



UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE MINAS GERAIS



ESCOLA DE DESIGN

Programa de Pós-graduação em Design (PPGD)
MESTRADO EM DESIGN

ROMEU RODRIGUES PEREIRA

**CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE ASSENTO DE CADEIRAS
ESCOLARES POR TERMOGRAFIA**

Orientador: Prof. Dr. Antônio Valadão Cardoso
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Rosemary do Bom Conselho Sales

Belo Horizonte

2013

ROMEU RODRIGUES PEREIRA

**CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE ASSENTO DE CADEIRAS
ESCOLARES POR TERMOGRAFIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) como requisito parcial para a obtenção de grau de Mestre em Design, na área de concentração em Design, Inovação e Sustentabilidade.

Linha de pesquisa: Design, Materiais e Processos.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Valadão Cardoso
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Rosemary do Bom Conselho Sales

Belo Horizonte

2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

P436c Pereira, Romeu Rodrigues.
Características térmicas de assento de cadeiras escolares por termografia [manuscrito] / Romeu Rodrigues Pereira. - 2013.
89 f. il. color. grafs. tabs. fots. ; 31 cm.

Orientador: Antônio Valadão Cardoso
Coorientadora: Rosemary do Bom Conselho Sales
Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Design.

Bibliografia: f. 79-82

1. Desenho (Projetos) - Desenvolvimento Sustentável – Minas Gerais - Teses. 2. Escolas – Mobiliário e equipamentos – Normas técnicas - Teses. 3. Cadeiras - Ergonomia – Minas Gerais - Teses. 4. Cadeiras – Conforto humano - Teses. I. Cardoso, Antônio Valadão. II. Sales, Rosemary do Bom Conselho. III. Universidade do Estado de Minas Gerais. Escola de Design. IV. Título.

CDU: 749.1:371.63

Ficha Catalográfica: Cileia Gomes Faleiro Ferreira CRB 236/6



UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE MINAS GERAIS



ESCOLA DE DESIGN

Programa de Pós-graduação em Design (PPGD)
MESTRADO EM DESIGN

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE ASSENTO DE CADEIRAS ESCOLARES POR TERMOGRAFIA

Autor: Romeu Rodrigues Pereira

Esta dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para a obtenção do título de Mestre em Design no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 13 de agosto de 2013.

Sebastiana Lana
Coordenação do Mestrado em Design
MÁSP- 1034263-2
Escola de Design / UEMG

Prof^ª Sebastiana Luiza Bragança Lana, PhD.
Coordenadora do PPGD

BANCA EXAMINADORA

Prof. Antônio Valadão Cardoso, Dr.
Orientador
Universidade do Estado de Minas Gerais

Prof.ª. Rosemary Bom Conselho Sales, Dr.ª.
Coorientadora
Universidade do Estado de Minas Gerais

Prof.ª. Denise das Mercês Camarano, Dr.ª
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia
Nuclear

Professor Convitado
Prof. Glaucei Rodrigues Corrêa, Msc
Universidade Federal de Minas Gerais

A todos aqueles que fizeram ou fazem parte da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, ao Divino Espírito Santo, por ter iluminado a minha mente, dando sabedoria e discernimento nos momentos de dúvidas durante os estudos; à minha amada esposa, Fátima, e aos meus amados filhos, Matheus e Ana Clara; e a todos os meus familiares e amigos, pelo apoio e compreensão da indisponibilidade da minha presença em vários momentos do nosso convívio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Valadão Cardoso, por ter acreditado em meu trabalho, desde o início, aceitando o convite prontamente para ser meu orientador, pelo apoio e incentivo na busca do conhecimento, pela capacidade de compartilhar e por ter me orientado de forma profissional e motivadora.

À minha coorientadora Prof.^a Dr.^a Rosemary do Bom Conselho Sales, por ter compartilhado seus conhecimentos, principalmente em termografia infravermelha, e pelo jeito carinhoso e profissional como conduziu a coorientação.

Ao prof. Edir Tenório (*inmemoriam*), por ter me incentivado a entrar no programa de mestrado da UEMG.

A todos os professores do mestrado que contribuíram de forma profissional e carinhosa para a ampliação de meus conhecimentos em design e sustentabilidade.

Aos colegas do mestrado, pela socialização de seus conhecimentos.

Ao Rodrigo Stenner, pela competência e forma carinhosa como desenvolve seus trabalhos na secretaria do mestrado, sendo sempre solícito.

Ao aluno Davi Neiva, do Centro de Estudos em Design da Madeira (CEMA), da ED/UEMG, pela valiosa contribuição nos ensaios termográficos.

Ao Prof. José Nunes, do Centro de Estudos em Design da Madeira (CEMA), da ED/UEMG, pelas contribuições dadas e pela disponibilização do espaço e equipamentos para os ensaios.

Ao CNPq e ao Centro de Estudos em Design e Tecnologia (CEDtec), da ED/UEMG, pela disponibilização do equipamento para os ensaios de termografia infravermelha.

À Universidade FUMEC, à Universidade do Estado de Minas Gerais, à E.E. Imperatriz Pimenta e ao Colégio Santo Agostinho, pelo empréstimo das cadeiras utilizadas nos ensaios.

Aos professores e funcionários da UEMG, pela colaboração e incentivo.

À Nadjá Mourão, pela ajuda no esboço da ideia do projeto apresentado para o ingresso no mestrado.

À Solange Andere, pela contribuição no envio de artigos e documentos relevantes para a minha pesquisa.

Ao Prof. Marco Aurélio Gomes e ao Prof. Eduardo Vasconcelos, pela colaboração na construção dos protótipos iniciais da pesquisa.

À “Turma do almoço”, Marco Aurélio, Eduardo Vasconcelos, Luiz Felipe, Fernando, Sebastião e Raíce, pela paciência em ouvir as minhas lamentações e desesperos.

À Prof.^a Telmar Alves, por ter me incentivado a fazer a minha primeira especialização (arte-educação), passo importante para a iniciação no mundo da pesquisa.

Em especial, ao meu grande amigo Prof. Mário Múrcio Generoso, por ter me ajudado na carreira acadêmica, dando-me lições de amizade, afeto, ética, companheirismo, entusiasmo e amor pela profissão de professor.

Enfim, a todos que contribuíram para a minha trajetória acadêmica.

“O verdadeiro conhecimento vem de dentro.”

Sócrates

RESUMO

Na sociedade do conhecimento, o homem passa parte de sua vida sentado em uma cadeira escolar. O mobiliário escolar, muitas vezes, não atende às necessidades de seus usuários, causando cansaço, estresse e problemas musculares e, acima de tudo, dificultando o aprendizado. Todos estes problemas existentes revelam a necessidade de promover um estudo amplo sobre a relação entre o homem e o assento das cadeiras escolares. As poucas publicações sobre o assunto analisam os aspectos antropométricos e biomecânicos do mobiliário escolar. Esses estudos falam pouco, ou quase nada, sobre o fator temperatura no assento das cadeiras escolares. Pesquisas confirmam que o estresse térmico influencia o desempenho humano e a sua eficácia psicológica e fisiológica. Todos estes problemas posturais, psicológicos e fisiológicos podem ser minimizados pelo designer quando este faz um bom projeto de uma cadeira escolar. Acredita-se que para chegar-se a um projeto completo, além das análises dos esforços solicitados e dos fatores antropométricos e biomecânicos, a temperatura nos assentos deve ser considerada. Este trabalho de pesquisa investiga, com base na termografia infravermelha, o comportamento da temperatura de aquecimento e resfriamento (conforto térmico) nos assentos de oito cadeiras escolares, fabricadas de materiais diversos, utilizadas por escolas de Belo Horizonte e da região metropolitana. Os resultados mostram que a temperatura no assento e no encosto se comporta de maneira semelhante e que o tempo de quinze a vinte minutos é o suficiente para que a temperatura, considerando a maioria dos assentos investigados, se estabilize. Indicam, também, que o resfriamento é maior nos cinco primeiros minutos e que ao final de quinze minutos de resfriamento as temperaturas ficam muito próximas, à exceção dos assentos da cadeira de lyptus e de compensado. Após o contato do corpo do voluntário com o assento por quinze minutos, a menor temperatura observada foi a do assento da cadeira de compensado. Na transferência de calor do corpo do voluntário para os assentos, o assento da cadeira de compensado foi o que mais absorveu calor e os assentos da cadeira de lyptus, plástico e metal tiveram valores semelhantes e foram os que absorveram menor calor. Conclui-se que a termografia pode contribuir de forma decisiva para subsidiar o estudo do conforto térmico do assento de cadeiras, já que se mostrou capaz de identificar a influência da temperatura em assentos fabricados com materiais diversos.

Palavras-chave: Cadeiras escolares. Conforto térmico. Termografia infravermelha.

ABSTRACT

In the knowledge society, man spends a great part of his life sitting in a student's chair. The school's furniture, in general, does not answer properly to the needs of its users, causing tiredness, stress, muscular problems and, above all, hardening the learning process. All this existing problems indicate the need of a deeper study about the relationship between the human body and the school's seats. The few articles about this analyze the anthropometric and biomechanical aspects. These studies tell very little about the temperature factor in the school's seats. Other researches confirm that thermal stress has an important role in human performance and its psychological and physiological efficiency. All this postural, psychological and physiological problems can be minimized by the designer's work, when he develops a good student's seat. It is our belief that, for a complete design development, in addition to anthropometric and biomechanical factors, the seat's temperature must also be considered. This research investigates, using infra-red thermography, the heating and cooling temperature's behavior of eight different school's seats, made of several materials, used regularly in schools in Belo Horizonte's metropolitan area. The results show that the seat and backrest temperatures behave in the same way, and that a fifteen to twenty minutes period is enough for the object's temperature, in most of the cases studied, to stabilize. They also indicate that the cooling is faster in the first five minutes and, after fifteen minutes, the temperatures are almost the same, with the exception of the *Lyptus* and plywood seats. After fifteen minutes of contact between the volunteer's body and the chair, the lowest temperature measured was in the plywood one. Also in the heat transference from the volunteer's body to the chairs, the plywood seat was one to absorb the greatest amount of heat. The *Lyptus*, plastic and metal seats had very similar results, and they were the ones to absorb less heat. It is concluded that thermography can decisively contribute to studies about thermal comfort for better student's chairs, since it was able to identify the influence of temperature in seats manufactured with several different materials.

Key-words: School chairs. Thermal comfort. Infra-red thermography.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

FIGURA 1 – Transferência de calor	26
FIGURA 2 – Divisão do espectro eletromagnético.....	30
FIGURA 3 – Curva de radiações do espectro	30
FIGURA 4 – Agitação atômica e molecular	31
FIGURA 5 – Irradiação em uma das faces de um sólido semitransparente	31
FIGURA 6 – Imagens térmicas (escala policromática - iron e monocromática - grey).....	34
FIGURA 7 – Técnica de termografia passiva	34
FIGURA 8 – Esquema dos modos de inspeção termográfica na forma ativa	35
FIGURA 9 – Modos de inspeção termografia ativa.....	36
FIGURA 10 – Termograma da deterioração do tronco de uma árvore.....	39
FIGURA 11 – Estrutura típica de pintura sobre madeira	39
FIGURA 12 – Validação qualitativa – por processo comparativo.....	40
FIGURA 13 – Imagem infravermelha de espécimes de pinheiro sob compressão.....	40
FIGURA 14 – Representação esquemática das etapas do ensaio.....	43
FIGURA 15 – Distância e altura utilizadas nos ensaios.....	46
FIGURA 16 – Termograma do posicionamento do voluntário e da amostra antes do teste .	46
FIGURA 17 – Posição do voluntário durante o ensaio	47
FIGURA 18 – Posicionamento dos pontos de medição na amostra e no voluntário.....	47
FIGURA 19 – Termogramas do posicionamento da amostra durante o resfriamento	48
FIGURA 20 – Pontos utilizados na cadeira de lyptus e na cadeira de plástico.....	49
FIGURA 21 – Termogramas da amostra 1 (cadeira de lyptus).....	58
FIGURA 22 – Termogramas da amostra 2 (cadeira de plástico)	59
FIGURA 23 – Termogramas da amostra 3 (cadeira de compensado).....	61
FIGURA 24 – Termogramas da amostra 4 (cadeira de courvin)	63
FIGURA 25 – Termogramas da amostra 5 (cadeira de fórmica)	65
FIGURA 26 – Termogramas da amostra 6 (cadeira de tecido).....	67
FIGURA 27 – Termogramas da amostra 7 (cadeira de metal).....	69
FIGURA 28 – Termogramas da amostra 8 (cadeira de MDF).....	71

Gráficos

GRÁFICO 1 – Resfriamento da cadeira de lyptus e da cadeira de plástico.....	51
GRÁFICO 2 – Temperatura de resfriamento - cadeira de lyptus <i>versus</i> cadeira de plástico	54
GRÁFICO 3 – Comparativo entre assento e encosto de uma cadeira de plástico.....	55
GRÁFICO 4 – Comparativo entre contato com o <i>jeans</i> e com a pele (cadeira metal)	57
GRÁFICO 5 – Temperatura de resfriamento da amostra 1 (cadeira de lyptus).....	59
GRÁFICO 6 – Temperatura de resfriamento da amostra 2 (cadeira de plástico)	61
GRÁFICO 7 – Temperatura de resfriamento da amostra 3 (cadeira de compensado).....	63
GRÁFICO 8 – Temperatura de resfriamento da amostra 4 (cadeira de courvin).....	65
GRÁFICO 9 – Temperatura de resfriamento da amostra 5 (cadeira de fórmica)	67
GRÁFICO 10 – Temperatura de resfriamento da amostra 6 (cadeira de tecido).....	69
GRÁFICO 11 – Temperatura de resfriamento da amostra 7 (cadeira de metal).....	71
GRÁFICO 12 – Temperatura de resfriamento da amostra 8 (cadeira de MDF).....	73
GRÁFICO 13 – Temperatura inicial e final do material (após quinze minutos de teste)	73
GRÁFICO 14 – Diferença de temperatura do assento no aquecimento e resfriamento.....	74
GRÁFICO 15 – Resumo do comportamento do resfriamento dos materiais	75

Tabelas

TABELA 1 – Valores de clo para vestimenta feminino e masculino	24
TABELA 2 – Descrição das amostras utilizadas nos ensaios	41
TABELA 3 – Valores de emissividade dos materiais das amostras utilizadas	48
TABELA 4 – Dados do teste de normalidade para as cadeiras de lyptus e plástico.....	49
TABELA 5 – Pontos utilizados na cadeira de lyptus para diferença entre as médias.....	50
TABELA 6 – Resultados obtidos nos pontos do lado direito e esquerdo na cadeira de lyptus após o teste Tukey-Kramer.....	51
TABELA 7 – Resultados obtidos na cadeira de lyptus após o teste Tukey-Kramer.....	52
TABELA 8 – Resultados obtidos na cadeira de plástico após o teste Tukey-Kramer	52
TABELA 9 – Variação da temperatura do assento após o aquecimento.....	53
TABELA 10 – Variação da temperatura do encosto e assento da cadeira de plástico com o tempo de 15, 20 e 50 min	55
TABELA 11 – Variação da temperatura em função do tipo da vestimenta do usuário	56
TABELA 12 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de lyptus)	58

TABELA 13 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de lyptus)	58
TABELA 14 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de plástico)	60
TABELA 15 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de plástico).....	60
TABELA 16 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de compensado).....	62
TABELA 17 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de compensado)	62
TABELA 18 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de courvin).....	64
TABELA 19 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de courvin).....	64
TABELA 20 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de fórmica)	66
TABELA 21 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de fórmica).....	66
TABELA 22 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de tecido)	68
TABELA 23 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de tecido)	68
TABELA 24 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de metal)	70
TABELA 25 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de metal)	70
TABELA 26 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de MDF)	72
TABELA 27 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de MDF)	72
TABELA 28 – Diferença de temperatura entre temperatura inicial e final no assento.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

α	Absortância
ABENDI	Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
°C	Grau Celsius
CCD	Charge Coupled Device
C_{conv}	Calor trocado por convecção
CEDtec	Centro de Estudos em Design e Tecnologia
CEMA-LABE	Centro de Estudos em Design da Madeira
C_{ev}	Calor perdido por evaporação do suor
clo	Clothing
C_{met}	Parcela da energia metabólica transformada em calor
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
C_{rad}	Calor trocado por radiação
°C/W	Grau Celsius por Watt
ε	Emissividade
ED	Escola de Design
END	Ensaio não destrutivo
FLIR	Forward Coupled Device
FUMEC	Fundação Mineira de Educação e Cultura
G	Giga
HDD	Hard Disk Drive
Hz	Hertz
ICL	Isolamento térmico básico da vestimenta
ICLU	Isolamento térmico efetivo dos itens de vestuário
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
J	Joule
J/cm^2	Joule por centímetro quadrado
kHz	Quilo Hertz
km	Quilômetro
μ	Micron
M	Mega

