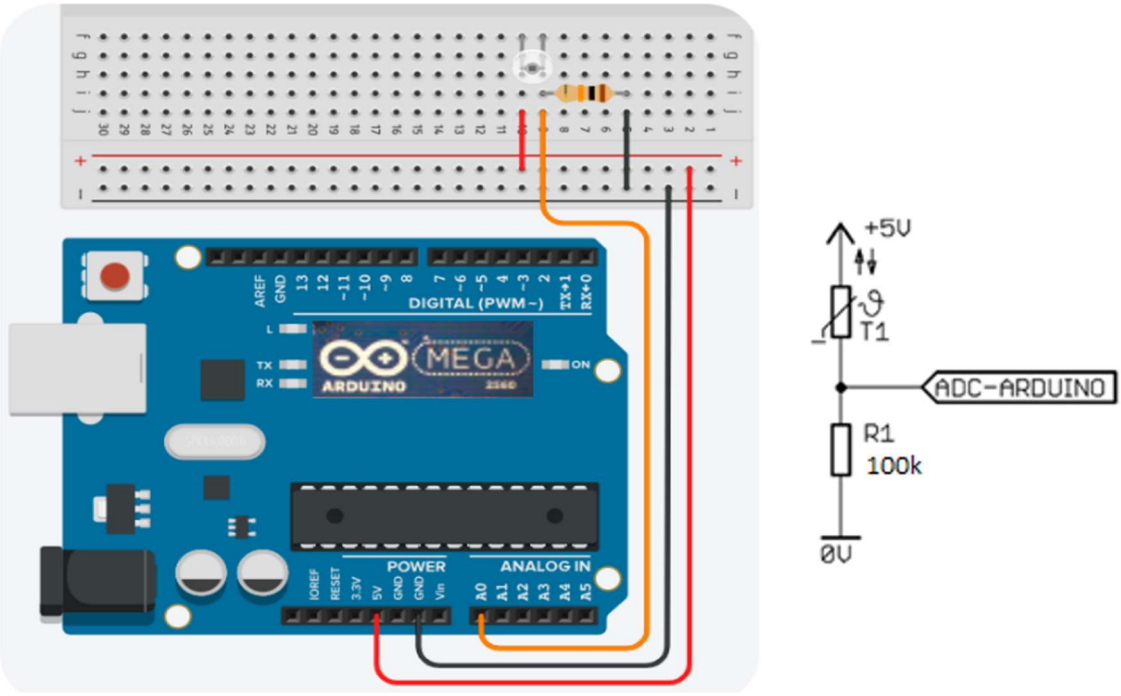


Designed by	Checked by	Approved by	Date		Date	1:5
Francisco Raniery					23/11/2019	
				Caixa de comando_tampa		
				Caixa de comando_tampa	Edition	Sheet 1 / 1

A 1.3 - Lista dos materiais usados no dispositivo.

Qtd	Material	Para onde?
	Caixa de madeira	
4	Folha de Maderite compensada 308x308x4 mm	Aro da caixa
1	Folha de maderite compensada 300x300x4 mm	Tampa traseira
1	Folha de Maderite compensada 4 mm 100x100	Acessórios
2	Folha de EVA 4 mm 316x308	Superior
2	Folha de 316x312 mm	Lateral
2	Folha de EVA 4 mm 316x316	Inferior e traseiro
4	parafusos cab redonda Philips M4 ISO 7046 H	Fixação
	Caixa de comando	
2	Chapas acrílico 140x140x3 mm	Inferior e superior
2	Chapas acrílico 136x136x3 mm	Laterais
2	Chapas de acrílico 136x92x3 mm	Dianteira e traseira
1	Chapa de acrílico 3 mm à gosto	Acessórios
4	Philips M4 ISO 7046 Z	Fixação
	Outros	
1	Chapa de aço 1020 299x310	corpo de prova
1	Metro de fio AWG 18 branco	Ligação
1,5	metro de fio AWG 18 Preto	Ligação
1,5	Metro de fio AWG 18 vermelho	
7	Sensor de temp. NTC 100k	Sensor
1	Arduino	Controle
1	Protoboard 300 furos	Ligação
1	Black board	Suporte
4	Parafusos cab redonda allen ISO 7380 M3	Fixação da Black board
1	Luminária	
1	sonda	Suporte do sensor espacial

APÊNDICE B - Circuito eletrônico (montagem dos sensores).



APÊNDICE C - Tabela com temperaturas médias máximas para cada amostra em função da distância e direção do fluxo de ar.

C 1.1 – Temperaturas máximas em Kelvin.

Material		Temperaturas máximas (K)	60 cm (sem fluxo de ar)	40 cm (sem fluxo de ar)	20 cm (sem fluxo de ar)	60cm (fluxo frontal)	60 cm (fluxo lateral)	40cm (fluxo frontal)	40 cm (fluxo lateral)	20cm (fluxo frontal)	20 cm (fluxo lateral)
Tinta preta comum		Superfície externa	320,8	340,7	375,6	300,3	310,7	311,1	327,4	332,2	339,5
		Superfície interna	322,6	340,6	372,6	304,0	313,3	314,3	328,6	337,0	344,8
		Interior do modelo	303,7	311,2	316,0	297,3	300,8	298,9	303,3	300,1	307,3
Chapa sem pintura		Superfície externa	319,2	331,1	358,3	316,0	315,3	328,8	330,0	357,8	358,6
		Superfície interna	319,1	330,3	355,4	301,9	301,4	310,0	311,1	328,8	328,5
		Interior do modelo	306,7	310,1	313,1	294,2	293,8	296,0	296,5	297,8	299,1
Tintas especiais	TSH-C1	Superfície externa	310,1	317,4	338,9	292,8	295,6	294,9	299,3	302,1	308,6
		Superfície interna	308,8	314,5	327,8	292,6	294,8	294,5	296,7	299,7	301,9
		Interior do modelo	303,2	304,2	305,3	291,1	292,2	291,3	292,6	293,1	294,0
	TSH-C2	Superfície externa	308,3	316,2	338,6	291,4	294,4	293,6	298,9	301,0	311,5
		Superfície interna	305,9	311,7	321,5	290,9	292,9	292,0	295,4	295,9	301,0
		Interior do modelo	301,3	304,4	307,2	289,6	291,0	290,0	291,5	291,5	294,5
	TSH-R1	Superfície externa	312,5	322,0	343,5	292,6	295,6	294,9	300,1	301,6	307,0
		Superfície interna	312,0	320,2	338,4	292,8	295,5	295,2	299,5	302,0	305,7
		Interior do modelo	304,5	305,9	309,1	291,0	292,9	291,3	293,2	291,2	295,3
Tinta branca comum		Superfície externa	310,4	319,9	342,0	301,9	292,4	294,2	296,2	300,5	306,7
		Superfície interna	309,5	317,9	334,6	292,4	292,7	294,1	296,2	299,6	305,1
		Interior do modelo	301,8	307,0	312,4	289,9	290,1	290,1	291,4	289,7	293,1

Fonte: Elaborado pelo autor.

C 1.2 – Temperaturas máximas em Celsius.

Material		**Temperaturas máximas (°C)**	**60 cm (sem fluxo de ar)**	**40 cm (sem fluxo de ar)**	**20 cm (sem fluxo de ar)**	**60cm (fluxo frontal)**	**60 cm (fluxo lateral)**	**40cm (fluxo frontal)**	**40 cm (fluxo lateral)**	**20cm (fluxo frontal)**	**20 cm (fluxo lateral)**
Tinta preta comum		Superfície externa	47,7	67,5	102,4	27,2	37,5	37,9	54,3	59,0	66,3
		Superfície interna	49,5	67,4	99,4	30,8	40,2	41,2	55,4	63,9	71,7
		Interior do modelo	30,6	38,1	42,8	24,2	27,7	25,8	30,1	27,0	342
Chapa sem pintura		Superfície externa	46,1	58,0	85,2	42,8	42,2	55,7	56,9	84,6	85,5
		Superfície interna	46,0	57,1	82,2	28,7	28,2	36,9	38,0	55,7	55,3
		Interior do modelo	33,6	37,0	39,9	21,0	20,7	22,8	23,4	24,6	25,9
Tintas especiais	TSH-C1	Superfície externa	37,0	44,3	65,8	19,6	22,5	21,8	26,2	28,9	35,5
		Superfície interna	35,6	41,4	54,6	19,4	21,6	21,3	23,6	26,5	28,7
		Interior do modelo	30,1	31,0	32,1	18,0	19,0	18,2	19,5	19,9	20,8
	TSH-C2	Superfície externa	35,2	43,0	65,5	18,2	21,2	20,5	25,8	27,9	38,4
		Superfície interna	32,8	38,5	48,3	17,7	19,7	18,8	22,2	22,7	27,8
		Interior do modelo	28,1	31,2	34,0	16,5	17,8	16,9	18,3	18,3	21,3
	TSH-R1	Superfície externa	39,4	48,9	70,4	19,5	22,4	21,7	26,9	28,5	33,9
		Superfície interna	38,9	47,0	65,2	19,6	22,3	22,0	26,4	28,8	32,5
		Interior do modelo	31,4	32,8	36,0	17,8	19,7	18,1	20,0	18,1	22,1
Tinta branca comum		Superfície externa	37,2	46,8	68,8	28,8	19,2	21,1	23,1	27,4	33,6
		Superfície interna	36,3	44,7	61,5	19,2	19,5	21,0	23,1	26,4	32,0
		Interior do modelo	28,7	33,8	39,3	16,7	16,9	16,9	18,2	16,5	19,9

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE D - Razão percentual das temperaturas máximas absolutas (K).