MDF	Medium Density Fiberboard
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
PPGD	Programa de Pós Graduação em Design
Q	Calor total trocado pelo corpo
ρ	Refletância
Σ	Sigma (somatório)
s	Segundo
T_1	Temperatura inicial
T_2	Temperatura final
τ	Transmitância
t_a	Temperatura do ambiente
trm	Temperatura radiante média
UEMG	Universidade do Estado de Minas Gerais
V_r	Velocidade relativa
W/m ²	Watt por metro quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Considerações iniciais	16
1.2	Objetivos.....	20
1.3	Justificativa.....	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	Conforto térmico	21
2.1.1	A vestimenta no conforto térmico	23
2.1.2	Problemas causados pelo desconforto térmico	24
2.2	Ensaaios não destrutivos	25
2.3	Transferência de calor	25
2.3.1	Transferência de calor por condução.....	26
2.3.2	Transferência de calor por convecção	26
2.3.3	Transferência de calor por radiação.....	27
2.3.4	Trocas de energia por radiação	27
2.3.5	Emissividade ou poder emissivo	28
2.3.6	Radiação infravermelha.....	29
2.4	Termografia infravermelha.....	32
2.4.1	Descrição do método termográfico.....	33
2.4.2	Captação da imagem térmica.....	34
2.4.3	Vibrotermografia	36
2.4.4	Método qualitativo <i>versus</i> Método quantitativo	37
2.4.5	Considerações sobre a inspeção termográfica	38
2.4.6	Aplicações da termografia infravermelha à madeira	38
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
3.1	Materiais	41
3.2	Métodos	42
3.2.1	Definição do tempo a ser utilizado	43
3.2.2	Seleção da parte significativa do objeto de medição	44
3.2.3	Seleção da vestimenta do usuário	44
3.2.4	Procedimento experimental	45
3.3	Estatística.....	49

4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	53
4.1	Tempo de aquecimento e resfriamento.....	53
4.2	Escopo de medição	54
4.3	Seleção da vestimenta.....	56
4.4	Ensaio com protocolo definido	57
4.4.1	Análise da amostra 1 – cadeira de lyptus	57
4.4.2	Análise da amostra 2 – cadeira de plástico.....	59
4.4.3	Análise da amostra 3 – cadeira de compensado	61
4.4.4	Análise da amostra 4 – cadeira de courvin	63
4.4.5	Análise da amostra 5 – cadeira de fórmica.....	65
4.4.6	Análise da amostra 6 – cadeira de tecido	67
4.4.7	Análise da amostra 7 – cadeira de metal	69
4.4.8	Análise da amostra 8 – cadeira de MDF.....	71
5	CONCLUSÕES	76
6	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	78
	REFERÊNCIAS	79
	APÊNDICE	83
	ANEXOS	88

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A mesa e a cadeira escolares são objetos utilizados por crianças, jovens e adultos com idades e medidas antropométricas diferentes, que variam de acordo com a etnia e a nacionalidade. Na sociedade do conhecimento, o homem passa parte da sua vida sentado em uma cadeira escolar. Daí a necessidade de realizar um estudo amplo sobre a relação entre o homem e o assento das cadeiras escolares. No Brasil, há poucas publicações sobre o assunto. A mais importante foi elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR 14006/2003 – “Móveis escolares: assentos e mesas para conjunto aluno de instituições educacionais”. Esta norma estabelece os requisitos mínimos de mesas e cadeiras para as instituições de ensino, nos aspectos ergonômico, de acabamento, identificação, estabilidade estrutural e resistência mecânica (OLIVEIRA, 2006). A norma veio suprir uma reivindicação do setor, já que o mobiliário escolar tem particularidades técnicas e critérios específicos. Bergmiller, Souza e Brandão (1999, p. 6) observam que o design do mobiliário escolar não deve ser tratado fora de um contexto amplo do aprendizado e da educação. O projeto de um mobiliário escolar deve atender a vários quesitos. Por isso é preciso analisar as diversas questões do meio educacional para definir as relações do mobiliário com os critérios pedagógico, ergonômico e tecnológico.

O mobiliário escolar existente, muitas vezes, não atende às necessidades de seus usuários, causando cansaço, estresse e problemas musculares e, acima de tudo, dificultando o aprendizado (OLIVEIRA, 2006; MORAES; FRISONI, 2001). O Instituto de Antropologia da Universidade de *Kiel*, da Alemanha, aponta o mobiliário escolar inadequado como sendo a razão de graves problemas posturais na idade adulta (ESTRÁZULAS, 2010). As poucas publicações sobre o assunto analisam os aspectos antropométrico e biomecânico. Estes estudos falam pouco, ou quase nada, sobre o fator temperatura no assento das cadeiras escolares. Este é também um fator importante a ser considerado pelo designer. Pesquisa desenvolvida por Liu et al. (2011) mostrou que há evidências de que a temperatura na interface corpo-assento pode desempenhar papel importante na avaliação do conforto percebido pela pessoa sentada. Cita, também, que fatores como o estresse térmico influenciam o desempenho humano e sua eficácia psicológica e fisiológica. De acordo com Sae-Sia et al. (2005), o contato da pele com a superfície de suporte faz com que o calor se acumule por

convecção entre a superfície de suporte e a pele, aumentando a temperatura da pele. A combinação deste fator com outros pode aumentar o risco de úlceras de pressão, lesão de pele causada pela interrupção sanguínea em determinada área, que se desenvolve devido a uma pressão aumentada por um período prolongado. Todos estes problemas posturais, psicológicos e fisiológicos apresentados pelos autores podem ser minimizados pelo designer quando faz um bom projeto de uma cadeira escolar. Acredita-se que para isto o designer deverá levar em consideração, além dos esforços solicitados nos encaixes, principalmente se esta for fabricada de madeira, e dos fatores ergonômicos, um elemento novo: o conforto térmico dos assentos. Para a análise do conforto térmico dos assentos, a termografia infravermelha se apresenta como uma boa alternativa, na medida em que faz parte dos chamados “ensaios não destrutivos”, que, segundo Leite (1996), não danificam nem impedem o uso futuro do elemento ensaiado. Ou seja, não provoca perda da capacidade resistente do elemento ensaiado. Ela vem chamando a atenção de pesquisadores, apesar de existirem muitas barreiras a serem vencidas (PADUELLI, 2011). A termografia é uma técnica de ensaio não destrutivo e não invasivo baseada no mapeamento térmico de todos os tipos de material, componentes ou estruturas, com a finalidade de localizar possíveis regiões danificadas ou defeituosas (MEOLA et al., 2002). Isso é possível porque a condutividade térmica – ou, inversamente, a resistividade térmica dos materiais – depende fortemente do seu grau de integridade. Assim, o fluxo de calor no material é alterado na presença de anomalias. Essas descontinuidades é que causam diferenças na temperatura do material (LAGÜELA et al., 2012). Esta técnica foi utilizada inicialmente neste trabalho com o intuito de analisar os encaixes utilizados nos móveis fabricados em madeira maciça. Os encaixes têm, basicamente, a função de unir as partes, dando resistência mecânica ao móvel. Alguns designers, como Maurício Azeredo, exploram este potencial dos encaixes, deixando-os intencionalmente visíveis para que possam configurar qualidades estéticas à peça (BORGES, 1999). Segundo ele, o desenho dos encaixes pode ser um grande aliado, pois quando exteriorizados poderão dar ao móvel uma nova dimensão, não somente estrutural, mas também estética. Um dos grandes desafios para o designer é conciliar a estética com a resistência mecânica. Ensaios termográficos foram feitos em uma mesa escolar de madeira, com o intuito de analisar se a termografia seria capaz de identificar pontos de tensão nos encaixes de madeira. Os resultados destes ensaios termográficos encontram-se no Apêndice A.

Vários autores utilizaram a termografia no estudo de objetos de madeira. Niemz e Mannes (2012) afirmam que a termografia é uma técnica de ensaio utilizada em madeira. Catena &

Catena (2003) mostram que é possível detectar, acompanhar e monitorar por meio da termografia infravermelha os processos de envelhecimento e doenças que afetam troncos e galhos de árvores. Trabalho realizado por Tavares (2006) utilizou a termografia para estudar afrescos e pinturas sobre madeira, imagens sacras, altares e pinturas de teto dos séculos XIII e XIV na Europa. Cortizo (2007) utilizou a termografia para detectar anomalias em estruturas de madeira de elementos que compõem o patrimônio histórico brasileiro. Bucur (2003) analisou, por meio da termografia infravermelha, a dissipação do calor nas direções longitudinal, radial e transversal em espécies de pinheiro quando estes são submetidos a esforços de compressão. Vários trabalhos comprovam a potencialidade da termografia para a análise da madeira, o que aponta um caminho para o designer na análise de seus protótipos fabricados com este material.

O conjunto mesa e cadeira escolares tem funções específicas, o que faz com que o designer, ao projetá-los se preocupe com suas especificidades. Para a mesa escolar, é necessário realizar um estudo ergonômico e um estudo de resistência mecânica. Acredita-se que para as cadeiras, além destes estudos, a análise do conforto térmico também é importante. Tal crença levou esta pesquisa a trilhar nesta direção. O conforto térmico dos assentos das cadeiras escolares passou a ser o foco desta pesquisa. Foram escolhidas cadeiras fabricadas de materiais diversos, pois esta é a realidade hoje: cada escola utiliza um tipo de cadeira. Inicialmente, as cadeiras eram fabricadas de madeira, um material visco-elástico de formação complexa (DINWOODIE, 2000) e abundante na natureza, com propriedades que variam de espécie para espécie e resistência mecânica que assume valores diferentes quando os esforços são aplicados em diferentes posições: anisotropia (LIMA, 1998; DINWOODIE, 2000; PFEIL, 2003). Porém, a sua exploração seletiva e predatória fez com que mais de 20% da área original da floresta amazônica, de acordo com dados publicados em 1988 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) fosse devastada, o que levou grupos ecológicos brasileiros e internacionais a pressionar contra o uso indiscriminado de nossas reservas florestais de madeira de lei, fazendo crescer o interesse das indústrias pelas madeiras reflorestadas e madeiras nativas alternativas, tais como o eucalipto *Grandis* e o *Pinus*, que até então eram pouco utilizados no processo produtivo da indústria moveleira. Com isso, a madeira de lei para as estruturas das mesas e das cadeiras escolares foi sendo substituída por outros materiais, principalmente o aço, ficando somente o tampo, o encosto e o assento sendo fabricados de madeira compensada ou de MDF, podendo ser revestidos com espuma e tecido, espuma e couro sintético (courvin) ou

laminado melamínico de alta pressão (fórmica). Outros materiais, como o plástico, também passaram a ser utilizados.

Matéria do jornal *The New York Times* aponta que desde 1990 um modelo de cadeira de estrutura de aço e assento feito de serragem prensada e resina, conhecida como “*super stacker*” (superempilhável), vem sendo utilizada em todas as escolas de *Nova York, EUA* (ERGONOMIC..., 2013). Escolas de Belo Horizonte e da região metropolitana optaram também por cadeiras de estruturas metálicas com assentos de madeira ou de outro material. A ESCOLA A, incluída no estudo, uma instituição de ensino superior, sem fins lucrativos, sediada em Belo Horizonte utiliza em suas salas de aula cadeiras de estrutura tubular, com assentos e encostos de madeira compensada revestida com espuma e couro sintético (courvin). A ESCOLA B, uma universidade, também de Belo Horizonte, utiliza dois tipos de cadeiras em suas salas: cadeiras de estrutura metálica com encosto e assento em fórmica e cadeira com estrutura metálica com encosto e assento em plástico. A facilidade do processo de injeção e o seu custo competitivo, juntamente com as possibilidades de formas variadas, têm levado profissionais a utilizarem muito este material em seus projetos. Materiais diversos têm sido utilizados pelos designers para o projeto da estrutura, do encosto e do assento das cadeiras escolares.

Os materiais se comportam de maneira distinta em relação à dissipação de calor do corpo para o encosto e o assento durante a posição sentada. Recomendações básicas, como assento que reduz a pressão na região posterior da coxa, dimensões do assento que proporcionem apoio completo das coxas, porém sem compressão da região posterior do joelho, apoio para o dorso e espaço para acomodar as nádegas, devem ser seguidas para o projeto de construção de cadeiras escolares, com o intuito de dar maior conforto ao usuário (COUTO, 1995; IIDA, 1997). Vários pesquisadores estudaram estas questões, que são levadas em consideração pelo designer ao projetar uma cadeira escolar, porém pouco, ou quase nada, foi estudado em relação ao conforto térmico dos assentos nas cadeiras escolares. Este trabalho busca contribuir para o preenchimento desta lacuna, por entender que a temperatura do assento das cadeiras pode influenciar a percepção do conforto do usuário.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é: Investigar, com base na termografia infravermelha, o comportamento da temperatura de aquecimento e resfriamento (conforto térmico) nos assentos de cadeiras escolares fabricados de materiais diversos após um voluntário ficar sentado quinze minutos sobre eles.

São objetivos específicos deste trabalho:

- Avaliar o tempo necessário para o resfriamento do assento de uma cadeira de plástico utilizando os tempos de 15, 20 e 50 min.
- Avaliar a temperatura do encosto e do assento de uma cadeira de plástico utilizando os tempos de 15, 20 e 50 min.
- Avaliar as temperaturas de resfriamento por 5, 10 e 15 min do assento de uma cadeira de metal após um voluntário ficar sentado nele, por 15 min, utilizando calça e com o contato direto da pele.
- Criar um protocolo para o ensaio a partir dos resultados obtidos.
- Avaliar o comportamento da região da coxa e do assento das cadeiras escolares após resfriamento por 5, 10 e 15 min.

1.3 Justificativa

O homem passa grande parte da sua vida sentado em uma cadeira escolar. Este mobiliário, muitas vezes, não atende as suas necessidades, causando problemas musculares, cansaço e estresse. Somam-se a isso os problemas de saúde causados pelo aumento da temperatura da pele quando esta entra em contato com a superfície de suporte. Essa temperatura pode influenciar o desempenho do usuário e sua eficácia psicológica, causando-lhe incômodos e podendo, até mesmo, aumentar o risco de doenças, como úlceras de pressão. Pesquisas apontam que o mobiliário escolar inadequado é a razão de graves problemas posturais na idade adulta. Alguns estudos foram desenvolvidos para tentar solucionar estes problemas, porém levam em consideração “apenas” os fatores antropométrico e biomecânico. Pouco, ou quase nada, foi estudado em relação ao conforto térmico dos assentos em cadeiras escolares. Acredita-se que, com base naquilo que foi exposto nesta pesquisa, justifica-se a sua realização, já que dará ao designer mais um elemento a ser considerado em seus projetos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Serão abordados neste capítulo os temas do levantamento bibliográfico considerados mais relevantes para este trabalho: conforto térmico, ensaios não destrutivos e termografia infravermelha.

2.1 Conforto térmico

Segundo Ruas (1999), o conforto térmico em determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa como resultado da combinação satisfatória de: temperatura radiante média (t_{rm}), umidade relativa (UR), velocidade relativa do ar (V_r) e temperatura do ambiente (t_a), juntamente com a atividade desenvolvida no ambiente e a vestimenta usada pelo indivíduo.

Lamberts et al (2005) definem conforto térmico como o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. A busca por essa satisfação vem desde os primórdios da humanidade, quando mecanismos biológicos evolutivos milenares foram desenvolvidos para que o homem pudesse se adaptar às mais severas situações, em busca do bem-estar. Tal busca levou o homem a desenvolver objetos e espaços que lhe permitissem experimentar sensações prazerosas. A sensação de prazer e de bem-estar, proporcionada pelo conforto térmico é combustível indispensável para a saúde da máquina humana.

Segundo Frota e Schiffer (2001), a saúde e as condições de vida do homem são melhores quando seu organismo tem a capacidade de funcionar sem ser submetido à fadiga ou estresse, inclusive térmico. O complexo mecanismo do organismo humano pode ser comparado, grosso modo, a uma máquina térmica. Seu funcionamento está relacionado às exigências de conforto térmico, considerando as atividades exigidas a ele. O organismo humano deverá se manter a uma temperatura interna na ordem de 37°C – homeotermia. Para que haja uma sensação de conforto térmico, as trocas de calor entre o corpo e o ambiente devem ocorrer sem muitos esforços. O corpo humano experimenta a sensação de frio quando o corpo perde calor para o ambiente. O organismo, por meio do sistema nervoso simpático, busca reduzir as perdas e aumentar a combustão interna – termogênese – por meio do sistema glandular endócrino. Na sensação de calor, o sistema nervoso simpático faz o contrário: busca reduzir a combustão

interna – termólise. O calor dissipado pelo corpo faz uma troca térmica com o ambiente por meio de um mecanismo que envolve as trocas secas – condução, convecção e radiação – e as trocas úmidas – evaporação. Nas trocas secas, essa perda de calor para o ambiente é denominada “calor sensível”. Nas trocas úmidas, a perda de calor do corpo para o ambiente é denominada “calor latente”. Neste processo, o suor do corpo passa do estado líquido para o gasoso, por meio da evaporação. Segundo Ruas (1999), as trocas entre o corpo humano e o ambiente podem, de forma simplificada, ser representada pela seguinte equação:

$$C_{\text{met}} + C_{\text{conv}} + C_{\text{rad}} - C_{\text{ev}} = \pm Q \quad (1.1)$$

Em que:

C_{met} - parcela da energia metabólica transformada em calor (W/m^2).

C_{conv} - calor trocado por convecção (W/m^2).

C_{rad} - calor trocado por radiação (W/m^2).

C_{ev} - calor perdido por evaporação do suor (W/m^2).

Q - calor total trocado pelo corpo (W/m^2).

O corpo estará em equilíbrio térmico quando o valor de Q for igual a zero.

Essa estrita relação entre o conforto térmico e o equilíbrio térmico do corpo humano é influenciada por fatores pessoais e ambientais. Segundo Ruas (1999), o homem se sente bem disposto quando está em um ambiente onde as condições de equilíbrio térmico são favoráveis e se sente indisposto, diminuindo, assim, a sua eficiência no trabalho, quando as condições ambientais são desfavoráveis. Dul e Weerdmeester (2004) apontam que o conforto térmico depende do indivíduo. Por isso, sempre que possível, o clima deve ser regulável à pessoa. Os climas mais frios são favoráveis para trabalhos mais pesados e o inverso para trabalhos mais leves. A faixa de temperatura do ar recomendada, segundo Dul e Weerdmeester (2004), para trabalho intelectual sentado é de 18°C a 24°C e para trabalho manual leve, sentado, é de 16°C a 22°C .

O clima quente e úmido, predominante no Brasil, tem comprovada influência no desconforto térmico e na disposição para o trabalho. Entretanto, convém ressaltar que as condições térmicas dos ambientes laborais dependem também do calor introduzido pelas atividades desenvolvidas e pelos equipamentos envolvidos nos processos (RUAS, 1999). Atividades várias desenvolvidas por um indivíduo produzem diferentes valores de dissipação de calor pelo corpo. A dissipação de calor por condução é pequena quando o indivíduo se encontra

vestido e calçado. A perda de calor por evaporação depende da quantidade de suor que o corpo libera, que pode variar de indivíduo para indivíduo, com o grau de aclimatação e com o biótipo. A troca de calor por convecção depende da diferença entre a temperatura do corpo-vestimenta e do ar.

2.1.1 A vestimenta no conforto térmico

A vestimenta exerce papel importante na troca de calor entre o corpo e o ambiente, na medida em que cria uma barreira para as trocas de calor por convecção, funcionando como uma barreira térmica e mantendo uma camada de ar junto ao corpo mais ou menos aquecida (FROTA; SCHIFFER, 2001). Na troca de calor por radiação, a interferência dependerá principalmente da emissividade, da absorvância de radiação da roupa e do comprimento de onda da radiação (RUAS, 1999).

Roupas mais espessas, menos permeáveis e menos condutivas dificultam a troca de calor entre o organismo e o ambiente. A vestimenta reduz a perda de calor do corpo para o ambiente. Sua resistência térmica depende do tipo de tecido de que foi fabricada, da fibra e do ajuste ao corpo. Por reduzir a perda de calor, a vestimenta pode ser classificada de acordo com o seu valor de isolamento. Utiliza-se para medir este valor o “clo” (clothing), que equivale a 0,155 m².°C/W (FROTA; SCHIFFER, 2001; RUAS, 1999). Esta escala foi projetada considerando que 0,0 clo é o valor dado para uma pessoa despida e 1,0 clo para uma pessoa vestindo um terno típico.

As vestimentas utilizadas pelos alunos na grande maioria das escolas de ensino fundamental, médio e superior são compostas por calça *jeans*, camiseta, tênis e meia 3/4. Estes itens do vestuário, para a vestimenta feminina, apresentam um valor de isolamento térmico em torno de 0,45 clo e, para a vestimenta masculina, em torno de 0,40 clo (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores de clo para vestimenta feminino e masculino

SEXO	Item de vestuário	Material de fabricação	clo
FEMININO	Sutiã	-	0,01
	Calcinha	100% náilon	0,03
	Camiseta com manga curta	Algodão	0,10
	Calça justa	Algodão	0,26
	Meia esportiva ¾	85% acrílico, 15% náilon	0,03
	Tênis de lona	-	0,02
TOTAL			0,45
MASCULINO	Cueca	Poliéster - algodão	0,03
	Camiseta com manga curta	Algodão	0,10
	Calça folgada	Algodão	0,22
	Meia esportiva ¾	85% acrílico, 15% náilon	0,03
	Tênis de lona	-	0,02
TOTAL			0,40

Fonte: adaptado de RUAS, 1999

O isolamento térmico da Tabela 1 foi calculado utilizando-se a equação (2.1):

$$ICL = \sum ICLU \quad (2.1)$$

Em que:

ICL – isolamento térmico básico da vestimenta, clo.

ICLU – isolamento térmico efetivo dos itens de vestuário, clo.

A combinação das variáveis de natureza ambiental e as de natureza pessoal, nas quais a vestimenta se enquadra, é que determina a sensação do conforto térmico. Segundo Ruas (1999), a primeira condição necessária, porém não suficiente, para que haja conforto térmico é que o corpo esteja em equilíbrio térmico – a quantidade de calor ganho (metabolismo + calor recebido do ambiente) deve ser igual à quantidade de calor cedido para o ambiente.

2.1.2 Problemas causados pelo desconforto térmico

O excesso de calor pode afetar o desempenho de um indivíduo e causar inquietação e perda de concentração, podendo até chegar ao estresse térmico, causando maiores danos ao organismo. Pesquisa desenvolvida por Liu et al. (2011) mostra que há evidências de que a temperatura na interface corpo-assento pode desempenhar um papel importante na avaliação do conforto

percebido pela pessoa que se senta. Cita, também, que fatores como o estresse térmico influenciam o desempenho humano e sua eficácia psicológica e fisiológica. De acordo com Sae-Sia et al. (2005), o contato da pele com a superfície de suporte faz com que o calor se acumule por convecção entre a superfície de suporte e a pele, aumentando, assim, a temperatura da pele. Este fator combinado com outros pode aumentar o risco de úlceras de pressão – lesão de pele causada pela interrupção sanguínea em determinada área, que se desenvolve devido a uma pressão aumentada por um período prolongado.

2.2 Ensaio não destrutivo

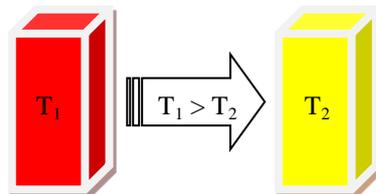
Uma definição clássica de ensaios não destrutivos (END) assume que eles não prejudicam nem causam dano ao uso futuro do elemento ensaiado. Ou seja, não provocam perda na capacidade resistente do elemento (LEITE, 1966). Segundo a Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivo e Inspeção (ABENDI), são técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos, sem danificá-los. São capazes de proporcionar informações relevantes, tais como teor dos defeitos no produto, características tecnológicas do material e a degradação de componentes, durante as etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção. Nesses ensaios, além de serem de fácil execução e de poderem ser feitos *in loco*, os custos e a ausência de danos permitem que sejam realizados repetidas vezes, possibilitando investigação mais abrangente e acompanhamento sistemático do elemento em estudo. Vários métodos de END são utilizados pela indústria, cada qual com suas características e metodologias próprias, de acordo com o material e o objeto a serem ensaiados. Os mais usuais para o ensaio em madeira são: ensaio visual, ultrassom e termografia (NIEMZ; MANNES, 2012). Apesar de haver muitas técnicas utilizadas na inspeção de materiais por métodos não destrutivos, nenhuma delas pode revelar todas as informações requeridas. Uma técnica de ensaio não destrutivo que vem sendo cada vez mais utilizada é a termografia infravermelha.

2.3 Transferências de calor

Transferência de calor consiste no estudo das características de energia entre corpos materiais causadas por diferença de temperatura. A termodinâmica ensina que a energia transferida é definida como calor. O objetivo da transferência de calor não é meramente explicar como esta energia pode ser transferida, mas também avaliar as taxas em que esta interação ocorre, sob certas condições especificadas (HOLMAN, 1983). Os corpos, quando colocados próximos,

buscam o equilíbrio térmico. Ou seja, o corpo de maior temperatura (T_1) fornece certa quantidade de energia térmica ao de menor temperatura (T_2) e os dois tendem ao equilíbrio (FIG. 1).

Figura 1 – Transferência de calor



Fonte: Elaborada pelo autor

O princípio das trocas de calor, que envolve variações de temperatura, acontece por meio de uma condição básica: a existência de corpos em temperaturas diferentes, ou seja, acima do zero absoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$) (VILLAS BÔAS, 2010). A transferência de calor é o trânsito de energia provocado por uma diferença de temperatura (INCROPERA; DEWITT, 2008). Devem-se, neste caso, considerar os aspectos básicos das trocas térmicas, as quais ocorrem por meio de quatro formas: condução, convecção e radiação térmica, que são as trocas secas, e evaporação.

2.3.1 Transferência de calor por condução

É a transferência de energia de partículas mais energéticas para partículas de menor energia em um meio devido às interações que existem entre elas. Na condução, o calor se propaga em todas as direções e a transferência de calor acontece entre dois corpos em contato molecular e de temperaturas diferentes. A situação é muito semelhante nos fluidos, mas só é válida se a transferência de calor ocorrer sem movimentos convectivos. Villas Bôas (2010) descreve que a transferência de calor por condução se dá quando as partículas do material entram em contato com uma fonte térmica, o que aumenta seu estado de agitação, que é transmitido para a partícula mais próxima, e assim sucessivamente.

2.3.2 Transferência de calor por convecção

Segundo Incropera e DeWitt (2008), a convecção pode ser considerada a forma de transferência de calor que ocorre entre uma superfície de um sólido e um fluido (gás ou

líquido) em movimento quando eles estiverem sob diferentes temperaturas. Na transferência de calor por convecção, a energia térmica muda de local, acompanhando as partículas do fluido, diferentemente da condução, em que as partículas permanecem em posição de equilíbrio e apenas a energia térmica se desloca (VILLAS BÔAS, 2010).

2.3.3 Transferência de calor por radiação

A radiação térmica é uma forma de transmissão de calor que não necessita de um meio material para sua propagação, pois superfícies com temperaturas diferentes do zero absoluto emitem energia na forma de ondas eletromagnéticas. Independente da forma da matéria, as emissões podem ser atribuídas a mudanças nas configurações eletrônicas dos átomos ou moléculas que constituem a matéria. A energia não é transportada ponto a ponto no interior do meio, mas a partir de troca direta entre as superfícies afastadas e a diferentes temperaturas, podendo ocorrer, inclusive, no vácuo (INCROPERA; DEWITT, 2008). A radiação ocorre mediante dupla transformação da energia: uma parte do calor do corpo com alta temperatura converte-se em energia radiante, que chega até o corpo com baixa temperatura, onde é absorvida em proporção que depende da superfície receptora, sendo novamente transformada em calor.

O sol é um grande fornecedor de energia. As ondas eletromagnéticas transmitidas por ele são absorvidas e transformadas, em grande parte, em energia térmica. A esta propagação de energia através de ondas eletromagnéticas dá-se o nome de “radiação” (VILLAS BÔAS, 2010).

2.3.4 Trocas de energia por radiação

Existem quatro formas de troca de calor por radiação: emissão, absorção, reflexão e transmissão. Quando um material libera energia, ocorre a emissão. Na absorção, o material retém a energia. A reflexão ocorre quando a energia é refletida pelo mesmo. A transmissão acontece quando a energia o atravessa. Quando a radiação incide num corpo, uma fração dela pode ser absorvida – absorptância (α) –, uma fração pode ser refletida – refletância (ρ) – e outra transmitida – transmitância (τ). Todo corpo pode absorver, refletir ou transmitir energia. A soma destes três coeficientes, para um mesmo comprimento de onda, será sempre igual a 1, como mostra a equação (3.1) (VERATI, 2011):

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (3.1)$$

Para materiais opacos, cuja transmitância é igual a zero, a equação é:

$$\alpha + \rho = 1 \quad (3.2)$$

Quando toda a radiação, ou parte dela, é absorvida pela superfície, ocorre aumento da energia térmica do material. A esta capacidade de absorver e emitir sua própria energia radiante em forma de radiação infravermelha dá-se o nome de “poder emissivo” ou “emissividade” (ϵ). (INCROPERA; DEWITT, 2008).

2.3.5 Emissividade ou poder emissivo

A radiação emitida pela superfície de um material tem sua origem na energia térmica da matéria limitada pela superfície. A taxa na qual a energia é liberada por unidade de área é denominada “poder emissivo da superfície”. Existe um limite superior para o poder emissivo, que é previsto pela lei de Stefan-Boltzmann e de Planck (teoria do corpo negro). Um corpo negro é um objeto ideal que absorve, em qualquer comprimento de onda, toda a radiação incidente sobre ele. O corpo negro tem poder emissivo igual a 1. Ou seja, tudo que ele recebe ele transmite. A relação existente entre a energia emitida por um corpo real em relação a um corpo negro sob a mesma temperatura é conhecida como “emissividade” (ϵ) (INCROPERA; DEWITT, 2008) conforme mostrado na equação (3.3)

$$\alpha = \epsilon \quad (3.3)$$

Em que:

α - coeficiente de absorção

ϵ – coeficiente de emissividade

A uma mesma temperatura, corpos com alta emissividade irradiam mais energia que corpos com baixa emissividade. A quantidade total de radiação emitida por um corpo depende de sua temperatura e de sua emissividade. Ela depende fortemente da superfície do material e de seu acabamento. Um corpo de emissividade elevada irradia mais energia que outro com emissividade baixa à mesma temperatura. A radiação total de saída de um corpo independe de sua fonte original. Além da energia emitida do próprio corpo, existe a interferência de energias refletidas e transmitidas de outras fontes. Um corpo sempre será capaz de emitir,

refletir e transmitir energia. A soma dessas energias será igual a 1, expressa pela equação (3.4):

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad (3.4)$$

Em que:

ε – coeficiente de emissividade.

ρ – coeficiente de reflexão ou refletância

τ – coeficiente de transmissibilidade ou transmitância

Todas as ondas eletromagnéticas transportam energia, porém apenas as da faixa do infravermelho são chamadas “ondas de calor”. O infravermelho, ao ser absorvido, transforma-se mais facilmente em energia térmica. Segundo Incropera (2008), na radiação térmica o transporte da energia é instantâneo e a energia não é transportada ponto a ponto no interior do meio, e sim a partir de troca direta entre as superfícies afastadas e a diferentes temperaturas.

2.3.6 Radiação infravermelha

De acordo com as características físicas, as ondas se classificam em: mecânicas e eletromagnéticas.

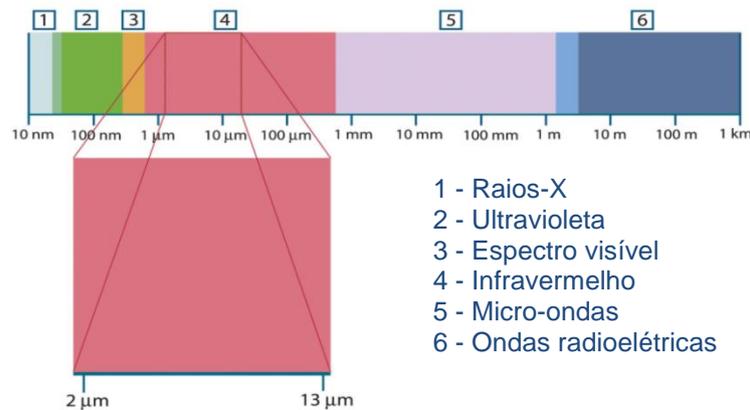
As ondas mecânicas são provenientes da propagação de energia através de partículas de um meio material sem que estas partículas sejam transportadas. Não se propagam no vácuo (VILLAS BÔAS, 2010).

As ondas eletromagnéticas são formadas por um campo elétrico e outro magnético, que podem se propagar no vácuo a uma velocidade aproximada de 300.000 km/s e em alguns meios materiais com velocidades muito menores que 300.000 km/s. Os campos elétricos e magnéticos são perpendiculares entre si.

As frequências das ondas eletromagnéticas são uma de suas principais características. Quanto mais altas, mais energia possuem. As ondas de frequências diferentes não interferem entre si. Equação de Max Planck (CALLISTER, 2002) indica a existência de uma relação fixa entre o comprimento de onda e a frequência, porque as ondas se deslocam na velocidade da luz.

Ao conjunto de todas as frequências das ondas eletromagnéticas dá-se o nome de “espectro eletromagnético”, definido como o intervalo completo da radiação eletromagnética que vai da região das ondas de raios X até as ondas radioelétricas (FIG. 2).

Figura 2 – Divisão do espectro eletromagnético

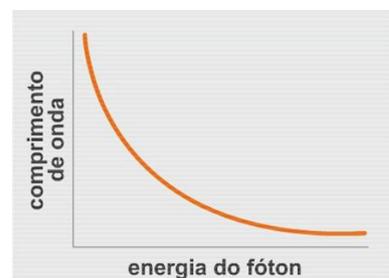


Fonte: Adaptado de catálogo técnico da Flir, 2009

A luz visível é aquela parte do espectro eletromagnético que os nossos olhos são capazes de perceber e que compreende uma pequena parte do espectro (3). As frequências acima do visível são chamadas de “ultravioleta” (2). Além do ultravioleta, encontram-se os raios-X (1). Na região intermediária ($2\mu\text{m}$ a $13\mu\text{m}$), encontra-se a faixa da radiação térmica, que compreende o infravermelho (4), o espectro visível (3) e uma parcela do ultravioleta. Abaixo na extremidade das ondas longas, fundem-se as micro-ondas (5) com as ondas radioelétricas (6), em milímetros (FLIR, 2009).

Dependendo das frequências das ondas eletromagnéticas, as radiações do espectro são portadoras de quantidades de energia diferentes. Quanto mais curto o comprimento de onda, mais alta é a energia de um fóton (FIG. 3).

Figura 3 – Curva de radiações do espectro

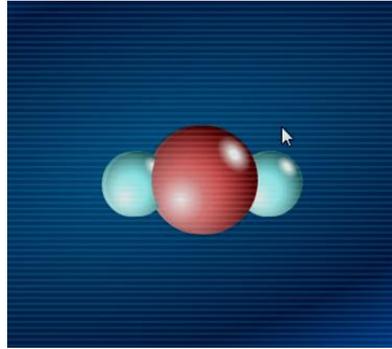


Fonte: <http://videoseducacionais.cptec.inpe.br/>

Além disso, ondas de frequências diferentes não interferem entre si, fazendo com que a frequência seja uma das principais características das ondas eletromagnéticas (INCROPERA; DeWITT, 2008).

De fato, todos os objetos emitem radiação infravermelha como uma função da sua temperatura. A energia infravermelha é gerada pela vibração e rotação dos átomos e moléculas (FIG. 4).