Razões de temperatura		Região analisada/ Distâncias	60 cm (sem fluxo de ar)	40 cm (sem fluxo de ar)	20 cm (sem fluxo de ar)	60cm (fluxo frontal)	60 cm (fluxo lateral)	40cm (fluxo frontal)	40 cm (fluxo lateral)	20cm (fluxo frontal)	20 cm (fluxo lateral)
Tintas especias/ Tinta comum preta		Superfície externa	-2,7%	-5,8%	-9,3%	-2,6%	-5,1%	-5,5%	-9,1%	-10,0%	-10,6%
		Superfície interna	-3,4%	-6,4%	-10,1%	-3,8%	-6,0%	-6,5%	-9,7%	-11,6%	-14,6%
		Interior do modelo	0,3%	-1,7%	-8,5%	-2,1%	-2,7%	-2,6%	-3,4%	-2,4%	-4,5%
Tintas especiais/Aço 1020		Superfície externa	-2,1%	-2,8%	-4,3%	-7,9%	-6,7%	-11,5%	-10,0%	-18,4%	-16,8%
		Superfície interna	-2,3%	-3,2%	-5,0%	-3,1%	-2,0%	-5,0%	-3,9%	-8,9%	-9,1%
		Interior do modelo	-0,7%	-1,4%	-1,3%	-1,0%	-0,3%	-1,6%	-1,1%	-1,6%	-1,7%
Tintas especiais/ Tinta branca comum	TSH-C1	Superfície externa	-0,1%	-0,8%	-0,9%	-3,1%	1,1%	0,2%	1,0%	0,5%	0.6%
		Superfície interna	-0,2%	-1,1%	-2,1%	0,1%	0,7%	0,1%	0,2%	0,0%	-1.1%
		Interior do modelo	0,5%	-0,9%	-2,3%	0,4%	0,7%	0,4%	0,4%	1,1%	0.3%
	TSH-C2	Superfície externa	-0,7%	-1,2%	-1,0%	-3,6%	0,7%	-0,2%	0,9%	0,2%	1.5%
		Superfície interna	-1,2%	-2,0%	-4,1%	-0,5%	0,1%	-0,7%	-0,3%	-1,2%	-1.4%
		Interior do modelo	-0,2%	-0,9%	-1,7%	-0,1%	0,3%	0,0%	0,0%	0,6%	0.5%
	TSH-R1	Superfície externa	0,7%	0,7%	0,4%	-3,2%	1,1%	0,2%	1,3%	0,4%	0.1%
		Superfície interna	0,8%	0,7%	1,1%	0,1%	0,9%	0,3%	1,1%	0,8%	0.2%
		Interior do modelo	0,9%	-0,3%	-1,1%	0,4%	1,0%	0,4%	0,6%	0,5%	0.7%
Tintas comum branca/Aço 1020		Superfície externa	-2,8%	-3,5%	-4,8%	-4,6%	-7,9%	-11,8%	-11,4%	-19,0%	-16,9%
		Superfície interna	-3,1%	-3,9%	-6,2%	-3,2%	-3,0%	-5,4%	-5,0%	-9,8%	-7,6%
		Interior do modelo	-1,6%	-1,0%	-0,2%	-1,5%	-1,3%	-2,0%	-1,8%	-2,8%	-2,1%
Tinta branca comum/Tinta preta comum		Superfície externa	-3,4%	-6,5%	-9,8%	0,5%	-6,3%	-5,7%	-10,5%	-10,5%	-10,7%
		Superfície interna	-4,2%	-7,1%	-11,3%	-4,0%	-7,1%	-6,9%	-10,9%	-12,5%	-13,0%
		Interior do modelo	-0,6%	-1,4%	-1,1%	-2,6%	-3,7%	-3,0%	-4,1%	-3,6%	-4,9%
Tinta preta comum/Aço 1020		Superfície externa	0,5%	2,8%	4,6%	-5,2%	-1,5%	-5,7%	-0,8%	-7,7%	-5,6%
		Superfície interna	1,1%	3,0%	4,6%	0,7%	3,8%	1,4%	5,3%	2,4%	4,7%
		Interior do modelo	-1,0%	0,3%	0,9%	1,1%	2,3%	1,0%	2,2%	0,8%	2,7%

*Sinal positivo indica que a temperatura do numerador é maior que a do denominador. Sinal negativo indica o contrário. Ex: Tintas comum preta/Tintas especiais = 22% (temperatura da chapa coberta por tinta preta é 22% maior que a coberta por tinta especial). Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE E - Fluxo de calor radiante em relação à chapa não pintada.

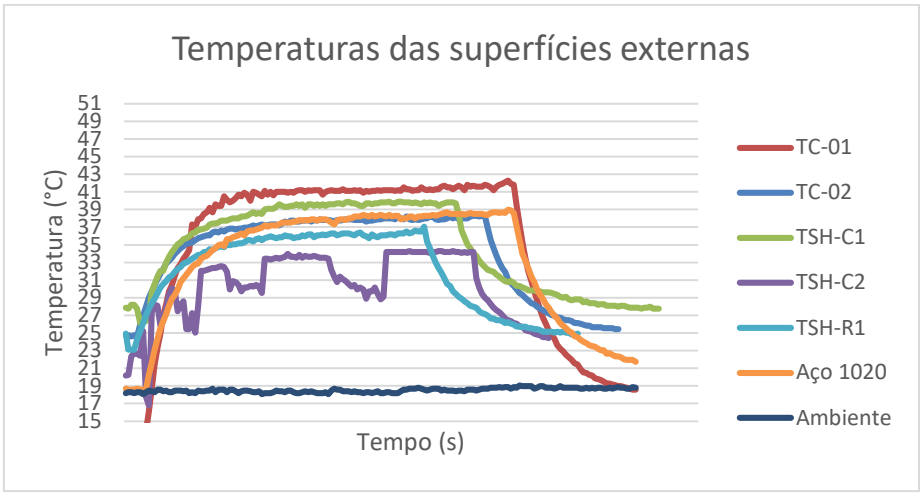
Amostra	Dados	Combinações distâncias/fluxos de ar								
		60 cm (sem fluxo)	60cm (fluxo frontal)	60 cm (fluxo lateral)	40 cm (sem fluxo)	40cm (fluxo frontal)	40 cm (fluxo lateral)	20 cm (sem fluxo)	20cm (fluxo frontal)	20 cm (fluxo lateral)
Chapa de aço sem pintura	Temperatura sup. interna (K)	319,1	301,9	301,4	330,3	310,0	311,1	355,4	328,8	328,5
	Temperatura ar int. (K)	306,7	294,2	293,8	310,1	296,0	296,5	313,1	297,8	299,1
	Fluxo radiante (W/m^2)	64	34	33	111	65	69	266	160	152
TC-01	Temperatura sup. interna (K)	322,6	304,0	313,3	340,6	314,3	328,6	372,6	337,0	344,8
	Temperatura ar int. (K)	303,7	297,3	300,8	311,2	298,9	303,3	316,0	300,1	307,3
	Fluxo radiante (W/m^2)	97	30	61	171	75	134	390	201	218
	Redução com tinta aplicada (%)	-53%	11%	-83%	-54%	-14%	-95%	-47%	-25%	-43%
TC-02	Temperatura sup. interna (K)	309,5	292,4	292,7	317,9	294,1	296,2	334,6	299,6	305,2
	Temperatura ar int. (K)	301,8	289,9	290,1	307,0	290,1	291,4	312,4	289,7	293,1
	Fluxo radiante (W/m^2)	37	10	11	56	17	21	126	42	54
	Redução com tinta aplicada (%)	42%	69%	68%	50%	74%	70%	53%	74%	64%
TSH-C1	Temperatura sup. interna (K)	308,8	292,6	294,8	314,5	294,5	296,7	327,8	299,7	301,9
	Temperatura ar int. (K)	303,2	291,1	292,2	304,2	291,3	292,6	305,3	293,1	294,0
	Fluxo radiante (W/m^2)	27	6	11	51	13	18	120	29	35
	Redução com tinta aplicada (%)	58%	83%	67%	54%	80%	74%	55%	82%	77%
TSH-C2	Temperatura sup. interna (K)	305,9	290,9	292,9	311,7	292,0	295,4	321,5	295,9	301,0
	Temperatura ar int. (K)	301,3	289,6	291,0	304,4	290,0	291,5	307,2	291,5	294,5
	Fluxo radiante (W/m^2)	22	5	8	36	8	17	75	19	29
	Redução com tinta aplicada (%)	66%	85%	76%	68%	88%	76%	72%	88%	81%
TSH-R1	Temperatura sup. interna (K)	312,0	292,8	295,5	320,2	295,2	299,5	338,4	302,0	305,7
	Temperatura ar int. (K)	304,5	291,0	292,9	306,0	291,3	293,2	309,1	291,2	295,3
	Fluxo radiante (W/m^2)	37	8	11	73	17	28	167	47	47
	Redução com tinta aplicada (%)	42%	78%	67%	34%	75%	60%	37%	71%	69%