Figura 4 – Agitação atômica e molecular

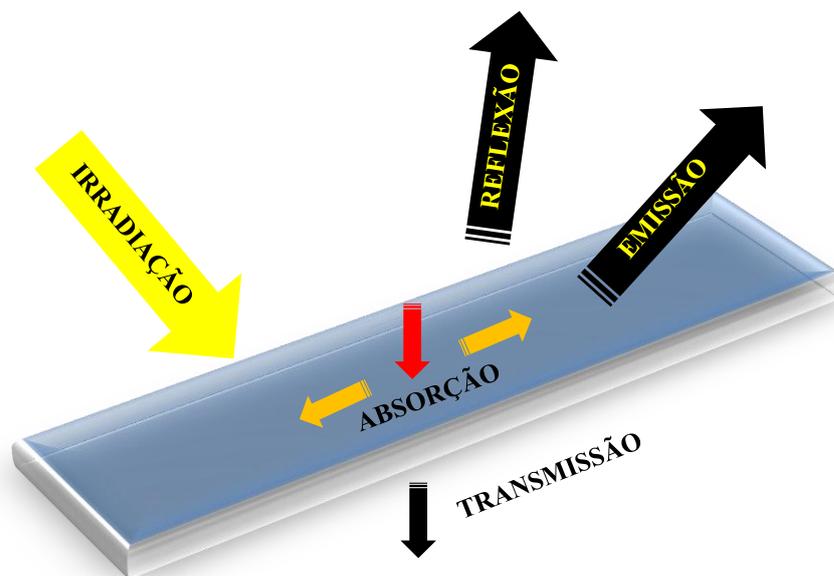


Fonte: <http://videoseducacionais.cptec.inpe.br/>

Quanto mais aquecido um objeto, maior é a agitação atômica e molecular e maior é a energia infravermelha por ele emitida. O calor que o indivíduo sente quando exposto ao sol, ou próximo a uma lareira, é, em grande parte, devido à radiação infravermelha.

A radiação infravermelha se comporta de modo similar à luz visível, atravessando o espaço na velocidade da luz, podendo ser refletida, absorvida, emitida e transmitida através de um corpo sólido (FIG. 5).

Figura 5 – Irradiação em uma das faces de um sólido semitransparente



2.4 Termografia infravermelha

A história da termografia teve o seu início há mais de dois séculos. Em 1800, Willian Herschel fez uma experiência decompondo a luz solar por meio de um prisma, baseando-se em experiências anteriores de Isaac Newton. Willian e seu filho, John Herschel (1840), foram os primeiros a realizar imagens utilizando uma técnica de evaporação do álcool (técnica evaporográfica). Henry Becquerel deu a sua contribuição ao descobrir que algumas substâncias quando eram expostas à radiação infravermelha emitiam luminescência. Samuel Langley, por volta de 1800, produziu o primeiro bolômetro, um detector de calor que tinha sua resistência elétrica modificada de acordo com a sua temperatura, sendo capaz de medir diferenças de temperaturas extremamente pequenas. Em 1917, Case desenvolveu o primeiro detector baseado na interação direta entre elétrons de sulfeto de tálio e fótons da radiação infravermelha (CORTIZO, 2007). Em 1929, Czerny elaborou o primeiro termograma. Um sistema de visão noturna foi empregado no período da Segunda Guerra Mundial, na metade dos anos de 1940, em tanques alemães. Após a invasão da Rússia por tanques alemães com visão noturna, os aliados elaboraram e desenvolveram a visão dianteira por infravermelho (FLIR - Foward Looking Infra Red), capaz de localizar tropas inimigas, o que acabou sendo utilizado também em armamentos com detectores de calor. Ainda para uso militar, surgem em 1946, um escâner de infravermelho capaz de produzir termogramas em horas. Nos anos de 1950, surgiu o primeiro sistema infravermelho destinado à medição rápida de temperaturas em pontos determinados em curta distância, os radiômetros. Nas décadas de 1970 e 1980, com o desenvolvimento da tecnologia eletrônica dos circuitos integrados, surgiram equipamentos infravermelhos mais leves e fáceis de manejar. Entre os anos de 1980 até os de 1990, com as mudanças tecnológicas da computação, a imagem em tempo real foi consagrada. Programas e equipamentos foram lançados. Novo salto tecnológico ocorreu na década de 1990 com a utilização de um detector responsável pela transformação da luz em sinais elétricos, criando imagens de alta qualidade e baixo ruído – Charge Coupled Device (CCD) –, desenvolvido em 1969. Hoje, os avanços tecnológicos possibilitam o desenvolvimento de novos detectores e câmeras infravermelhas. Contudo, a termografia, mesmo sendo considerada um método emergente no campo dos ensaios não destrutivos, apresenta-se como técnica promissora para a medição da temperatura superficial dos materiais a partir da radiação infravermelha emitida por eles (PEDRA 2011).

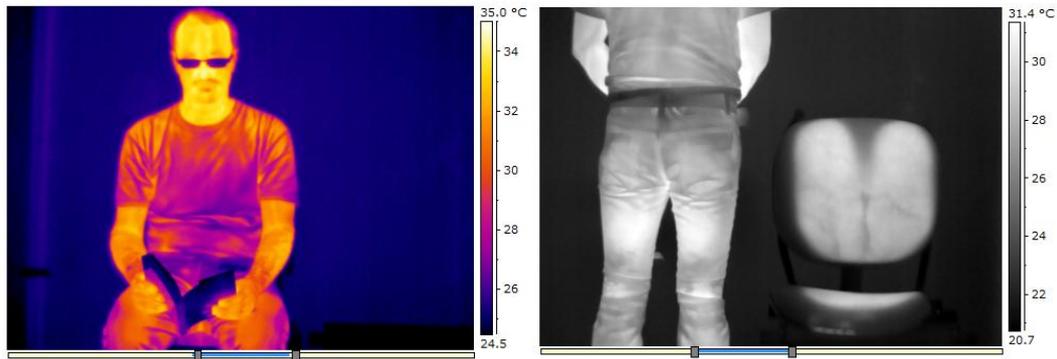
2.4.1 Descrição do método termográfico

Na última década, a termografia infravermelha encontrou crescente receptividade, que vai desde sua utilização em diagnósticos médicos até a determinação de perdas energéticas em fornos industriais. A termografia é muito utilizada por empresas geradoras e distribuidoras de energia elétrica e por empresas especializadas em monitoramento da variação de temperatura em caldeiras, fornos e tubulações. Na construção civil, a termografia mostra-se eficiente em inspeção de edifícios, como infiltração de água, inspeção de tetos, isolamento, umidade, fungos e em testes de eficiência energética – calefação e refrigeração (KALAMEES, 2007). Também na indústria aeronáutica, por exibir um promissor potencial para a redução dos custos de inspeção durante os estágios de manufatura e de manutenção periódica de componentes estruturais (MEOLA; SQUILLACE; VITIELLO, 2006). Na preservação do patrimônio histórico, a termografia vem sendo utilizada para análise de edifícios antigos a serem restaurados e na restauração de obra de arte, afrescos, painéis esculturas, entre outros (CORTIZO, 2007; TAVARES, 2006). Apesar de ser uma técnica emergente em algumas áreas do conhecimento, como é o caso de estudos em madeiras, a termografia se mostra como uma técnica de ensaio não destrutivo de grande abrangência e com resultados bastante positivos.

A termografia infravermelha é uma técnica de ensaio não destrutivo e não invasivo baseada no mapeamento térmico (chamados de “termogramas”) de todos os tipos de material, componente ou estrutura, com a finalidade de localizar possíveis regiões danificadas ou defeituosas (MEOLA et al., 2002). Isso é possível porque a condutividade térmica (ou, inversamente, a resistividade térmica dos materiais) depende fortemente do seu grau de integridade. Assim, o fluxo de calor no material é alterado na presença de anomalias (LAGÜELA et al., 2012) e as mudanças causam diferenças na temperatura do material.

Basicamente, um termograma exibe as diferentes temperaturas locais no componente, na forma de gradientes de coloração (escala policromática) ou de tonalidades de cinza (escala monocromática), sendo o imageamento térmico realizado, em geral, por termovisores ou câmeras termográficas (FIG. 6).

Figura 6 – Imagens térmicas (escala policromática - iron e monocromática - grey)

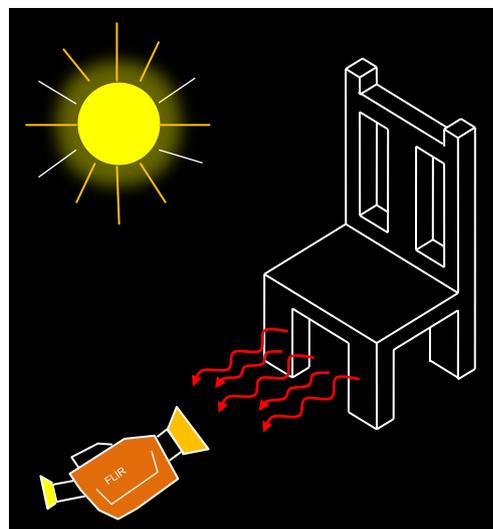


2.4.2 Captação da imagem térmica

A captação de imagem por termografia pode se dar pelo método passivo ou pelo ativo. Nos sistemas passivos, nenhuma estimulação artificial é utilizada, devendo existir uma diferença natural de temperatura entre o objeto em estudo e o meio no qual ele está inserido, que frequentemente está sob temperatura mais elevada.

A técnica permite o acompanhamento sistemático de condições normais de trabalho e possibilita investigação periódica para conhecer e identificar possíveis anomalias invisíveis a olho nu. A análise pelo método passivo conta com as condições naturais da estrutura estudada e do seu entorno, onde apenas a carga solar ambiental atua sobre o corpo. Por isso, deve existir uma diferença natural de temperatura entre o ambiente e o objeto (FIG. 7) (CORTIZO, 2007).

Figura 7 – Técnica de termografia passiva



Fonte: Adaptado de Cortizo, 2007

O ambiente onde o objeto está inserido, frequentemente, está com uma temperatura mais elevada que o objeto. O método passivo permite o acompanhamento e a investigação das condições normais de trabalho, com o intuito de identificar possíveis anormalidades (SALES, 2008; PEDRA, 2011; CORTIZO, 2007). A desvantagem do método passivo é que as imagens térmicas são transitórias e requerem um sistema de gravação rápido para capturar as imagens mais interessantes durante o teste (BUCUR, 2003).

Na chamada “termografia ativa”, o objeto de estudo é energeticamente estimulado, por meio de fontes térmicas simples, como lâmpadas, e flashes (FIG. 8), radiação infravermelha, micro-ondas e laser. Este estímulo tem a finalidade de gerar um fluxo interno de calor na área inspecionada.

Figura 8 – Esquema dos modos de inspeção termográfica na forma ativa



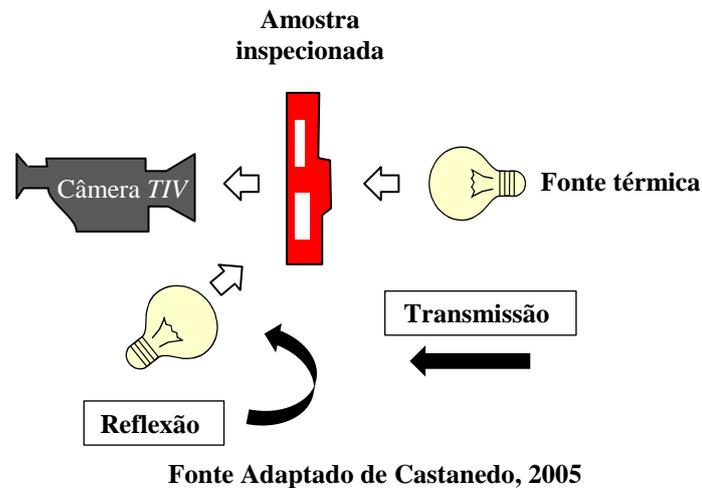
Fonte: Thermal-wave-imaging, 2009.

A eventual presença de defeitos e/ou danos superficiais ou subsuperficiais causa uma perturbação deste fluxo, levando a um contraste térmico na superfície do componente, que é detectado por uma câmera termográfica, acusando a existência da descontinuidade.

Essa estimulação pode ser “quente” ou “fria”. O importante é o estabelecimento de um gradiente de temperatura entre a fonte térmica e o objeto de estudo. A intensidade da estimulação dependerá da diferença de temperatura entre o material em teste e o ambiente no qual ele está inserido. A fonte de estímulo pode estar na parte frontal do objeto em estudo (configurando-se como modo de reflexão) ou do lado oposto, ficando o objeto de interesse entre a fonte e a câmera (estabelecendo-se o modo de transmissão).

Os modos de reflexão e transmissão são esquematizados na FIGURA 9.

Figura 9 – Modos de inspeção termografia ativa



Segundo Qingju et al. (2011), os tipos de termografia ativa mais utilizados são:

- Termografia por pulso – pulsos curtos, quentes ou frios, são aplicados na superfície do objeto. Recomenda-se o estabelecimento de um gradiente de temperatura entre a fonte térmica e o objeto.
- Termografia pulsada por aquecimento – utiliza fontes de calor, tais como dispositivos comerciais de iluminação fotográfica, que fornecem energia até 5 J/cm^2 .
- Termografia *lock-in* – utiliza ondas térmicas geradas por uma tensão periódica. A frequência muito baixa (0,03 Hz) não induz o sobreaquecimento da superfície da amostra.
- Vibrotermografia

2.4.3 Vibrotermografia

A vibrotermografia é uma técnica de termografia ativa, desenvolvida por volta de 1970, baseada na dissipação de energia que ocorre quando uma vibração mecânica prefixada é aplicada externamente a uma estrutura (RANTALA et al., 1997). Os ensaios de vibrotermografia envolvem a aplicação de vibrações de 10 kHz a 50 kHz e a observação da propagação do calor gerado é monitorada por termografia. Embora os mecanismos físicos que causam o aquecimento em um local de trinca ainda seja tópico de discussão por parte dos pesquisadores, eles concordam que a fricção provocada pelo aquecimento nas superfícies de uma trinca contribui para o aumento da temperatura, que é detectada pela câmera infravermelha (SHEPARD; AHMED; LHOTA, 2004).

Apesar desse início promissor, a técnica permaneceu estacionada até recentemente, quando técnicas de teste, como a *sonic thermography* ou o *thermosonic testing*, que são associadas ao calor produzido por ondas sônicas, foram introduzidas. A vantagem do aquecimento ultrassônico é que, com um baixo nível de tensão, pode-se obter forte sinal térmico. Como o aumento de temperatura na área do defeito é muito maior do que em seu entorno, o defeito pode ser claramente detectado usando-se a termografia como “um campo microscópio escuro”. Consequentemente, o uso do aquecimento ultrassônico fornece um método que pode detectar seletivamente um defeito. Aplicando uma modulação de baixa amplitude de tensão para uma alta frequência de vibrações ultrassônicas, obtém-se uma geração modulada do calor, que pode ser detectado pela termografia *lock-in* (RANTALA et al., 1997). Contudo, a análise dos dados obtidos por inspeção termográfica é fundamental e deve ser baseada no conhecimento adquirido em formação especializada e consolidado com a experiência ao longo dos anos. Segundo Bucur (2003), a vibrotermografia é um método promissor para a inspeção em materiais oriundos de madeiras maciças e compósitos por sua alta emissividade e baixa condutividade térmica.

2.4.4 Método qualitativo versus Método quantitativo

A análise termográfica pode ser feita, dependendo da aplicação e dos objetivos desejados, pelos métodos qualitativo, quantitativo e analítico.

O método qualitativo é utilizado quando se deseja analisar a existência e a localização de anomalias. As informações obtidas sobre determinado material proveem da análise de diferenças em seus padrões de distribuição térmica. Nesse método, procura-se responder às questões como se o problema existisse ou não.

O método quantitativo presta à determinação da gravidade da anomalia, com o objetivo de indicar prioridades de reparação. As informações obtidas proveem da medição direta das temperaturas associadas aos padrões de distribuição térmica observadas. Aqui, procura-se quantificar a gravidade do problema, quando deverá ser reparado.

O método analítico dedica-se à otimização de métodos de trabalho em inspeções, tratamento estatístico dos resultados obtidos e tradução dos dados térmicos em termos econômicos e de aumento de qualidade (VERATTI, 2011).

2.4.5 Considerações sobre a inspeção termográfica

Existe um conjunto variado de características susceptíveis de variação da emissividade dos materiais quando se executam ensaios de termografia. Algumas considerações devem ser observadas. A distância entre a câmera e o objeto durante o processo de leitura deve ser considerada (no sentido de diminuir a influência do meio na leitura da temperatura). A resolução dos termogramas diminui com o afastamento entre a câmera e o objeto. Com o aumento da distância, cada ponto passa a corresponder a uma área maior desta superfície e a radiação captada pela termocâmera passa a ser uma média da radiação emitida, perdendo, assim, o detalhe (DINIS, 2009; VERATTI, 2011).

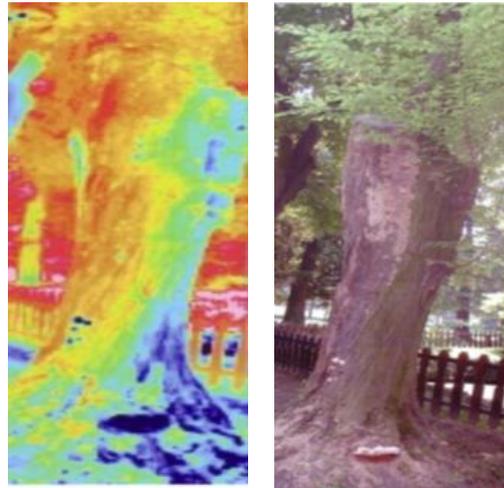
Dentre estas variáveis, os autores acrescentam:

- Materiais diferentes têm emissividades diferentes.
- A textura da superfície dos materiais influencia a emissividade.
- A geometria do objeto deve ser considerada.
- O ângulo de visão afeta a emissividade da superfície.
- Grandes variações na temperatura podem afetar a emissividade da superfície.
- Na escolha da paleta de cores, devem-se usar paletas de contraste alto em objetos de baixo contraste térmico, e vice-versa.