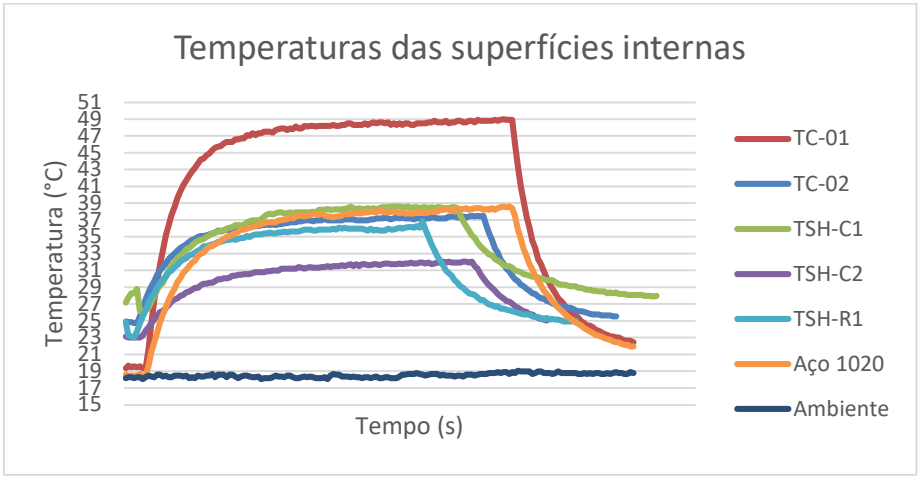
*Valores negativos significam que o fluxo de calor para a amostra analisada é maior do que para a placa de aço não revestida.

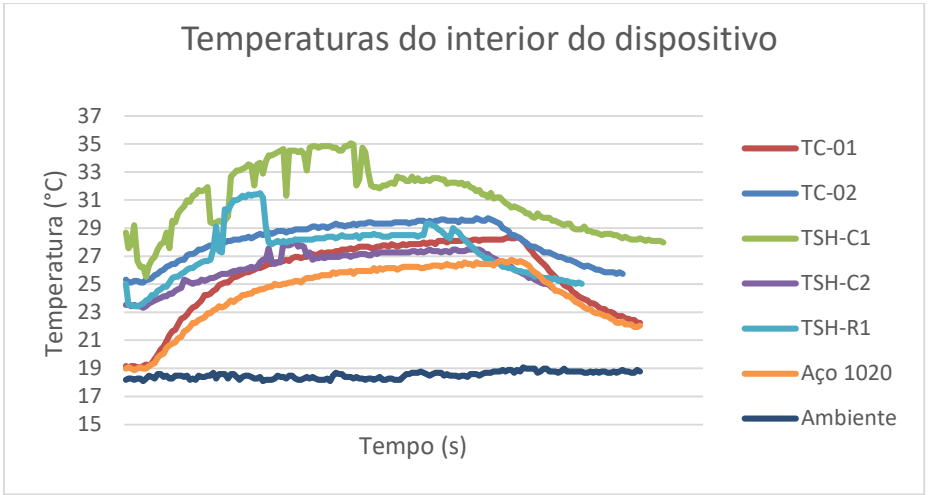
Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE F – Curvas do perfil de temperaturas medidas para os demais experimentos.

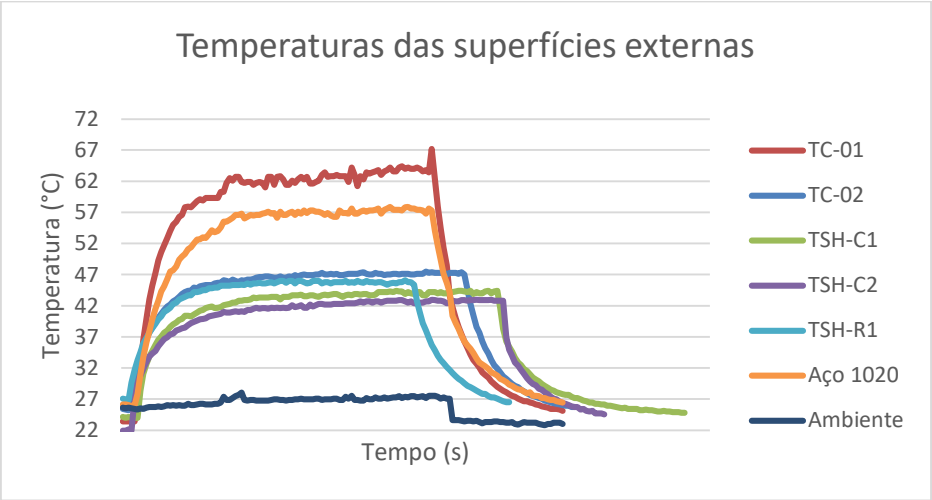
F 1.1 - Segundo ensaio - temperaturas para fonte à 60 cm de distância da chapa sem fluxo de ar.

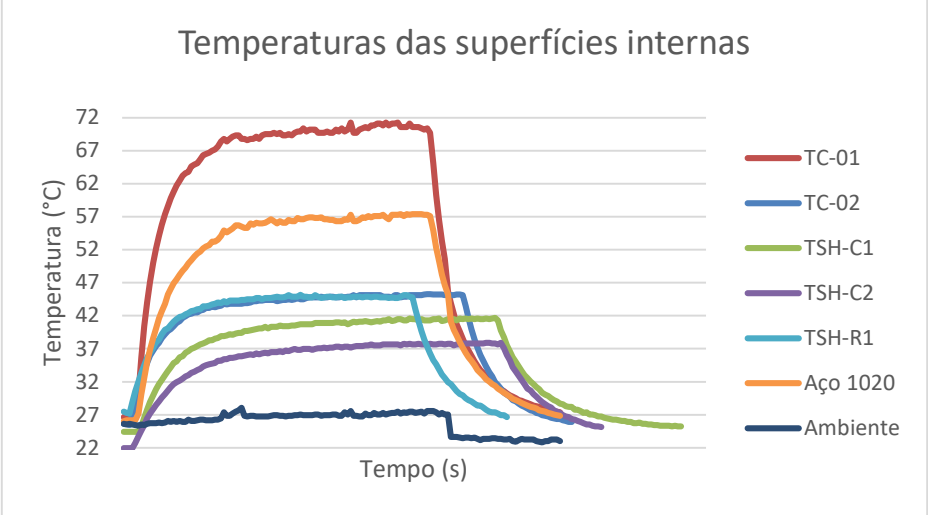


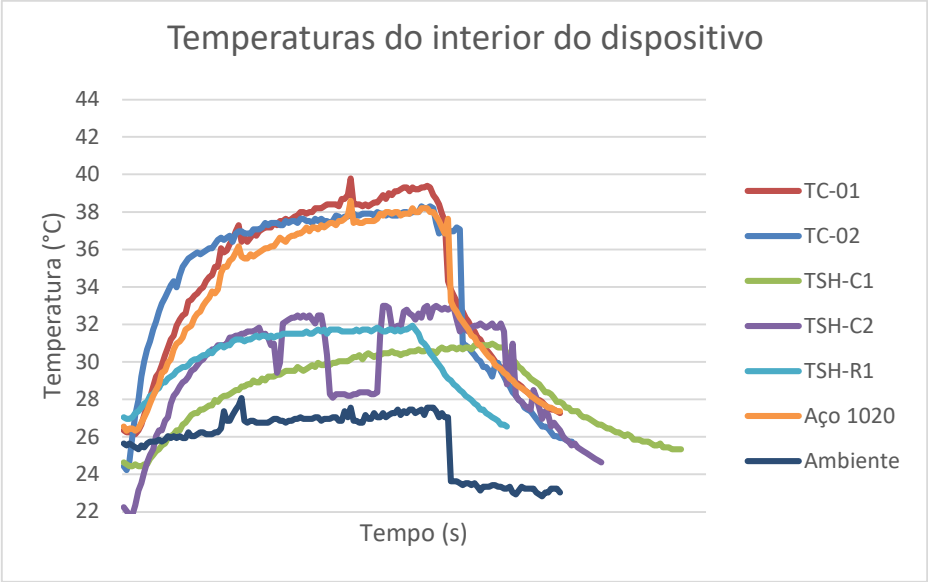




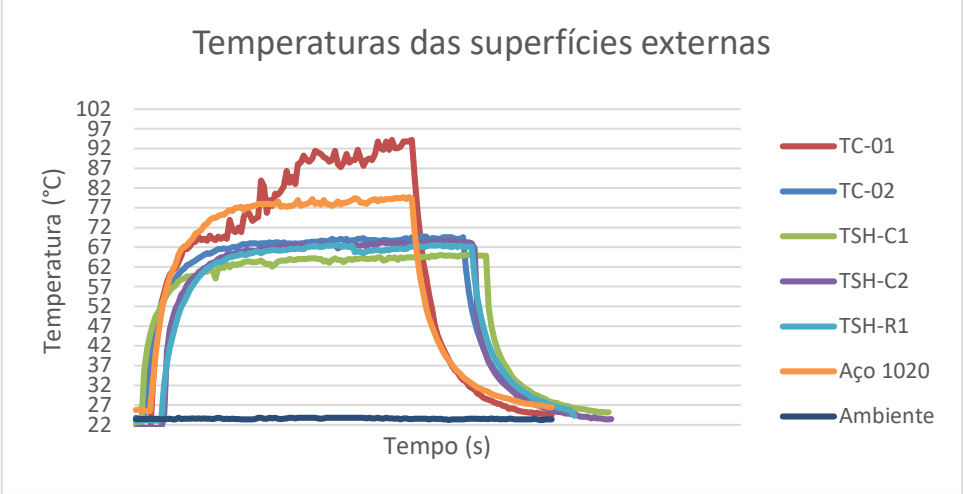
F 1.2 - Segundo ensaio - temperaturas para fonte à 40 cm de distância da chapa sem fluxo de ar.

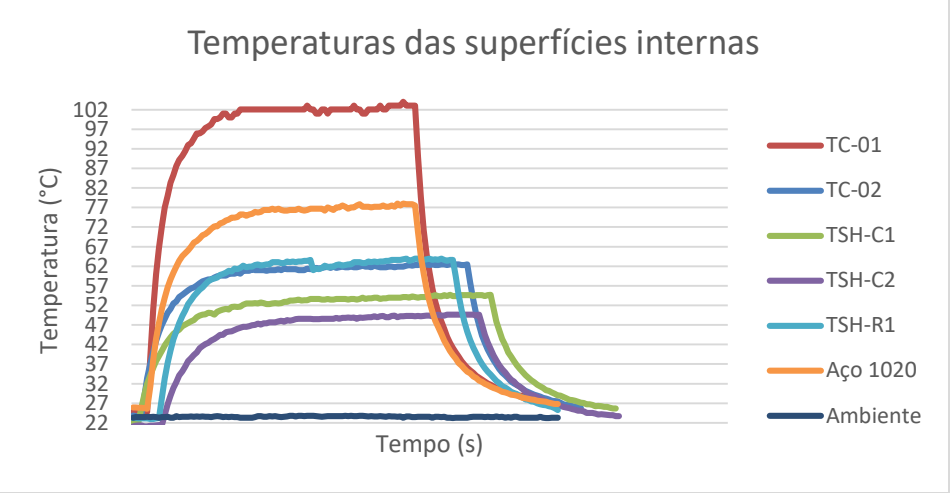


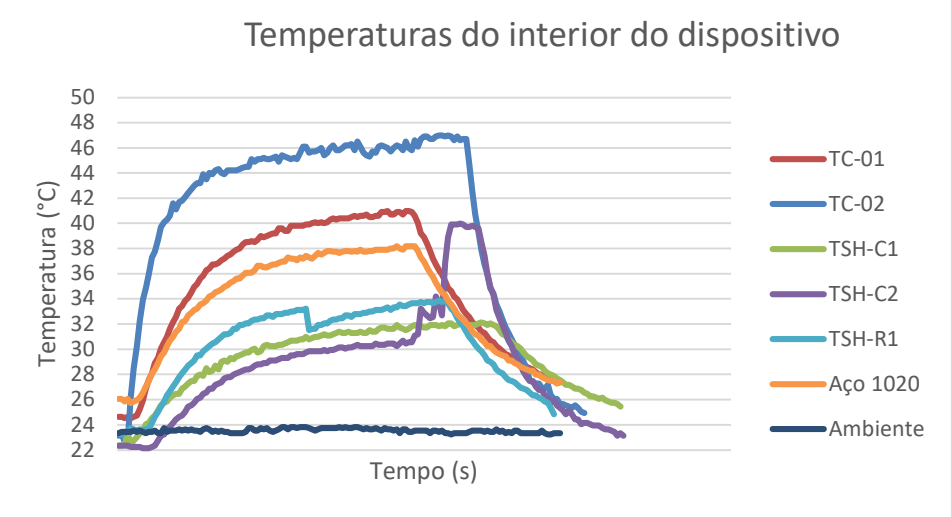




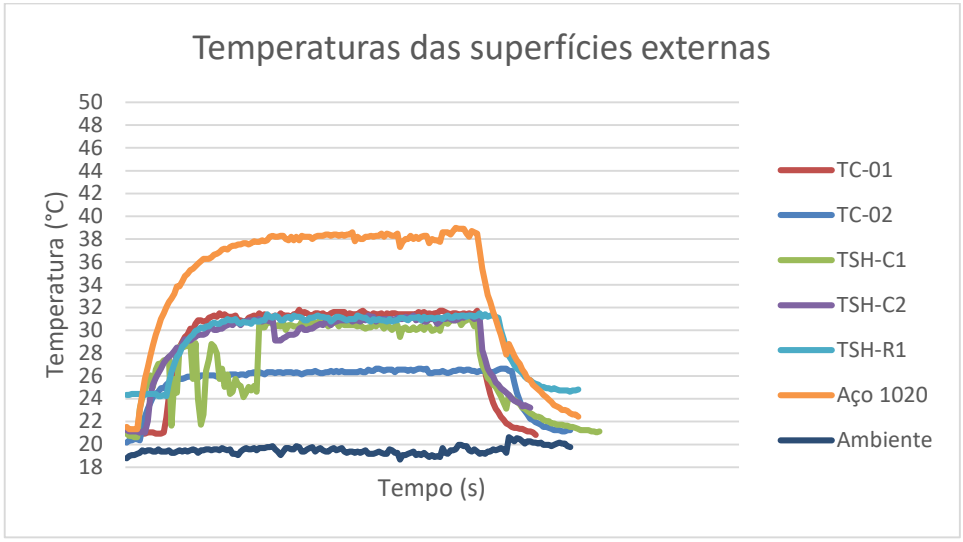
F 1.3 - Segundo ensaio - temperaturas para fonte à 20 cm de distância da chapa sem fluxo de ar.