2.4.6 Aplicações da termografia infravermelha à madeira

São raros os estudos que utilizam a termografia para estudo das madeiras. No entanto, a técnica vem chamando a atenção de muitos pesquisadores (CATENA & CATENA, 2003; 2008; PADUELLI, 2011). Seu desenvolvimento está em pleno progresso, contudo existem muitas barreiras a serem vencidas para que se possa utilizar a técnica de forma eficiente. O equipamento tem custo elevado, a técnica é pouco conhecida e faltam profissionais especializados. Esforços vêm sendo feitos no sentido de melhorar a eficiência e a eficácia deste tipo de ensaios, como os apresentados por Catena & Catena, (2003). Os autores mostram que é possível detectar, acompanhar e monitorar por meio da termografia infravermelha a decadência de árvores. Foram feitas análises de diversos tipos de árvores, procurando identificar cavidades e a deterioração a uma distância do solo (raízes, tronco e ramos). As pesquisas revelaram que a temperatura da superfície, em correspondência com as áreas danificadas, é menor do que naquelas normais (FIG. 10)

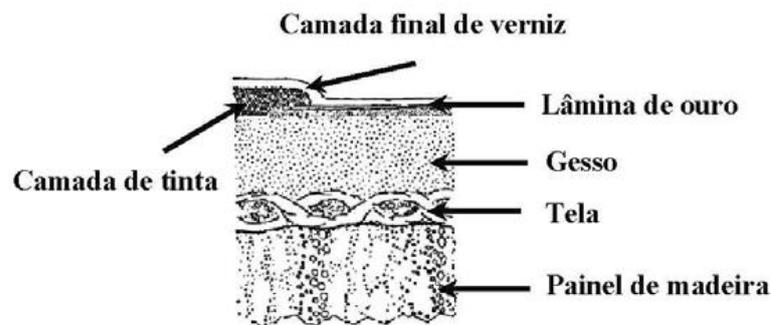
Figura 10 – Termograma da deterioração do tronco de uma árvore



Fonte: Catena & Catena, 2003

Trabalho realizado por Tavares (2006) utiliza a termografia para o estudo de afrescos e pinturas sobre madeira, de imagens sacras, altares e pinturas de teto dos séculos XIII e XIV na Europa. A diversidade dos materiais de cada uma das camadas que compõem as obras de arte favorece a ocorrência de erros de medição (FIG. 11).

Figura 11 – Estrutura típica de pintura sobre madeira



Fonte: Tavares, 2006

Os valores assumidos para as características termofísicas dos materiais apresentaram grandes incertezas. A autora relata que a termografia somente é capaz de identificar e caracterizar falhas de forma clara e segura se o diferencial de temperatura existente entre a região da falha e região íntegra da obra for superior aos limites de incerteza de medição.

Trabalho realizado por Cortizo (2007) utiliza a termografia para detectar anomalias em estruturas de madeira de elementos que compõem o patrimônio histórico brasileiro. O autor fez uma validação confrontando os resultados da termografia com fotos documentais. Foi

possível identificar a estrutura interna de madeira mediante as similaridades entre a foto antes da restauração e o termograma (FIG 12).

Figura 12 – Validação qualitativa – por processo comparativo



Fonte: Cortizo, 2007

Trabalho apresentado em Bucur (2003) mostra ensaios de termografia infravermelha feitos em espécies de pinheiro para a análise da compressão em diferentes direções. O autor mostra, por meio dos termogramas, que a dissipação de calor varia de acordo com as direções longitudinal, radial e tangencial (cada tonalidade de cor corresponde a $0,2^{\circ}\text{C}$) (FIG. 13).

Figura 13 – Imagem infravermelha de espécimes de pinheiro sob compressão



Fonte: Adaptado de Bucur, 2003

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Neste trabalho, foram analisados oito tipos de materiais normalmente utilizados na fabricação de cadeiras escolares. Utilizaram-se como amostras cadeiras de escolas de Belo Horizonte e da região metropolitana confeccionadas com materiais e acabamentos distintos. A definição por esta quantidade se deu pela constatação que estes são os materiais utilizados na maioria das cadeiras escolares pesquisadas. Incluiu-se no ensaio uma cadeira de metal que não foi projetada para uso em sala de aula, por perceber que este material é de uso intenso em assentos de cadeiras, devendo, assim, ser também analisado. A Tabela 2 apresenta os tipos de cadeira, material, estrutura e acabamento superficial. Para os testes termográficos, empregou-se uma câmera termográfica ThermoCAM P640, com escala de temperatura na faixa de - 40°C a 500°C e incerteza de medição $\pm 2\%$ das leituras (dados do fabricante). Foi utilizado para monitorar a temperatura ambiente, próximo do material, um termômetro com termopar de contato tipo K – Instruterm – TH 1300, com faixa de -50°C a 1300°C. A temperatura do laboratório foi estabilizada por meio de um aparelho de ar-condicionado Springer Mundial 10500. A fonte de calor utilizada foi o corpo de um voluntário adulto, cujo controle da temperatura corporal foi feito por meio de um termômetro clínico digital Incoterm ML 121-2007, fabricado pela Termomed Brasil.

Tabela 2 – Descrição das amostras utilizadas nos ensaios

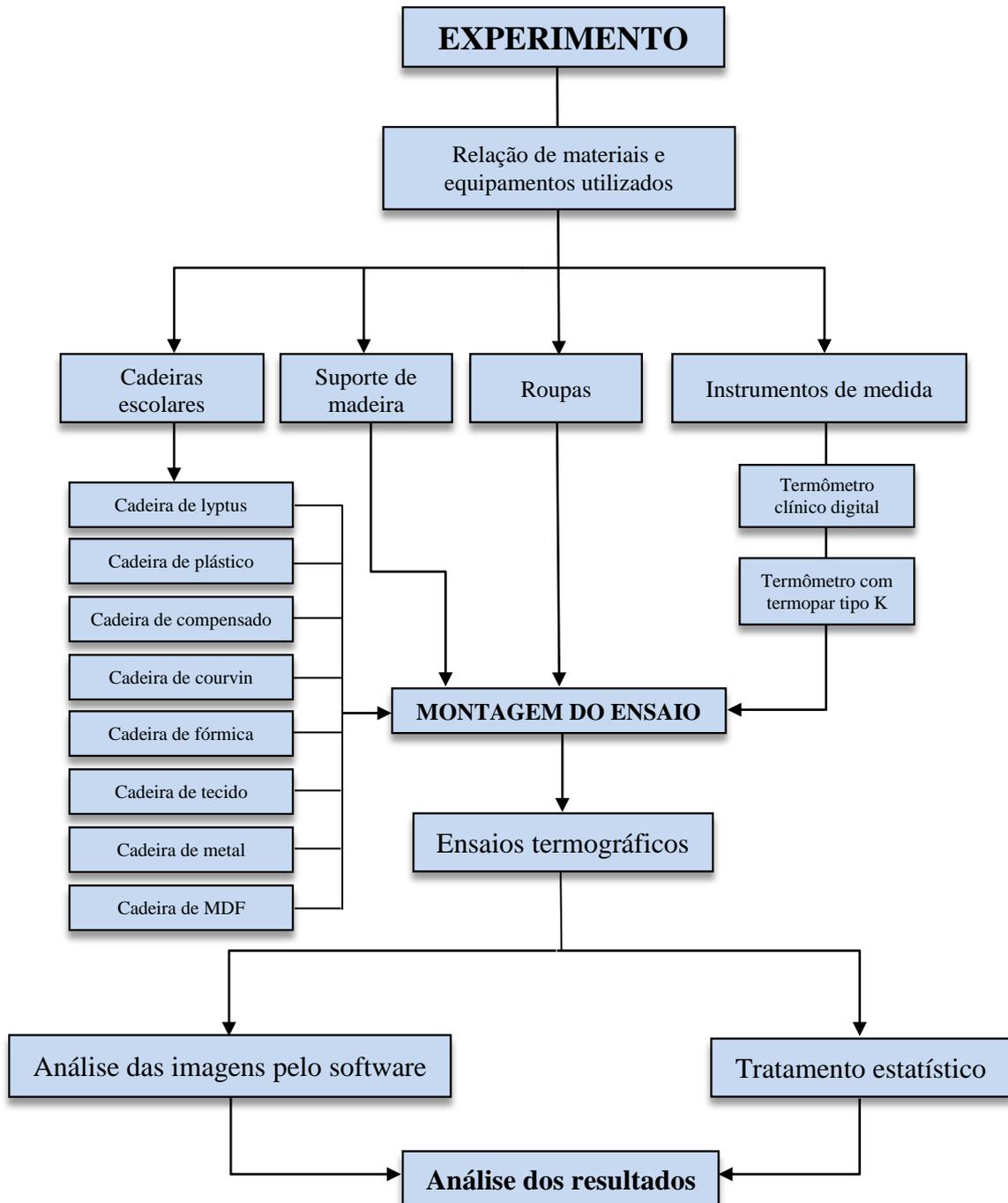
Cadeiras		Material	Acabamento	
Amostra 1		Cadeira de Lyptus	Estrutura: madeira (<i>Lyptus - Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i>)	Verniz
			Encosto: madeira (<i>Lyptus - Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i>).	Verniz
			Assento: madeira (<i>Lyptus - Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i>).	Verniz
Amostra 2		Cadeira de Plástico	Estrutura: tubo de aço SAE 1020	Tinta esmalte sintético
			Encosto: Polipropileno	-----
			Assento: Polipropileno	-----
Amostra 3		Cadeira de Compensado	Estrutura: madeira (compensado de Sumaúma)	-----
			Encosto: madeira (compensado de Sumaúma)	-----
			Assento: madeira (compensado de Sumaúma)	-----

Amostra 4		Cadeira de Courvin	Estrutura: tubo de aço SAE 1020	Tinta esmalte sintético
			Encosto: madeira (compensado de Sumaúma) revestida com espuma (Poliuretano – PU) e Courvin (PVC)	-----
			Assento: madeira (compensado de Sumaúma) revestida com espuma (Poliuretano – PU) e Courvin (PVC)	-----
Amostra 5		Cadeira de Fórmica	Estrutura: tubo de aço SAE 1020	Tinta esmalte sintético
			Encosto: madeira (compensado de Sumaúma) com laminado melamínico (Fórmica)	-----
			Assento: madeira (compensado de Sumaúma) com laminado melamínico (Fórmica)	-----
Amostra 6		Cadeira de Tecido	Estrutura: tubo de aço SAE 1020	Tinta esmalte sintético
			Encosto: madeira (compensado de Sumaúma) revestida com espuma (Poliuretano – PU) e tecido de Poliéster	-----
			Assento: madeira (compensado de Sumaúma) revestida com espuma (Poliuretano – PU) e tecido de Poliéster	-----
Amostra 7		Cadeira de Metal	Estrutura: tubo de aço SAE 1020	Tinta esmalte sintético
			Encosto: chapa de aço SAE 1020	Tinta esmalte sintético
			Assento: chapa de aço SAE 1020	Tinta esmalte sintético
Amostra 8		Cadeira de MDF	Estrutura: tubo de aço SAE 1020	Tinta esmalte sintético
			Encosto: madeira (MDF)	Tinta esmalte sintético
			Assento: madeira (MDF)	Tinta esmalte sintético

3.2 Métodos

O método empregado nesta pesquisa foi essencialmente experimental. Os ensaios foram realizados no Centro de Estudos em Design da Madeira (CEMA-LABE), da Escola de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais. A representação esquemática das etapas do mesmo é apresentada na FIG. 14.

Figura 14 – Representação esquemática das etapas do ensaio



3.2.1 Definição do tempo a ser utilizado

Uma das primeiras preocupações da pesquisa foi criar um protocolo de procedimentos para os ensaios. Foram feitos ensaios para definir o tempo que atendesse às necessidades do experimento, tomando como referência trabalhos semelhantes feitos por alguns autores. Fieel e Fieel (2001) afirmam que uma pessoa muda de posição em um assento, em média, a cada dez ou quinze minutos. Essa mudança de posição faz com que o local de contato entre o corpo

e o assento esfrie por determinado tempo até que seja novamente aquecido quando o usuário volta à mesma posição. Pesquisa desenvolvida por Liu et al. (2011) em assentos mostra que após sessenta minutos sentado a temperatura inicial muda rapidamente, porém é seguida por uma fase de “estabilização” que é alcançada após 15-20 min. Eles colocam, ainda, que vinte minutos sentado seriam suficientes para produzir informações importantes.

Para se definir o tempo a ser utilizado na pesquisa, foram feitos ensaios termográficos com uma cadeira de plástico, na qual um sujeito ficou sentado por 15, 20 e 50 min.

3.2.2 Seleção da parte significativa do objeto de medição

Foram feitas observações diretas do comportamento dos alunos na utilização de cadeiras em escolas para a análise do uso do encosto, em relação ao assento. Observou-se que os alunos ficam grande parte do tempo das aulas escrevendo, lendo ou, até mesmo, na posição de repouso em cima das mesas. Esta observação, juntamente com os ensaios termográficos, tem por objetivo referendar se haveria a necessidade da análise do encosto das cadeiras ou se somente a análise dos assentos seria suficiente para os ensaios. Foram feitos ensaios termográficos em uma cadeira de plástico com o tempo de 15, 20 e 50 min.

3.2.3 Seleção da vestimenta do usuário

Foram feitas observações em escolas para averiguar qual é o tipo de vestimenta mais utilizado pelos alunos. Análise de trabalhos, como os desenvolvidos por Liu et al. (2011), que utilizaram em seus estudos voluntários vestidos com calças de algodão, com o intuito de reduzir o impacto de diferentes materiais de vestuário no isolamento térmico ou a transferência de vapor de água das pernas, também foi feita. As observações realizadas nas escolas e a análise de trabalhos se deram pela necessidade de se definir se o voluntário iria utilizar uma calça ou se haveria a necessidade de se fazer ensaios em que ele ficaria com a pele em contato direto com o assento. O que se pretendia com estes ensaios era verificar se o material utilizado nos assentos iria se comportar de forma semelhante ao do contato com o tecido.

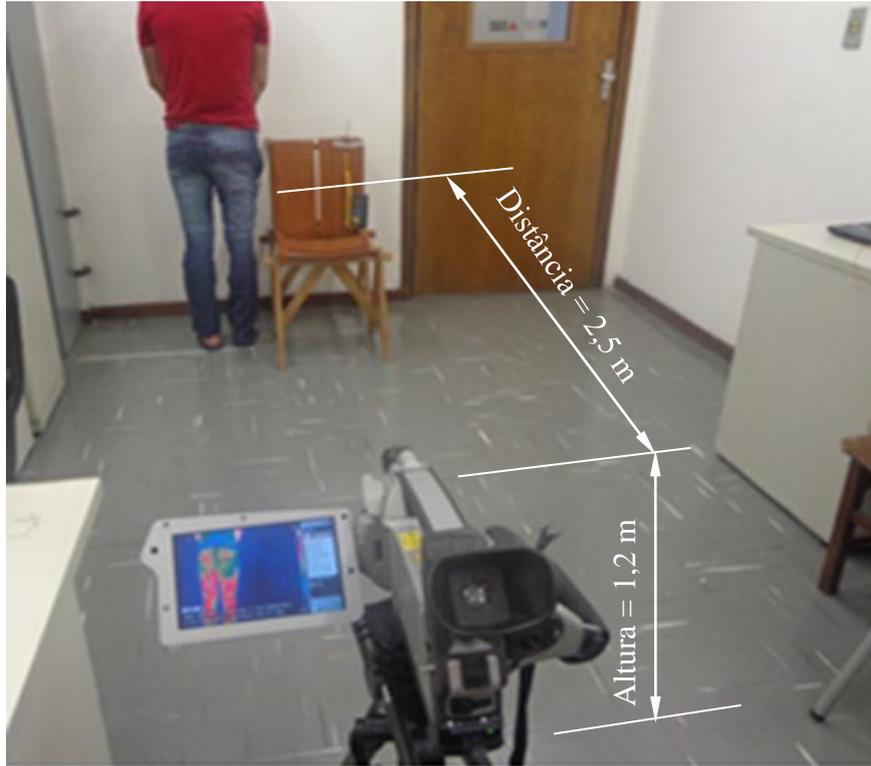
Foram feitos ensaios termográficos com uma cadeira de metal, já que este material tem como característica a boa condutividade térmica, o que levaria o calor a se dissipar rapidamente.

O voluntário ficou sentado por quinze minutos vestido com uma calça *jeans*. Após este tempo, foi controlado o resfriamento do assento a cada cinco minutos. O mesmo procedimento foi feito com o voluntário utilizando apenas uma sunga, ficando toda a parte posterior da coxa em contato direto com o material do assento, assim como no ensaio utilizando o *jeans*.