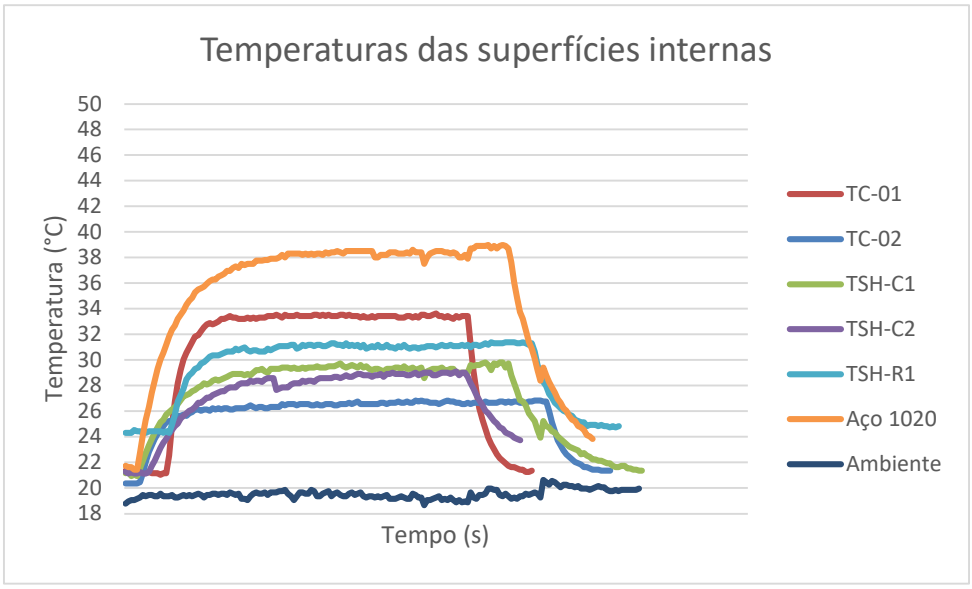


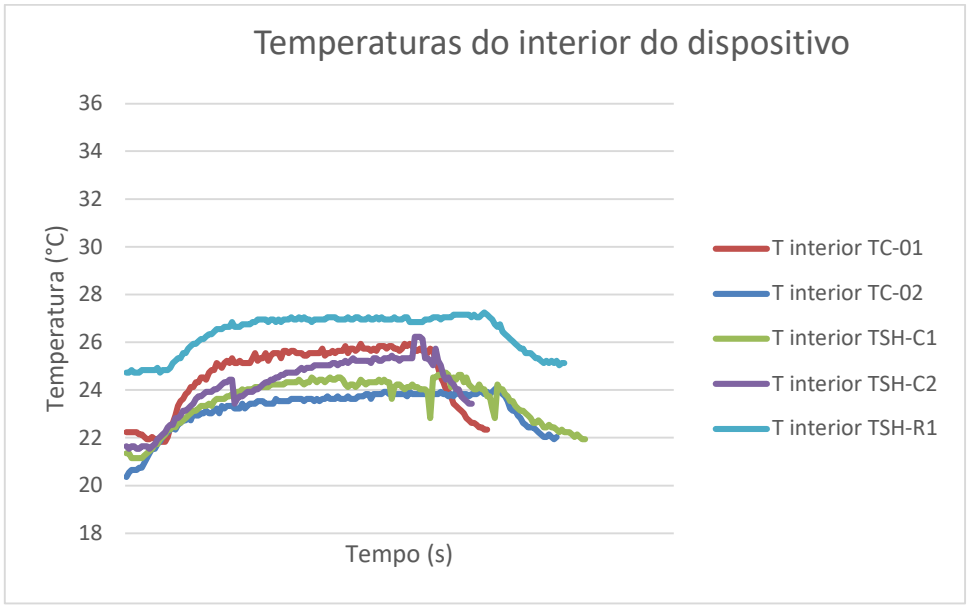




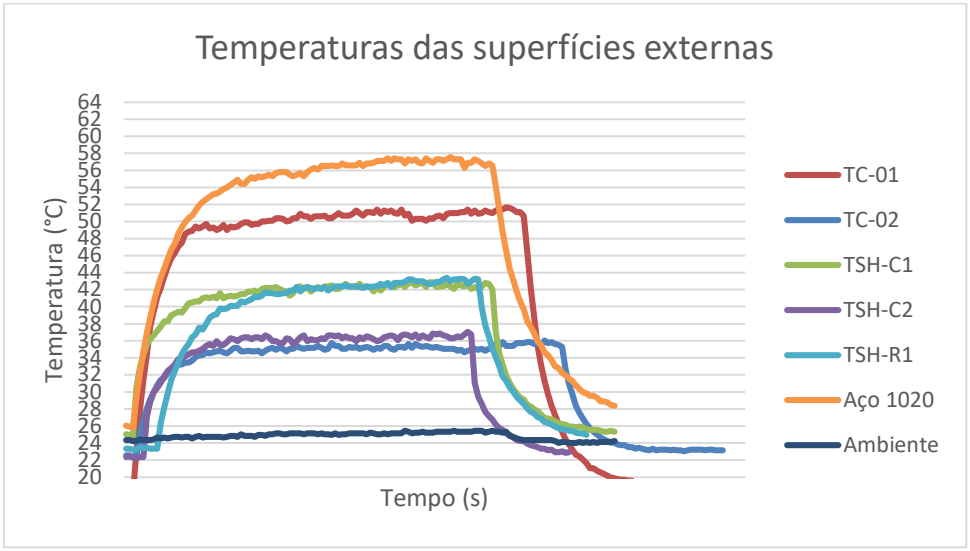
F 1.4 - Perfil de temperaturas para fonte à 60 cm de distância da chapa com fluxo de ar lateral.

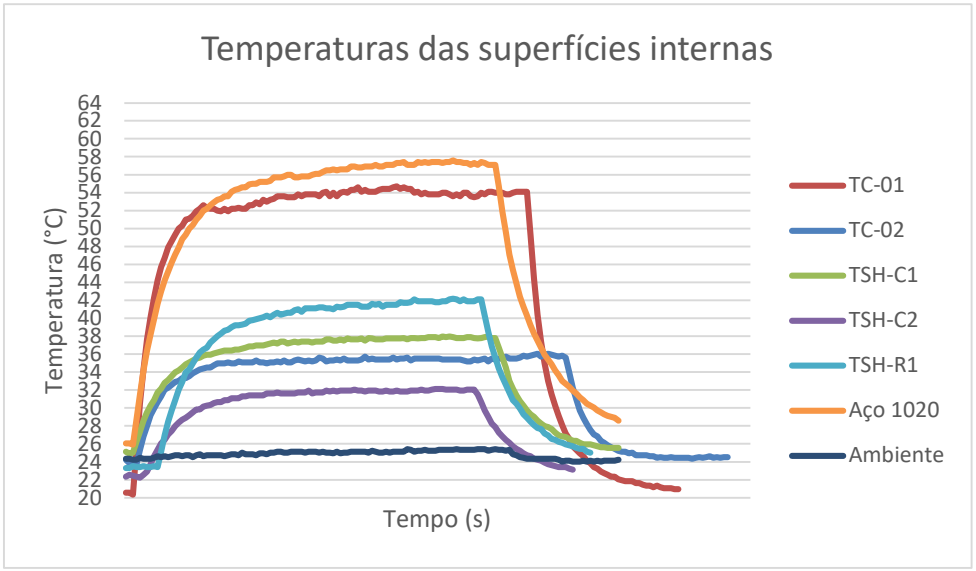


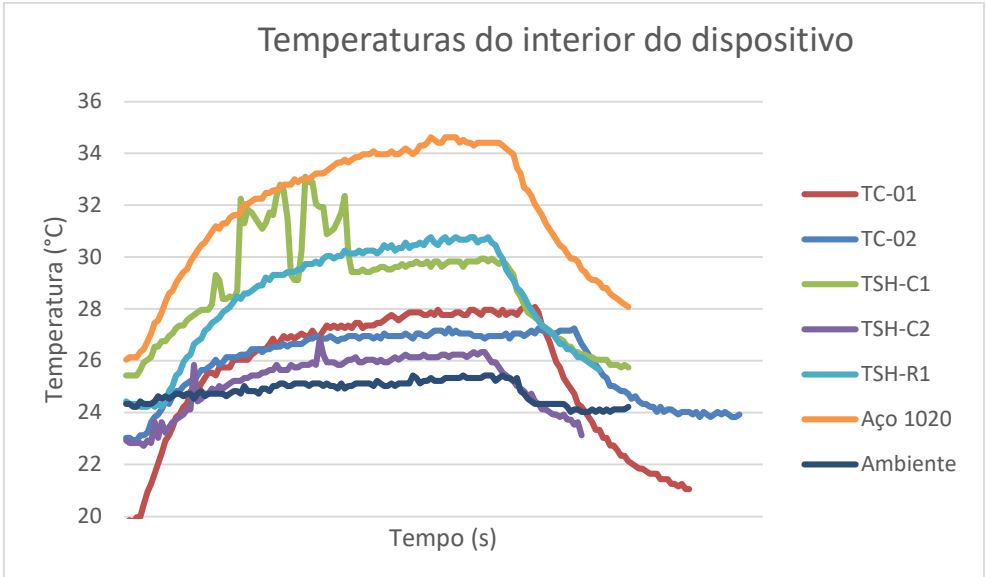




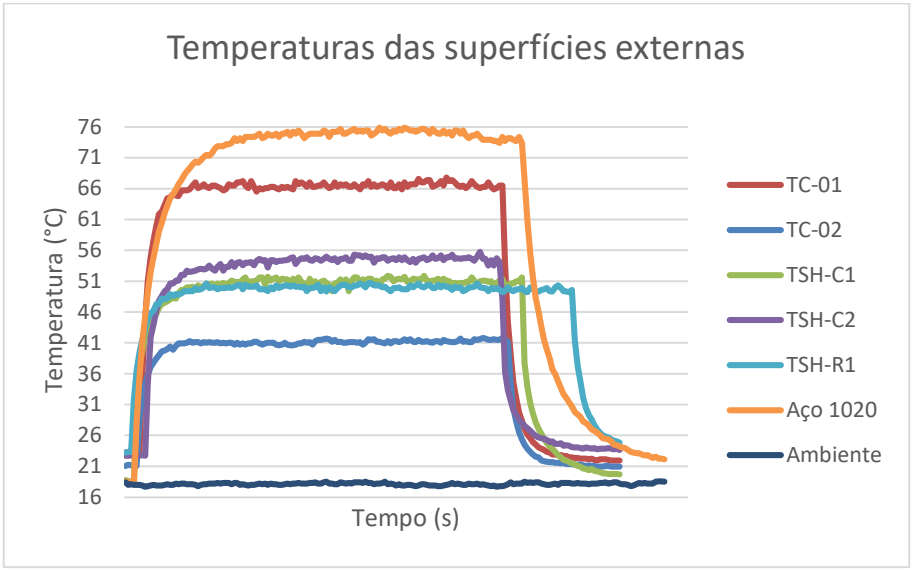
F 1.5 - Perfil de temperaturas para fonte à 40 cm de distância da chapa com fluxo de ar lateral.

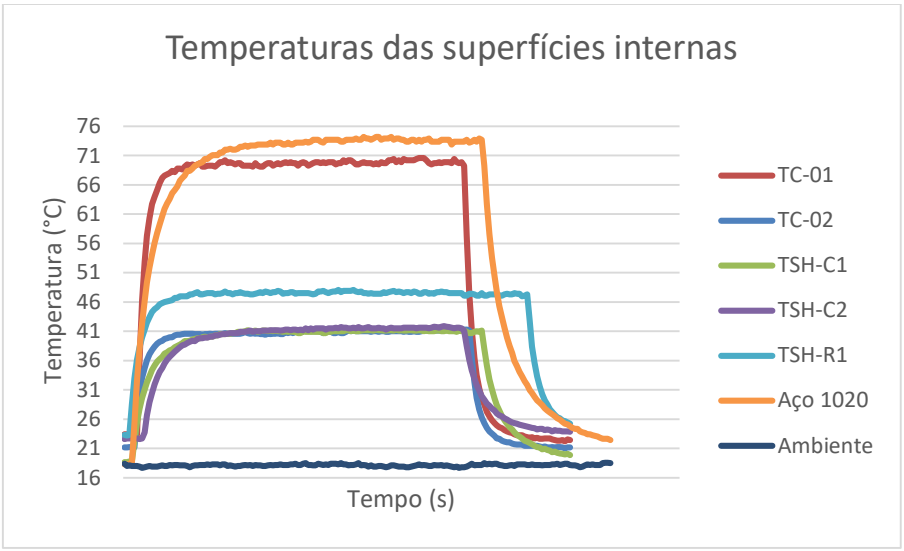


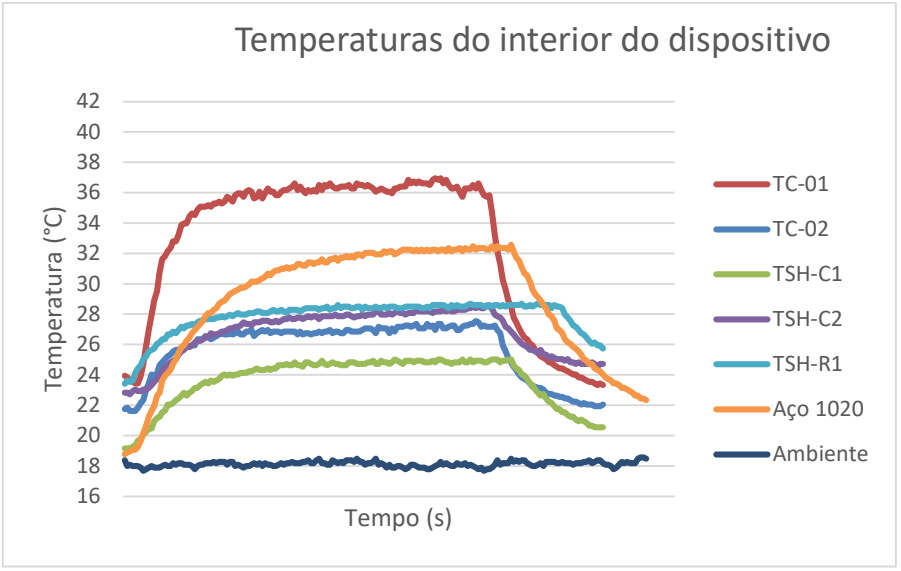




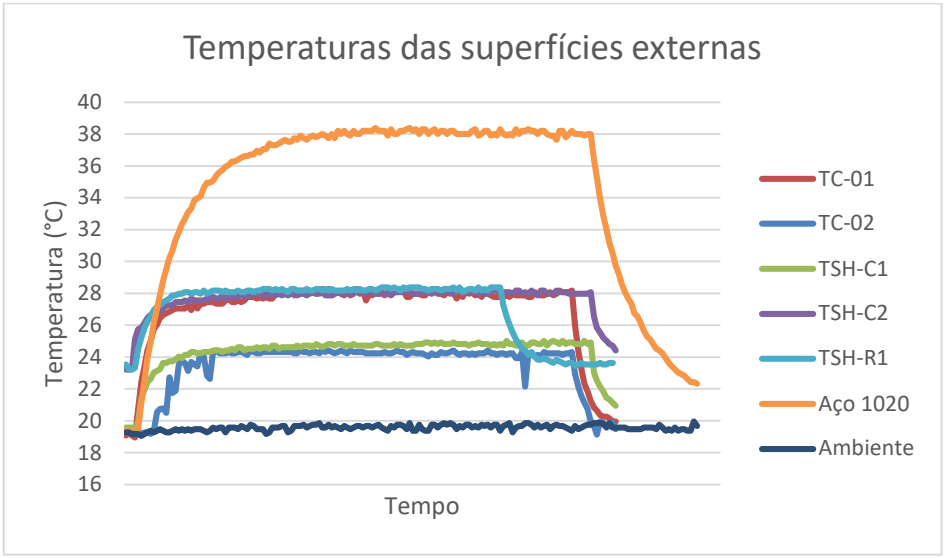
F 1.6 - Perfil de temperaturas para fonte à 20 cm de distância da chapa com fluxo de ar lateral.