3.2.4 Procedimento experimental

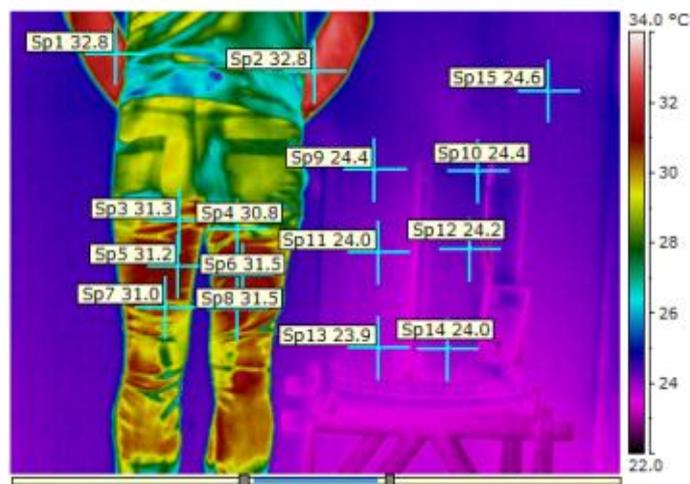
Após a definição do protocolo, foram feitos ensaios nos assentos de oito cadeiras escolares fabricadas com materiais diversos. O assento foi submetido ao contato do corpo de um voluntário por um período de quinze minutos, medindo-se a temperatura inicial. Após esse tempo, a temperatura foi registrada por termografia, no material e no corpo do voluntário. Após esse procedimento, foi registrado o resfriamento do assento. A região corporal escolhida para monitoramento foi a parte posterior superior da perna – coxa e o braço. Foi determinado um ponto na parede do laboratório, próximo ao experimento, para monitorar a temperatura ambiente. A temperatura inicial desses pontos foi tomada a cada teste (ambiente, voluntário e materiais). Após quinze minutos de contato corporal do voluntário com o assento das cadeiras, novas medidas foram tomadas. O monitoramento do resfriamento do experimento foi feito no assento das cadeiras e na temperatura do ambiente. Foram feitas medidas da temperatura a cada cinco minutos durante o período de quinze minutos. Para garantir a estabilidade das medições, a temperatura do laboratório de testes foi mantida em aproximadamente 23°C. A temperatura corporal do voluntário foi estabilizada antes de cada teste com um banho de água tépida e controlada, medindo-se a temperatura corporal com o termômetro clínico (35,5°C). O voluntário usou roupas de tecido de algodão tipo *jeans*, que foram trocadas a cada teste. Após os testes, as imagens termográficas foram transferidas para um notebook e analisadas pelo *software* Flir Tools versão 3.1.13080.1002. Para a confirmação dos dados o teste estatístico – *Tukey-Kramer* para diferença entre as médias – foi utilizado. Para os testes, o objeto em estudo foi colocado sobre um cavalete de madeira, de forma a se conseguir uma posição linear entre o assento e a lente da câmara, que foi posicionada a uma distância de 2,5 m – distância obtida para que a câmara captasse a imagem necessária para o ensaio – e altura de 1,2 cm do piso (FIGURA 15).

Figura 15 – Distância e altura utilizadas nos ensaios



As medições foram tomadas sempre nas mesmas regiões, em todas as cadeiras analisadas (FIGURA 16). Foram tomadas as temperaturas superficiais em quinze pontos: a temperatura corporal (dois pontos na pele – um no braço esquerdo e outro no braço direito), nas pernas do voluntário (três pontos na perna esquerda e três na direita sobre o tecido de algodão), a temperatura do assento (três pontos no lado esquerdo e três no lado direito) e do ambiente (um ponto na parede).

Figura 16 – Termograma do posicionamento do voluntário e da amostra antes do teste



Após a medição, o objeto em estudo foi colocado na posição de uso onde o voluntário permaneceu assentado, com a região posterior superior das pernas – coxa – em contato com o assento da cadeira por um período de quinze minutos (FIGURA 17). O tempo foi estipulado baseando-se em Fieel e Fieel (2001), ao descreverem que o desconforto, mesmo em assentos macios, faz com que o usuário mude de posição, em média, a cada dez ou quinze minutos.

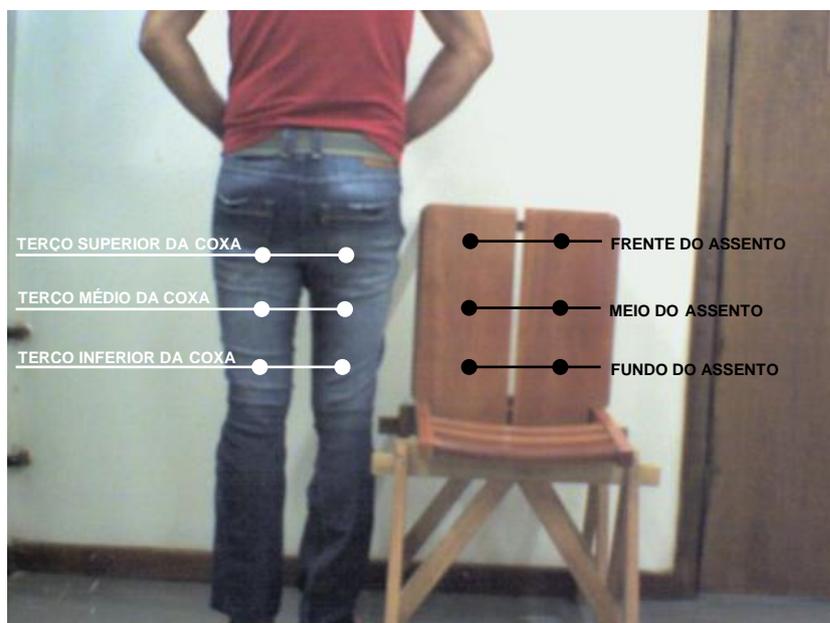
Figura 17 – Posição do voluntário durante o ensaio



**Contato das
pernas do voluntário
com o material**

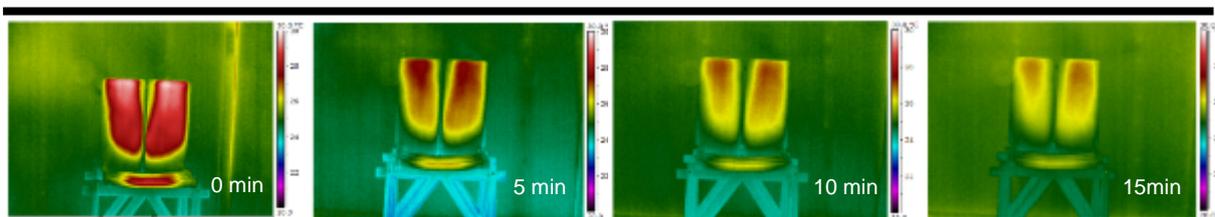
Após esse tempo, a cadeira foi novamente colocada na posição inicial sobre o cavalete e foi registrada a temperatura superficial da parte posterior das pernas – terço superior da coxa, terço médio da coxa e terço inferior da coxa (direita e esquerda), para a temperatura corporal; e frente, meio e fundo (direito e esquerdo), para a análise da temperatura do assento das cadeiras, conforme mostrado na FIG. 18.

Figura 18 – Posicionamento dos pontos de medição na amostra e no voluntário



O controle do resfriamento do assento das cadeiras foi feito por meio de medições termográficas a cada cinco minutos. Os termogramas da FIG. 19 mostram o posicionamento da amostra durante a coleta dos dados de resfriamento pelo período de quinze minutos.

Figura 19 – Termogramas do posicionamento da amostra durante o resfriamento



O procedimento experimental foi repetido para cada assento das cadeiras. Os valores das temperaturas dos assentos foram processados pelo *software* e tabulados em forma de gráficos e/ou tabelas do *Excel*. Foi considerado a incerteza da câmera termográfica de $\pm 2\%$ nas leituras. Conforme recomendações do fabricante, a câmara termográfica foi regulada utilizando-se como parâmetros a temperatura refletida de 20°C, a temperatura atmosférica de 20°C e a umidade relativa do ar de 50%. Os valores de emissividade utilizados nesta pesquisa foram os sugeridos no catálogo da Flir Systems e Contemp Equipamentos Termográficos, relacionados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de emissividade dos materiais das amostras utilizadas

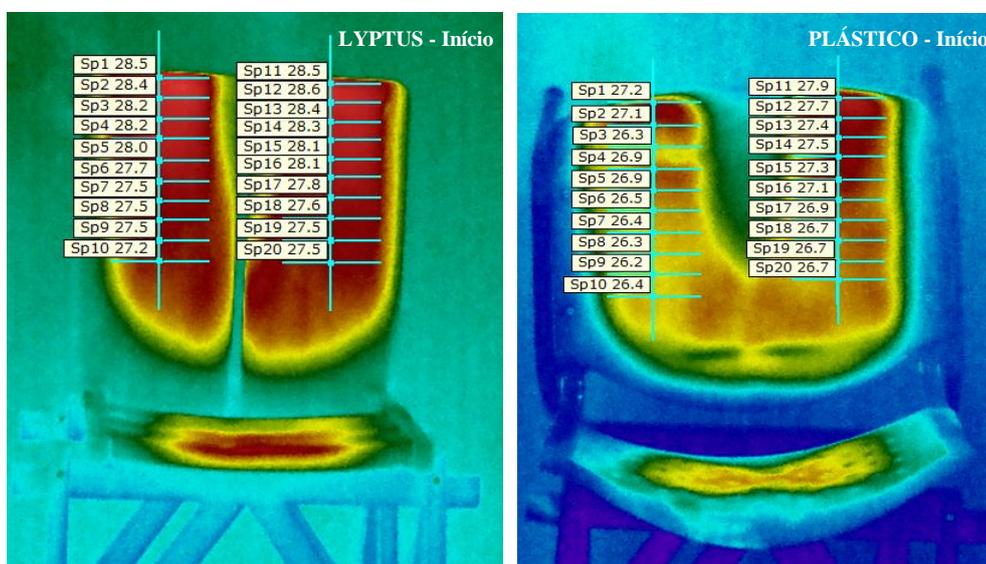
Objeto em estudo	Material da cadeira	Emissividade do material
Amostra 1	Madeira (<i>Eucalyptus grandis e urophylla</i>)	0,98
Amostra 2	Polipropileno (PP)	0,94
Amostra 3	Madeira (Sumaúma)	0,82
Amostra 4	Policloreto de Vinila (PVC)	0,95
Amostra 5	Resina fenólica e melamínica	0,93
Amostra 6	Poliéster	0,98
Amostra 7	Aço SAE 1020	0,95
Amostra 8	Fibras de madeira com resina melamínica	0,95

Fonte: Dados extraídos do catálogo Flir Systems/ Contemp Equipamentos Termográficos

3.3 Estatística

Para a análise estatística dos dados, foi utilizado o *software* StatPlus 2009 Professional. A normalidade dos dados foi determinada pelo teste de Kolmogorov-Smimov. Para confirmar a hipótese de que os dados foram retirados de uma população com distribuição normal, foram retiradas a temperatura em 10 pontos (Sp1 a Sp10) do lado esquerdo e 10 pontos (Sp11 a Sp20) do lado direito do assento de uma cadeira de lyptus e de um assento de uma cadeira de plástico no início do resfriamento, após o voluntário ficar quinze minutos sentado (FIG. 20).

Figura 20 – Pontos utilizados na cadeira de lyptus e na cadeira de plástico



Não foram encontradas evidências contra a normalidade. Os resultados desse teste estão indicados na TABELA 4.

Tabela 4 – Dados do teste de normalidade para as cadeiras de Lyptus e Plástico

Cadeira de LYPTUS (°C lado Esquerdo)		
Tamanho da amostra		10
Desvio padrão		0,44
Média		27,87
<i>Teste</i>	<i>Nível p</i>	<i>Conclusão: (5%)</i>
Kolmogorov-Smimov	1,00	<i>Nenhuma evidencia contra a normalidade</i>
Cadeira de LYPTUS (°C lado direito)		
Tamanho da amostra		10
Desvio padrão		0,41
Média		28,04
<i>Teste</i>	<i>Nível p</i>	<i>Conclusão: (5%)</i>
Kolmogorov-Smimov	0,77	<i>Nenhuma evidencia contra a normalidade</i>

Cadeira de PLÁSTICO (°C lado Esquerdo)		
Tamanho da amostra	10	
Desvio padrão	0,36	
Média	26,62	
<i>Teste</i>	<i>Nível p</i>	<i>Conclusão: (5%)</i>
Kolmogorov-Smimov	1,00	<i>Nenhuma evidencia contra a normalidade</i>
Cadeira de PLÁSTICO (°C lado direito)		
Tamanho da amostra	10	
Desvio padrão	0,43	
Média	27,19	
<i>Teste</i>	<i>Nível p</i>	<i>Conclusão: (5%)</i>
Kolmogorov-Smimov	0,58	<i>Nenhuma evidencia contra a normalidade</i>

Para confirmar a existência de diferenças entre as temperaturas nos pontos do lado direito e do lado esquerdo do assento, tendo como hipótese nula H_0 que as temperaturas são iguais, foi realizado o teste *Tukey-Kramer* para diferença entre as médias. Foram comparados os pontos Sp1, Sp3 e Sp5 (lado esquerdo) e os pontos Sp2, Sp4 e Sp6 (lado direito) do assento da cadeira de lyptus, conforme dados retirados da Tabela 5.

Tabela 5 – Pontos utilizados na cadeira de lyptus para diferença entre as médias

	TEMPERATURA DO ASSENTO/°C					
	Frente		Meio		Fundo	
	Sp 1	Sp 2	Sp 3	Sp 4	Sp 5	Sp 6
	30,4	29,8	29,1	30,7	30,0	28,8
	26,8	26,9	26,3	26,3	25,6	25,7
	26,2	26,2	25,8	25,9	25,3	25,4
	25,9	26,0	25,6	25,7	25,2	25,4

Para a confirmação dos resultados, foi utilizado $p < 0,05$. Como o nível p foi maior em todos os pontos analisados, o resultado foi rejeitado, o que leva à conclusão que existem diferenças entre as temperaturas adquiridas pela câmara termográfica nos vários pontos do assento da cadeira de lyptus. Os resultados são apresentados na Tabela 6.

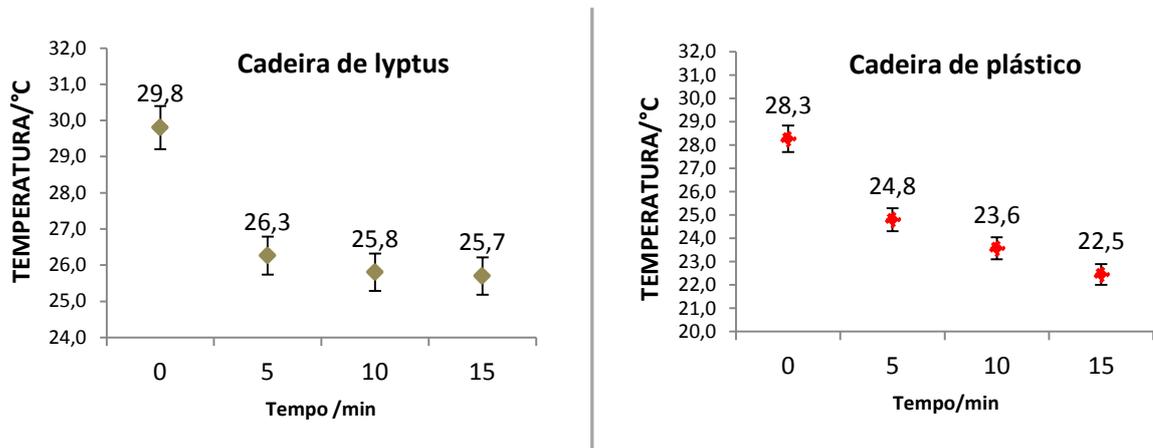
Tabela 6 – Resultados obtidos nos pontos do lado direito e esquerdo na cadeira de lyptus após o teste Tukey-Kramer

Teste <i>Tukey-Kramer</i> para diferença entre as médias			
Grupos	Diferença/°C	Nível <i>p</i>	Aceito?
Sp 1 vs Sp 3	0,60	0,94	<i>Rejeitado</i>
Sp 1 vs Sp 5	0,65	0,93	<i>Rejeitado</i>
Sp 3 vs Sp 5	0,05	0,99	<i>Rejeitado</i>
Grupos	Diferença/°C	Nível <i>p</i>	Aceito?
Sp 2 vs Sp 4	-0,07	0,99	<i>Rejeitado</i>
Sp 2 vs Sp 6	0,35	0,97	<i>Rejeitado</i>
Sp 4 vs Sp 6	0,42	0,96	<i>Rejeitado</i>

Para estudar os dados obtidos nos assentos das oito cadeiras selecionadas para os ensaios, foi utilizado o teste *Tukey-Kramer* para diferença entre as médias.

Para ilustrar o processo destas análises, foram utilizadas a cadeira de lyptus e a cadeira de plástico. Todas as oito cadeiras foram testadas. Os resultados obtidos foram semelhantes (ver resultados nos anexos). Para ajudar a interpretação dos dados, foram utilizadas barras de erros com porcentagem de erro de 2%, seguindo o mesmo padrão de limites de incerteza da câmera termográfica, que é de $\pm 2\%$ das leituras (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Resfriamento da cadeira de lyptus e da cadeira de plástico



A hipótese nula H_0 , a ser assumida nesta fase é que as médias de temperaturas, mesmo tendo valores aproximados, são diferentes. Para os resultados foi utilizado $p < 0,05$.