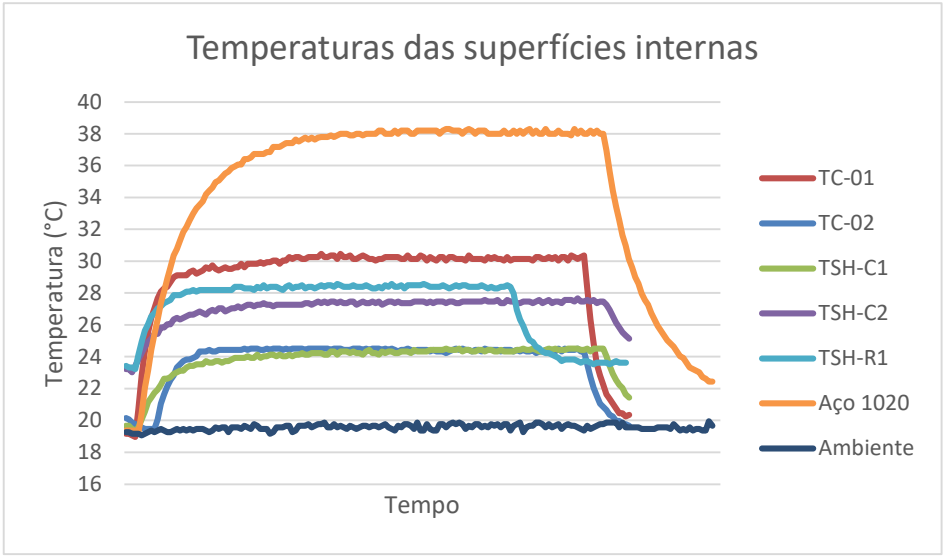


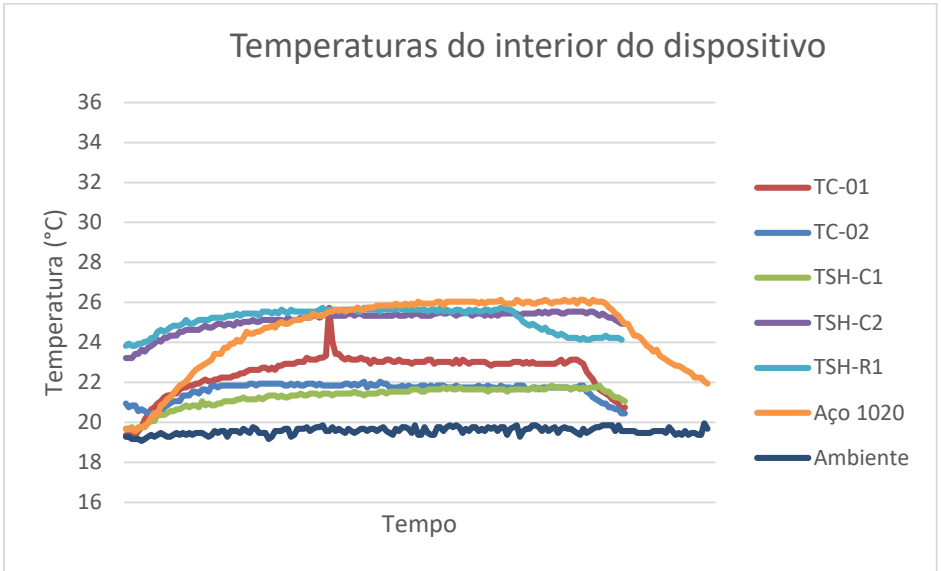




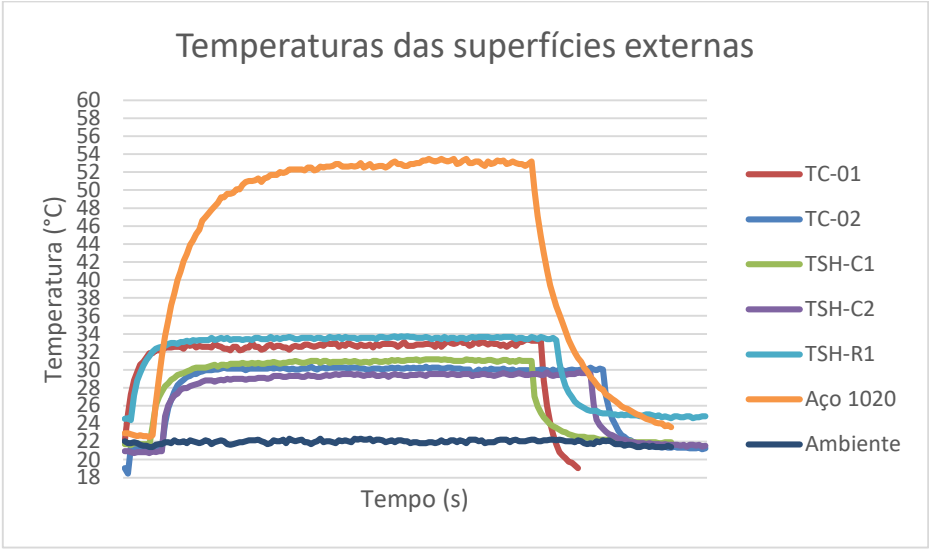
F 1.7 - Perfil de temperaturas para fonte à 60 cm de distância da chapa com fluxo de ar frontal.

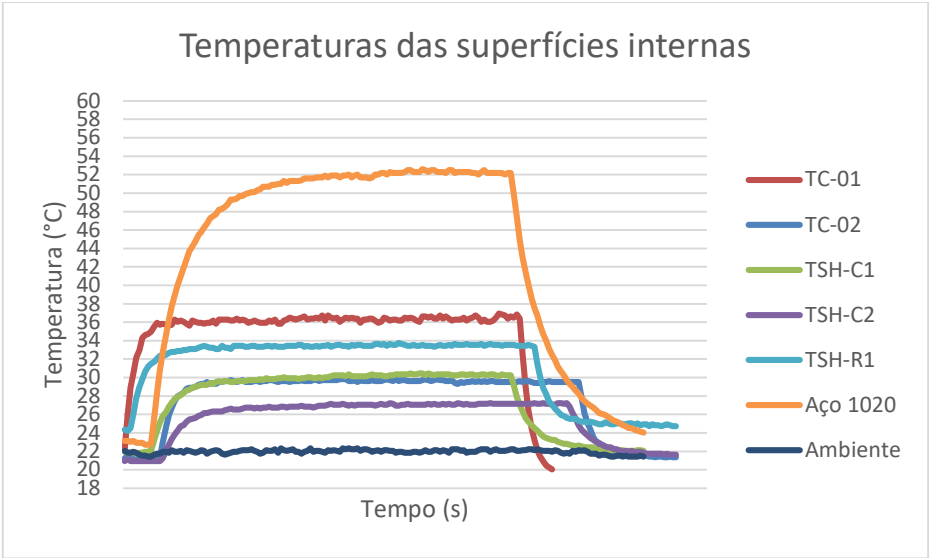


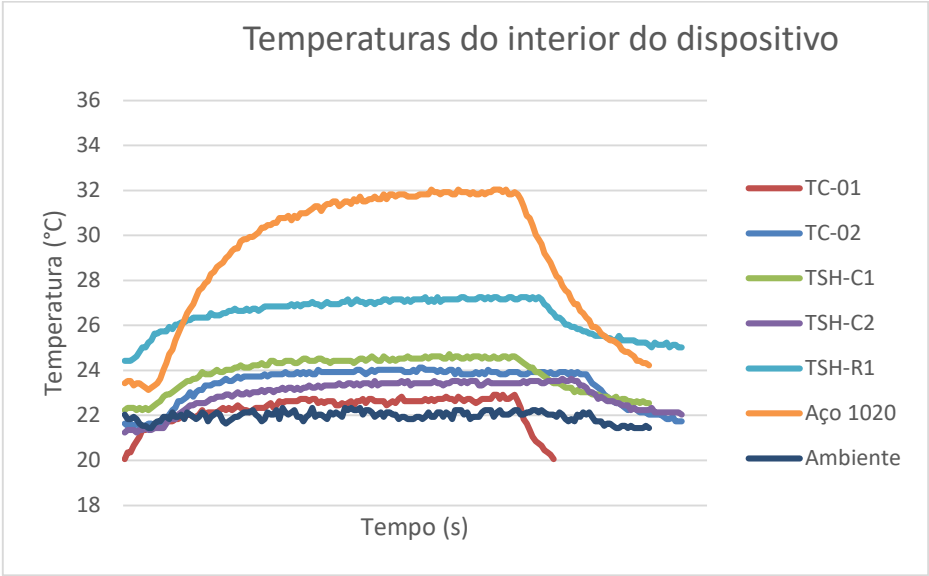




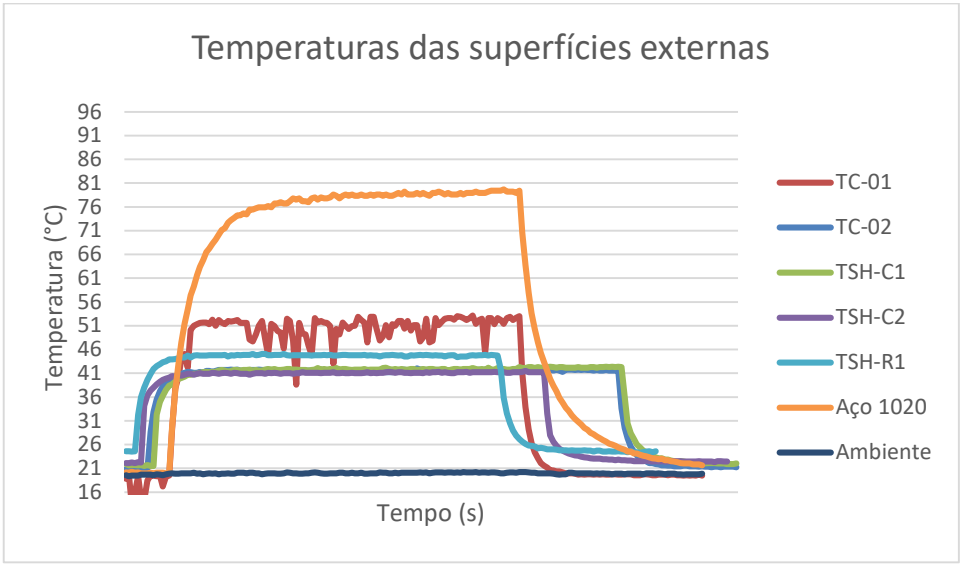
F 1.8 - Perfil de temperaturas para fonte à 40 cm de distância da chapa com fluxo de ar frontal.