Tabela 7 – Resultados obtidos na cadeira de lyptus após o teste Tukey-Kramer

Cadeira de lyptus			
Teste <i>Tukey-Kramer</i> para diferença entre as médias			
Grupos	Diferença/°C	Nível p	Aceito?
0 vs 5	3,53	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 10	4,00	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 15	4,16	0,00	<i>Aceito</i>
5 vs 10	0,46	0,42	<i>Rejeitado</i>
5 vs 15	0,63	0,18	<i>Rejeitado</i>
10 vs 15	0,16	0,94	<i>Rejeitado</i>

Para a cadeira de lyptus, como se pode observar no Gráfico 1 e na Tabela 7, na diferença de temperatura de 0 min a 5 min (0 vs 5), de 0 min a 10 min (0 vs 10) e de 0 min a 15 min (0 vs 15), o nível p foi menor que o utilizado na pesquisa ($p < 0,05$). O resultado é estatisticamente robusto. Já as diferenças de temperaturas de 5 min a 10 min (5 vs 10), de 5 min a 15 min (5 vs 15) e de 10 min a 15 min (10 vs 15) o valor de nível p é maior. O resultado foi rejeitado. Estes dados estatísticos confirmam as análises feitas na pesquisa para a cadeira de lyptus. As temperaturas de resfriamento final (10 e 15 min), mesmo parecendo iguais, já que os valores numéricos são tão próximos (25,8°C e 25,7°C), têm valores diferentes, o que faz com que a cadeira de lyptus assuma uma dissipação de calor de forma lenta.

Todos os resultados obtidos na cadeira de plástico tiveram nível p menor que $p < 0,05$, o que levou à aceitação do resultado em todas as faixas de temperatura (Tabela 8).

O Gráfico 1 mostra que, diferentemente da cadeira de lyptus, a temperatura final de resfriamento (10 e 15 min) mostra valores numéricos diferentes. Estes resultados confirmam as análises feitas para a cadeira de plástico que resfria rapidamente, já que as temperaturas medidas são diferentes. O tempo de quinze minutos para o resfriamento parece ser o suficiente para que o assento da cadeira entre em equilíbrio térmico com a temperatura inicial do ensaio.

Tabela 8 – Resultados obtidos na cadeira de plástico após o teste Tukey-Kramer

Cadeira de plástico			
Teste <i>Tukey-Kramer</i> para diferença entre as médias			
Grupos	Diferença/°C	Nível p	Aceito?
0 vs 5	3,46	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 10	4,70	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 15	5,81	0,00	<i>Aceito</i>
5 vs 10	1,23	0,00	<i>Aceito</i>
5 vs 15	2,35	0,00	<i>Aceito</i>
10 vs 15	1,11	0,00	<i>Aceito</i>

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O protocolo criado para os ensaios foi definido após experimentos relacionados à análise do tempo a ser utilizado, à definição das partes da cadeira escolar a serem consideradas (encosto e/ou assento) e à definição do vestuário do voluntário para os testes. Após a confirmação dos resultados, um protocolo definitivo foi utilizado, e os experimentos para a análise do conforto térmico dos assentos das cadeiras escolares foram feitos. Os resultados destes experimentos, tanto para a criação do protocolo quanto para os ensaios do conforto térmico, são apresentados a seguir.

4.1 Tempo de aquecimento e resfriamento

Para se definir o tempo a ser utilizado nos ensaios, um voluntário ficou sentado em uma cadeira de plástico por 15, 20 e 50 min e as imagens termográficas adquiridas. Foram definidos seis pontos no assento da cadeira, para que se obtivesse uma média de temperatura do assento. A Tabela 9 apresenta estes resultados, bem como as diferenças de temperatura.

Tabela 9 – Variação da temperatura do assento após o aquecimento

ASSENTO	Tempo/min			VALOR MÉDIO
	15	20	50	
Temperatura inicial	22,6	22,6	23,2	22,8
Temperatura final	28,3	28,1	29,4	28,6
Diferença de temperatura	5,7	5,5	6,2	5,8

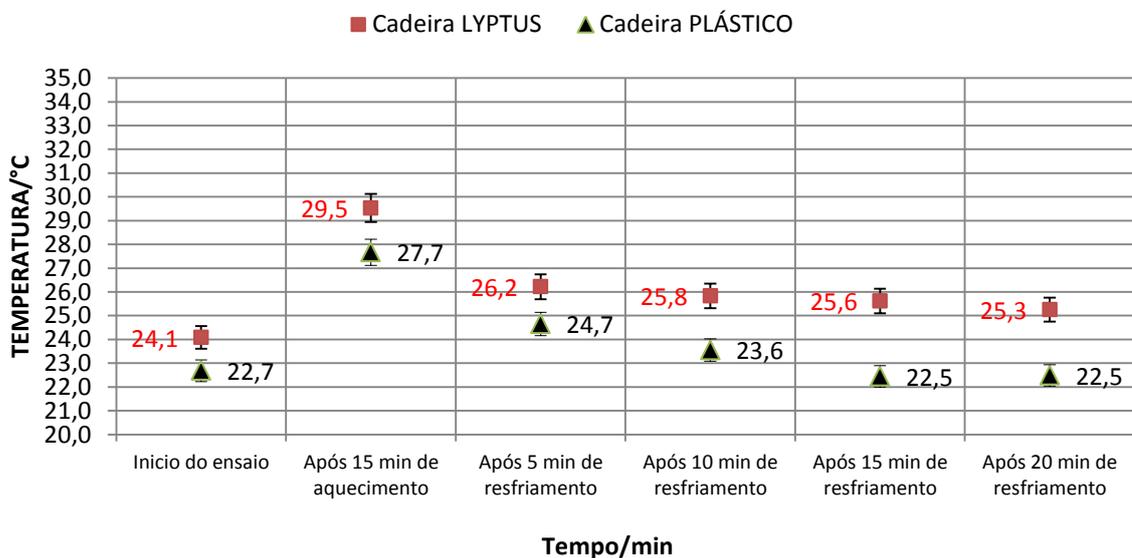
Considerando a incerteza da câmera termográfica de $\pm 2\%$ das leituras, tem-se, para a temperatura média de $28,6^{\circ}\text{C}$, um erro de $0,6^{\circ}\text{C}$. Aplicando-se este valor aos resultados, pode-se concluir que as temperaturas para 15, 20 ou 50 min são semelhantes.

Considerando as afirmações de Fieel e Fieel (2001) de que uma pessoa muda de posição em um assento, em média, a cada 10 ou 15 min e que um sujeito dificilmente ficaria 50 minutos sentado em uma mesma posição, o tempo de cinquenta minutos foi descartado para esta

pesquisa. Novos ensaios foram feitos utilizando um tempo de vinte minutos, seguindo os estudos feitos por Liu et al. (2011), que afirmam que este tempo é o suficiente para produzir informações importantes.

Foram analisadas duas cadeiras por vinte minutos. Os dados do Gráfico 2 indicam que no início do ensaio a cadeira de lyptus tinha uma temperatura inicial de 24,1°C, após quinze minutos de resfriamento atingiu uma temperatura de 25,6°C, caindo para 25,3°C em cinco minutos (diferença de 0,3°C) . Já a cadeira de plástico tinha uma temperatura inicial de 22,7°C, após quinze minutos de resfriamento atingiu a temperatura de 22,5°C, mantendo esta temperatura até os vinte minutos de ensaio. Conclui-se que para a cadeira de plástico, quinze minutos de resfriamento é o suficiente para que a temperatura se estabilize. Diante destes resultados, que confirmam as afirmações de Fieel e Fieel (2001) e os estudos de Liu et al. (2011), e, também, da percepção do voluntário quanto à dificuldade de se ficar mais que quinze minutos sentado na mesma posição, optou-se por utilizar nesta pesquisa o tempo de quinze minutos.

Gráfico 2 – Temperatura de resfriamento - cadeira de lyptus *versus* cadeira de plástico



4.2 Escopo de medição

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos no ensaio para a definição do escopo de medição de interesse (assento e/ou encosto), foram feitos ensaios termográficos em uma cadeira de plástico, com o tempo de 15, 20 e 50 min.

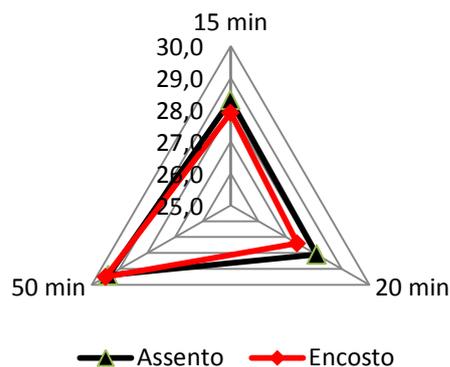
Tabela 10 – Variação da temperatura do encosto e assento da cadeira de plástico com o tempo de 15, 20 e 50 min

Tempo/min	ENCOSTO/°C	ASSENTO/°C	Diferença/°C
15	28,3	27,9	0,4
20	28,1	27,4	0,7
50	29,4	29,5	- 0,1
MÉDIA	28,6	28,3	0,3

Tomando como base a incerteza da câmera termográfica nas leituras de $\pm 2\%$, as temperaturas médias de $28,6^{\circ}\text{C}$ para o encosto e $28,3^{\circ}\text{C}$ para o assento podem ser consideradas semelhantes.

O Gráfico 3 mostra que o triângulo em vermelho formado pelas temperaturas do encosto quase se sobrepõe ao triângulo preto formado pelas temperaturas do assento, o que permite concluir que o encosto e o assento se comportam de forma semelhante.

Gráfico 3 – Comparativo entre assento e encosto de uma cadeira de plástico



Os resultados obtidos no ensaio e o fato de o assento ser a região de maior contato com o corpo do usuário fizeram com que o assento fosse escolhido como objeto de estudo.

4.3 Seleção da vestimenta

Como é de amplo conhecimento, o tecido *jeans* é o mais utilizado pelos estudantes. Liu et al. (2011) também utilizaram tecido de algodão em seus estudos sobre assentos. Ensaio com o voluntário utilizando calça *jeans* e somente com a pele em contato direto com o assento foram feitos com o intuito de verificar se os assentos se comportariam de forma semelhante com ou sem o contato direto da pele.

A Tabela 11 fornece os dados de temperatura para as duas situações ensaiadas: usuário utilizando calça *jeans* e sem o uso da calça (contato direto com a pele).

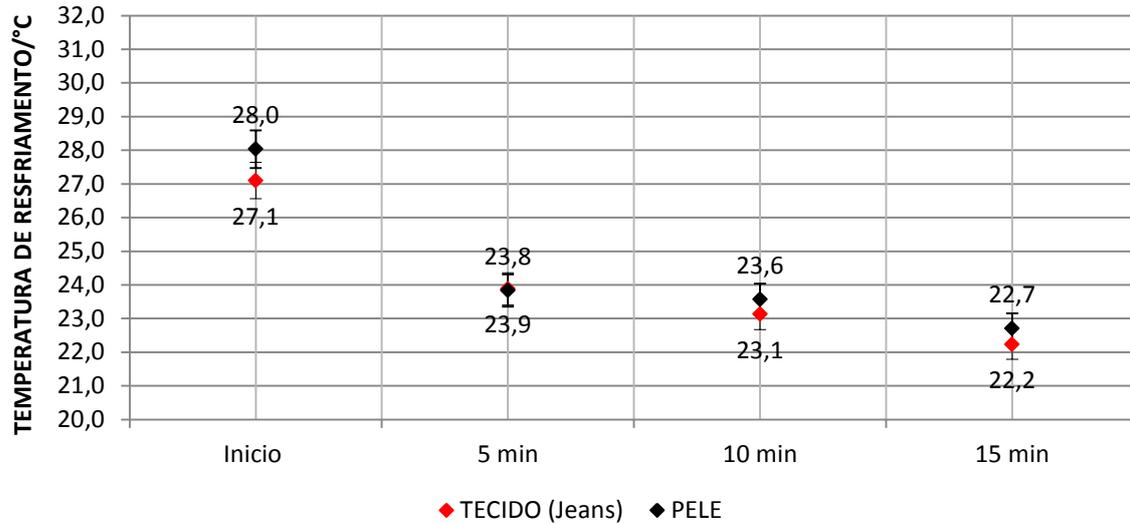
Tabela 11 – Variação da temperatura em função do tipo da vestimenta do usuário

OBJETO	Tempo/min	TEMPERATURA/°C						Temperatura média/°C
		Frente		Meio		Fundo		
		Sp 1	Sp 2	Sp 3	Sp 4	Sp 5	Sp 6	
Cadeira de metal/tecido (Jeans)	0	27,5	27,3	27,3	27,4	26,6	26,5	27,1
	5	24,1	24,1	23,8	23,8	23,7	23,8	23,9
	10	23,2	23,3	23,1	23,1	23,1	23,0	23,1
	15	22,3	22,3	22,3	22,1	22,1	22,3	22,2
Cadeira de metal/pele	0	28,2	28,2	28,1	28,0	27,9	27,8	28,0
	5	24,2	24,2	23,7	23,7	23,6	23,6	23,8
	10	23,9	23,8	23,4	23,5	23,5	23,3	23,6
	15	22,8	22,8	22,7	22,7	22,6	22,6	22,7

Os pontos sobre o tecido *jeans* e na pele do voluntário mantiveram temperaturas médias semelhantes, dentro dos limites de incerteza da câmera termográfica ($\pm 2\%$).

O Gráfico 4 indica que no início do resfriamento houve uma pequena diferença de temperatura, porém a partir deste momento as temperaturas permaneceram semelhantes durante todo o resfriamento.

Gráfico 4 – Comparativo entre contato com o *jeans* e com a pele (cadeira de metal)



Após todos estes ensaios, ficou definido como protocolo para os experimentos: utilização de calça *jeans*, assento como local a ser ensaiado, voluntário sentado por quinze minutos e o tempo de resfriamento de 5, 10 e 15 min.

4.4 Ensaios com protocolo definido

4.4.1 Análise da amostra 1 – cadeira de lyptus

Para a análise dos resultados, apresentam-se os termogramas das amostras e, em uma tabela, os valores relativos aos quinze pontos determinados para o controle da temperatura do objeto de estudo: seis no assento, seis nas coxas, dois nos braços do voluntário e um na parede do ambiente. Os dados da Figura 21 e da Tabela 12 mostram que a temperatura no assento da amostra 1, após quinze minutos de contato com o corpo do voluntário, apresentou um aumento de temperatura de 5,6 e 5,7°C. Os pontos sobre o tecido *jeans* e na pele do voluntário mantiveram temperatura estável, dentro dos limites de incerteza da câmera termográfica ($\pm 2\%$), assim como a temperatura ambiente.

Figura 21 – Termogramas da amostra 1 (cadeira de lyptus)

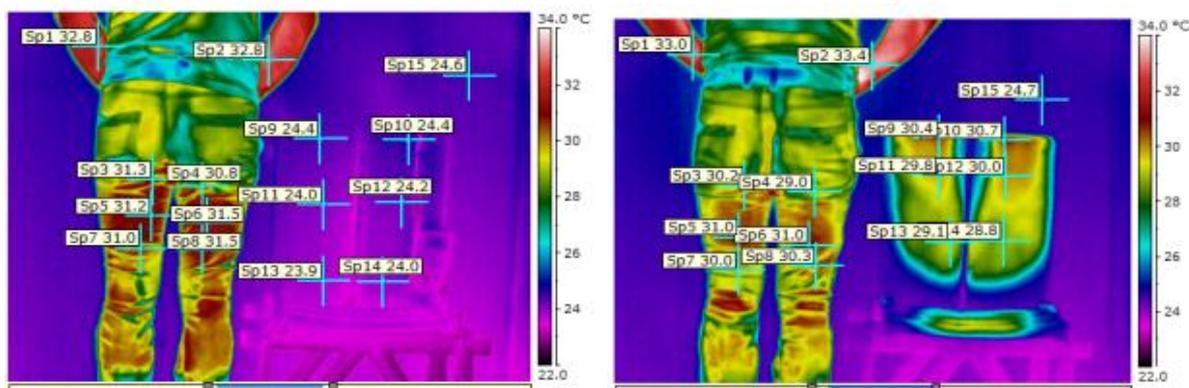


Tabela 12 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de lyptus)

Fase	Sp1, Sp2 Pele/°C média	Sp3, Sp5, Sp7 Coxa/°C média	Sp4, Sp6, Sp8 Coxa/°C média	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Ambiente/°C
Início do teste (0 min)	32,8	31,2	31,3	24,1	24,2	24,6
Depois de 15 min assentado	33,2	30,4	30,1	29,8	29,8	24,7
Diferença de temperatura	0,4	- 0,8	- 1,2	5,7	5,6	0,1

Os valores relativos ao resfriamento do assento foram tomados a cada cinco minutos. Os resultados são apresentados na Tabela 13. O resfriamento ocorreu de forma gradativa. Após quinze minutos de resfriamento, o assento não havia estabilizado sua temperatura com os valores da temperatura inicial, que foi de 24,1 e 24,2°C, ficando 1,5°C acima desta.