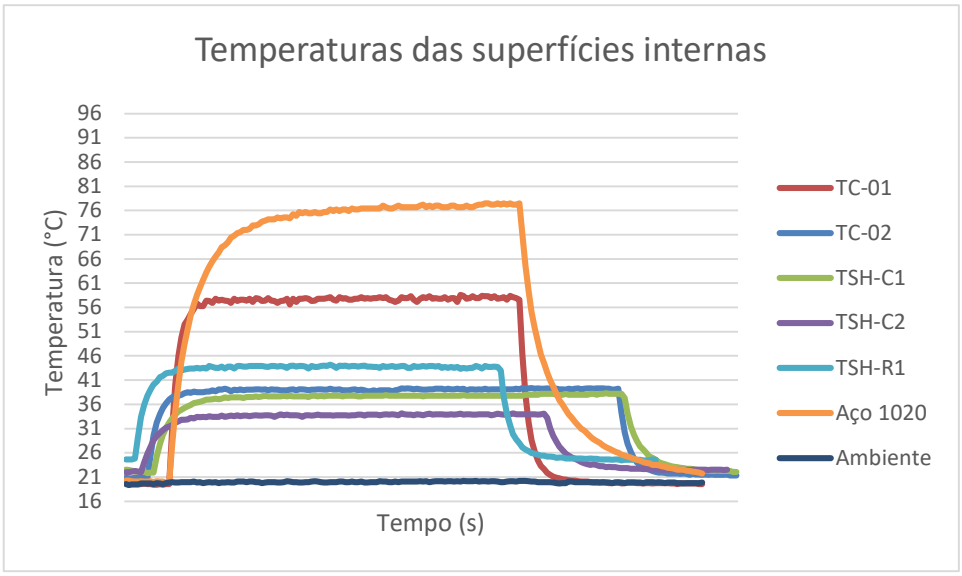


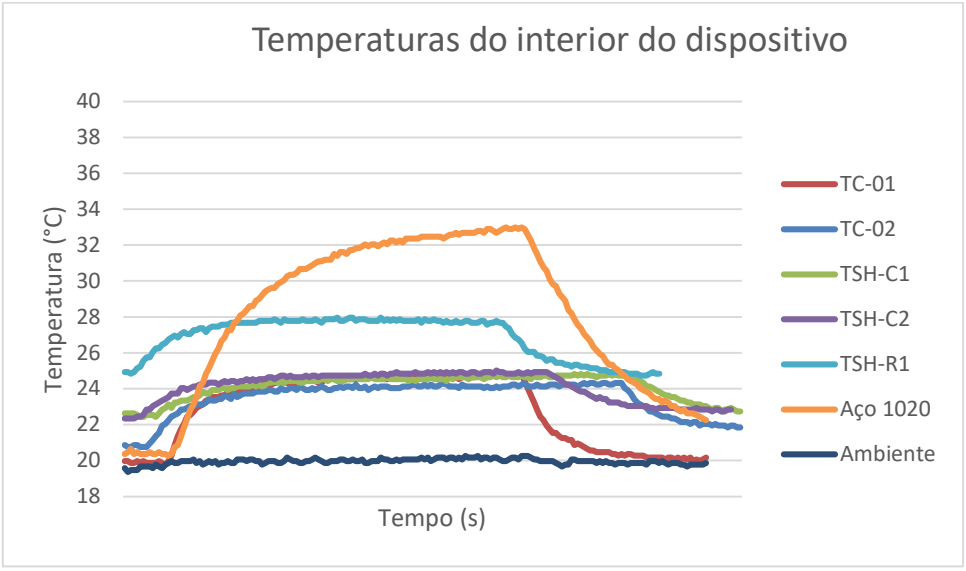




F 1.9 - Perfil de temperaturas para fonte à 20 cm de distância da chapa com fluxo de ar frontal.







ANEXO A **-** Datasheet dos termistores.

Reprap Hotend Thermistor NTC 3950 100K with 1M Cable



- Standard resistance: R25(25): 1.5K, 2K, 5K, 10K, 20K, 30K, 47K, 50K, 100K, 200K, 500K, etc
- Resistance tolerance: ±1%, ±2%, ±3%
- B-value R25/50: 3435K, 3600K, 3950K, 3990K, 4100K, 4200K, etc
- B-value accuracy: ±1%
- Operating temperature: -40~+300'C
- Power dissipation coefficient: >= 5 mW/'C (in static air)
- Max. rated power: 45mW
- Thermal time constant: <=7S (in static air)
- Temperature coefficient of resistance: -2~-5%/'C
- It is recommended to use: R25'C = 100K, B25/50 = 3950K±1%

Buy link: http://www.makeralot.com/reprap-hotend-thermistor-ntc-3950-100k-with-1m-cable-p176/

ANEXO B - Datasheet do microcontrolador Arduino “MEGA”.

Arduino MEGA 2560



CE

Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 (datasheet). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Index

Technical Specifications — Page 2
How to use Arduino
Programming Enviroment, Basic Tutorials — Page 6
Terms & Conditions — Page 7
Enviromental Policies
half som of green via Impatto Zero® — Page 7

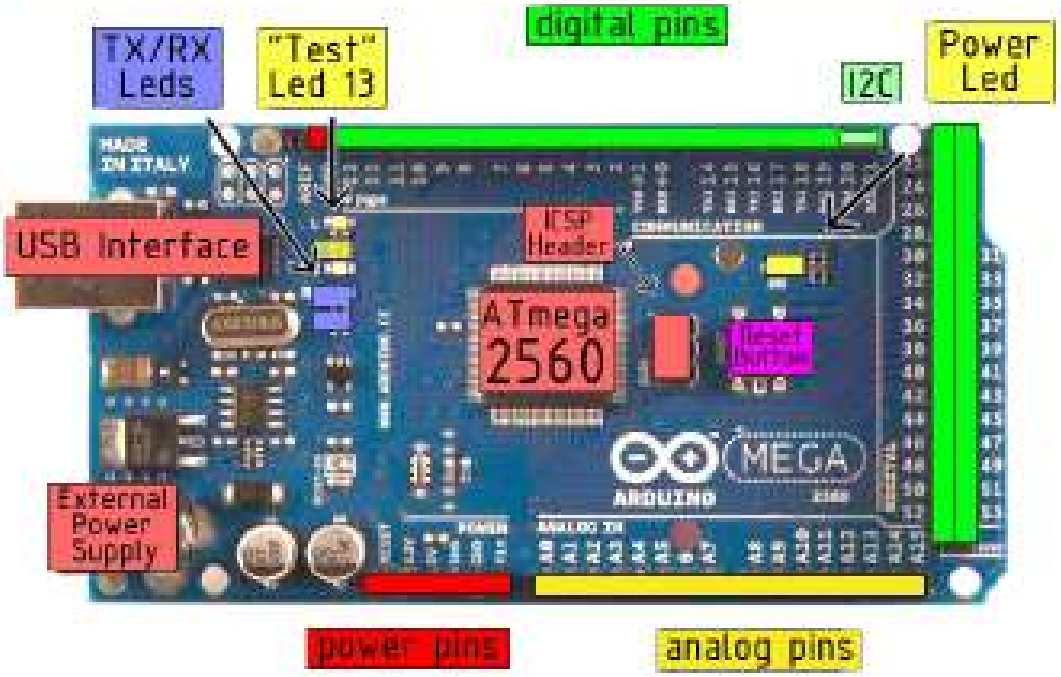
Technical Specification

EAGLE files: arduino-mega2560-reference-design.zip Schematic: arduino-mega2560-schematic.pdf

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the EEPROM library).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using pinMode(), digitalWrite(), and digitalRead() functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2).** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the attachInterrupt() function for details.
- **PWM: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the analogWrite() function.
- **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- **I²C: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the Wire library (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and analogReference() function.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with analogReference().
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically. The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A SoftwareSerial library allows for serial communication on any of the Mega's digital pins.

The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the documentation on the Wiring website for details. To use the SPI communication, please see the ATmega2560 datasheet.

Programming

The Arduino Mega2560 can be programmed with the Arduino software (download). For details, see the reference and tutorials.

The Atmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a bootloader that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol (reference, C header files).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see these instructions for details.



Automatic (Software) Reset

Rather then requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see this forum thread for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Mega PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega is designed to be compatible with most shields designed for the Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega and Duemilanove / Diecimila. **Please note that I^2C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).**

How to use Arduino

Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the Arduino programming language (based on Wiring) and the Arduino development environment (based on Processing). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platoform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the Arduino site for the latest instructions. *http://arduino.cc/en/Guide/HomePage*

Linux Install

Windows Install

Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

File>Sketchbook>
Arduino-0017>Examples>
Digital>Blink

Once you have your skecth you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select MEGA

Now you have to go to
Tools>SerialPort
and select the right serial port, the one arduino is attached to.



ANEXO C - Especificações técnicas do microscópio óptico digital.

Microscópio digital USB:



Especifícações técnicas	
Sensor de imagem	Alta resolução
Resolução de imagem	2560x1920; 2000x1600; 1280x1024; 1024x960; 1024x768; 800x600; 640x480; 352x288; 320x240; 160x120
Resolução de vídeo	2560x2048 (5M); 2000x1600; 1600x1280 (2M); 1280x1024; 1024x960; 1024x768; 800x600; 540x480; 352x288; 320x240; 160x120
Faixa de foco	Manual de 10 a 500mm
Taxa de quadros	Max. 3f/s com brilho abaixo de 600lux
Formato de vídeo	.AVI
Formato de foto	.JPEG; .BMP
Fonte de luz	LED (ajustável)
Sistema operacional	Windows 2000/XP/Vista/Win 7/Mac
Linguagens	Inglês; Alemão Espanhol; Coreano; Francês e Russo