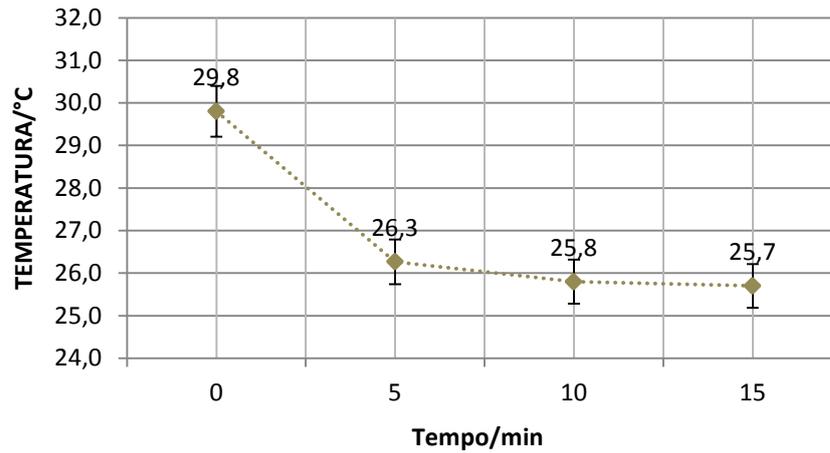
Tabela 13 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de lyptus)

Tempo/min	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Parede/°C	Diferença de °C
0	29,8	29,8	24,7	0,0
5	26,2	26,3	24,1	0 min - 5 min = 3,6/3,5
10	25,8	25,8	24,2	5 min - 10 min = 0,4/0,5
15	25,6	25,7	24,4	10 min - 15 min = 0,2/0,1
Diferença de temperatura	4,2	4,1	0,3	15 min - Início teste = 1,5/1,5

Os valores da média das medidas da temperatura de resfriamento foram tabulados no Gráfico 5. Percebe-se que o assento teve um resfriamento maior (3,5°C) nos primeiros cinco

minutos e nos minutos seguintes o resfriamento foi mais lento ($0,5^{\circ}\text{C}$) e ($0,1^{\circ}\text{C}$), com um total acumulado de resfriamento de $4,1^{\circ}\text{C}$ em quinze minutos. O lyptus se mostra como um material que dissipa o calor de forma mais lenta, necessitando de mais tempo para a estabilização total do assento, que ficou $1,5^{\circ}\text{C}$ acima da temperatura inicial.

Gráfico 5 – Temperatura de resfriamento da amostra 1 (cadeira de lyptus)



4.4.2 Análise da amostra 2 – cadeira de plástico

Os resultados da amostra 2 são apresentados na Figura 22 e na Tabela 14. Os dados mostram que a temperatura no assento da cadeira de plástico após quinze minutos de contato com o corpo do voluntário apresentou um aumento de temperatura de $5,7/5,7^{\circ}\text{C}$. Percebe-se que os pontos nas pernas e na pele do voluntário ficaram estáveis, assim como a temperatura ambiente.

Figura 22 – Termogramas da amostra 2 (cadeira de plástico)

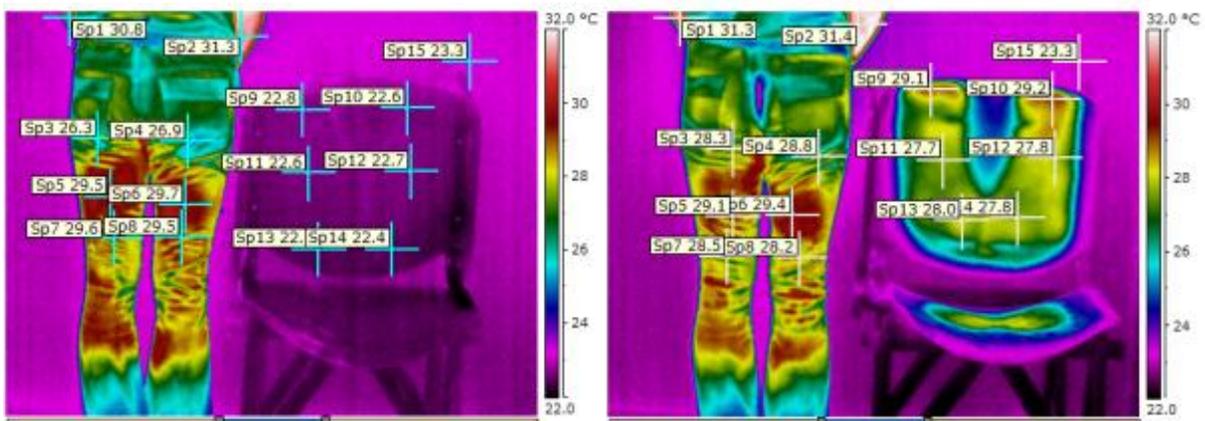


Tabela 14 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de plástico)

Fase	Sp1, Sp2 Pele/°C média	Sp3, Sp5, Sp7 Coxa/°C média	Sp4, Sp6, Sp8 Coxa/°C média	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Ambiente/°C
Início do teste (0 min)	31,4	28,5	28,7	22,6	22,6	23,3
Depois de 15 min assentado	31,4	28,6	28,8	28,3	28,3	23,3
Diferença de temperatura	0,0	0,1	0,1	5,7	5,7	0

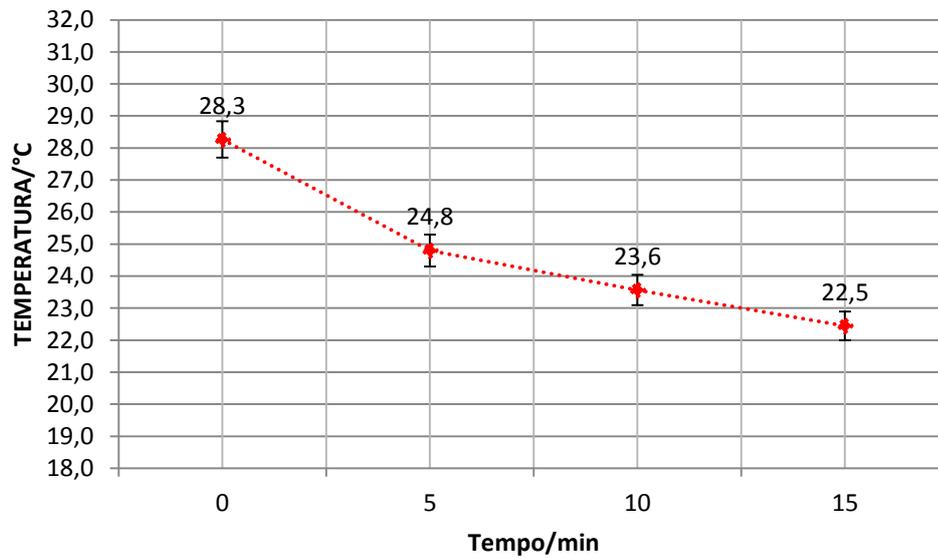
Os valores relativos ao resfriamento do assento são apresentados na Tabela 15. Após quinze minutos de resfriamento a temperatura do assento está totalmente estabilizada com os valores da temperatura inicial 22,6°C.

Tabela 15 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de plástico)

Tempo/min	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Parede/°C	Diferença de °C
0	28,3	28,3	23,3	0,0
5	24,7	24,9	23,3	0 min - 5 min = 3,6/3,4
10	23,5	23,6	23,3	5 min - 10 min = 1,2/1,3
15	22,4	22,5	22,9	10 min - 15 min = 1,1/1,1
Diferença de temperatura	5,9	5,8	0,4	15 min - Início teste = -0,2/-0,1

O Gráfico 6 apresenta os valores médios relativos ao resfriamento do assento. O assento da cadeira de plástico também apresentou maior resfriamento nos cinco primeiros minutos (3,5°C). Nos cinco minutos seguintes, foi de 1,3°C, nos cinco minutos restantes, o resfriamento caiu para 1,1°C. Percebe-se que o aumento da temperatura do assento em contato com o corpo do voluntário foi significativo (praticamente 6°C) em quinze minutos, mas o resfriamento também foi rápido: 3,6°C nos primeiros cinco minutos. Em quinze minutos, já havia estabilizado com a temperatura inicial.

Gráfico 6 – Temperatura de resfriamento da amostra 2 (cadeira de plástico)



4.4.3 Análise da amostra 3 – cadeira de compensado

Os resultados da amostra 3 são apresentados nos termogramas da Figura 23 e na Tabela 16.

Os dados mostram que a temperatura no assento após quinze minutos de contato com o corpo do voluntário apresentou aumento de temperatura significativo, 7,8°C. Os pontos nas pernas e na pele do voluntário apresentaram temperatura estável e a temperatura ambiente também não se alterou.

Figura 23 – Termogramas da amostra 3 (cadeira de compensado)

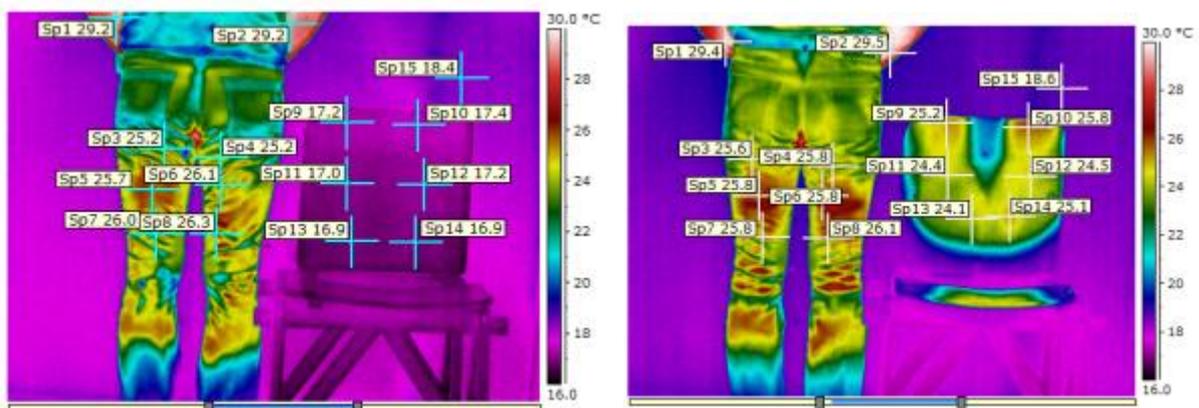


Tabela 16 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de compensado)

Fase	Sp1, Sp2 Pele/°C média	Sp3, Sp5, Sp7 Coxa/°C média	Sp4, Sp6, Sp8 Coxa/°C média	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Ambiente/°C
Início do teste (0 min)	29,2	25,6	25,9	17,0	17,2	18,4
Depois de 15 min assentado	29,5	25,7	25,9	24,6	25,1	18,6
Diferença de temperatura	0,3	0,1	0	7,6	7,9	0,2

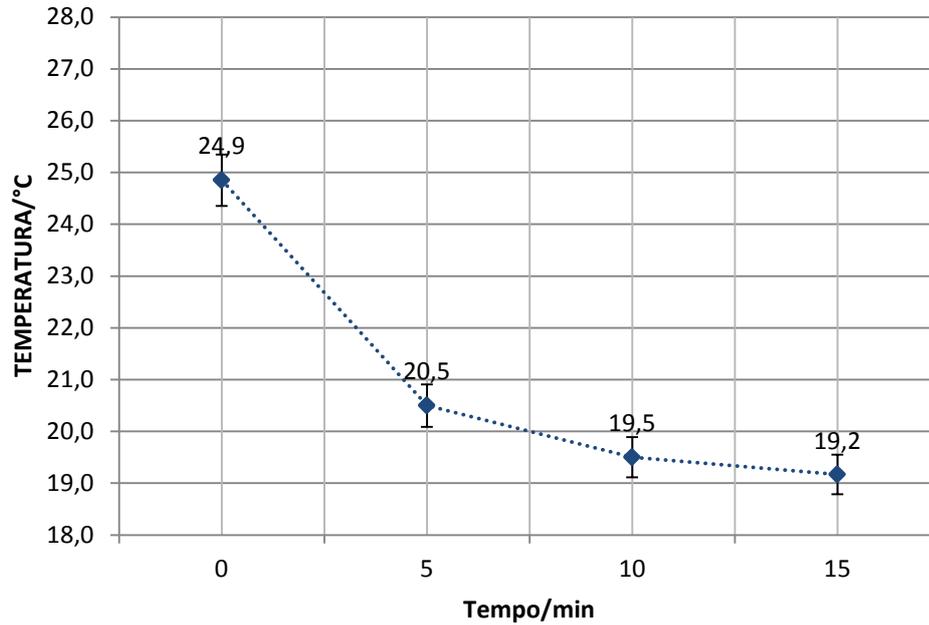
A Tabela 17 apresenta os valores relativos às medições do resfriamento da cadeira de compensado. Após quinze minutos, o assento ainda apresentou uma temperatura 2,1/2,1°C, acima da temperatura inicial, que foi de 17,0/17,2°C.

Tabela 17 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de compensado)

Tempo/min	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Parede/°C	Diferença de °C
0	24,6	25,1	18,6	0,0
5	20,4	20,6	18,1	0 min - 5 min = 4,2/4,5
10	19,3	19,6	18,4	5 min - 10 min = 1,1/1,0
15	19,1	19,3	18,5	10 min - 15 min = 0,2/0,3
Diferença de temperatura	5,5	5,0	0,1	15 min - Início teste = 2,1/2,1

O Gráfico 7 apresenta os valores médios relativos ao resfriamento do assento. Nos cinco primeiros minutos, o assento apresentou um resfriamento de 4,4°C. Nos cinco minutos seguintes, o resfriamento foi de 1,0°C. Nos 5 minutos restantes, o resfriamento foi menor, 0,3°C. Percebe-se que houve aumento significativo na temperatura do assento em contato com o voluntário e o resfriamento também foi bastante alto nos cinco primeiros minutos. Contudo, o resfriamento não estabilizou a temperatura do assento com a temperatura inicial de quinze minutos estipulados (17,1°C). Isso indica que a dissipação do calor acumulado no assento foi mais lenta e que para estabilizar sua temperatura inicial seria necessário mais tempo. Acredita-se que isso deve, possivelmente, à natureza anisotrópica da madeira, que dificulta a dissipação do calor.

Gráfico 7 – Temperatura de resfriamento da amostra 3 (cadeira de compensado)



4.4.4 Análise da amostra 4 – cadeira de courvin

Os resultados da amostra 4 são apresentados na FIG. 24. As temperaturas dos pontos de medição do assento e do corpo do voluntário são apresentadas na Tabela 18. Os dados mostram que a temperatura no assento da cadeira de courvin, após quinze minutos de contato com o corpo do voluntário, apresentou aumento de temperatura próximo ao da cadeira de compensado: 6,9 e 6,7 °C. Os pontos nas pernas e na pele do voluntário apresentaram ligeiro aumento da temperatura. A temperatura ambiente manteve-se dentro dos limites de incerteza.

Figura 24 – Termogramas da amostra 4 (cadeira de courvin)

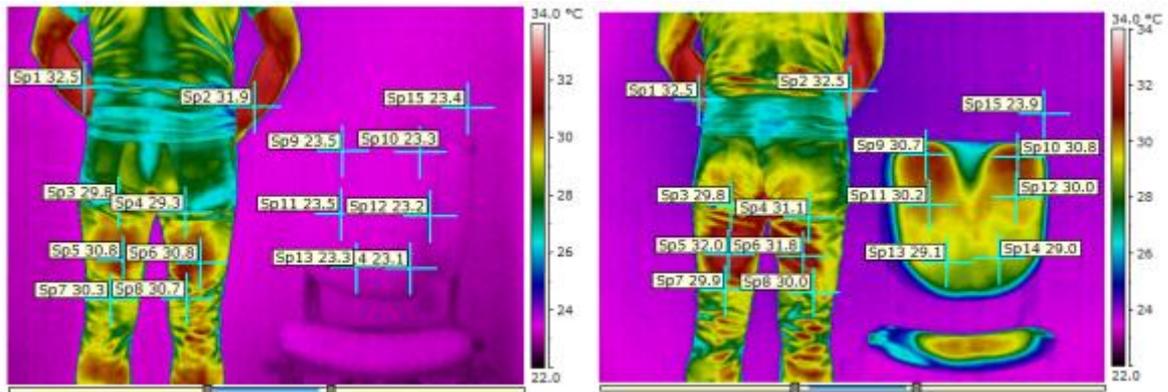


Tabela 18 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de courvin)

Fase	Sp1, Sp2 Pele/°C média	Sp3, Sp5, Sp7 Coxa/°C média	Sp4, Sp6, Sp8 Coxa/°C média	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Ambiente/°C
Início do teste (0 min)	32,2	30,3	30,3	23,4	23,2	23,4
Depois de 15 min assentado	32,5	30,6	31,0	30,3	29,9	23,9
Diferença de temperatura	0,3	0,3	0,7	6,9	6,7	0,5

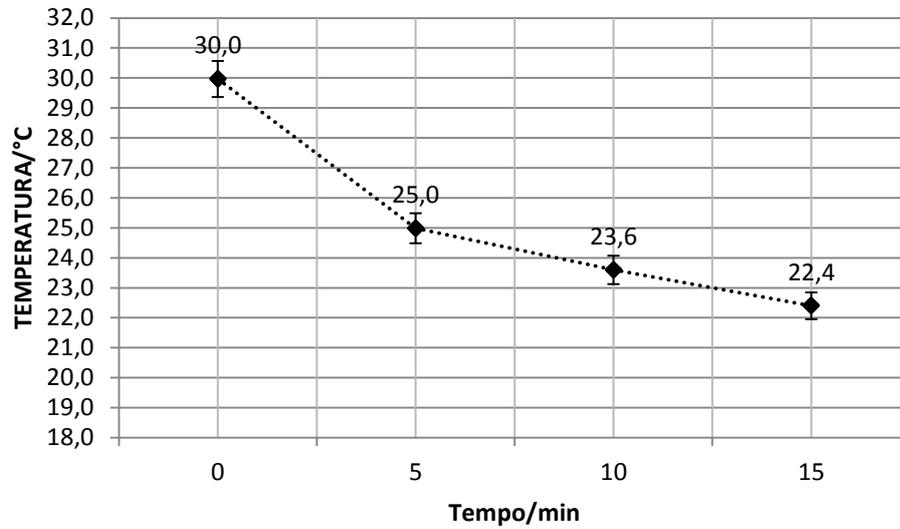
A Tabela 19 apresenta o resfriamento do assento da cadeira de courvin. Os valores mostram que após quinze minutos o assento apresentou temperatura menor que a inicial, ficando 0,9°C abaixo desta.

Tabela 19 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de courvin)

Tempo/min	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Parede/°C	Diferença de °C
0	30,3	29,9	23,9	0,0
5	25,0	25,0	24,1	0 min - 5 min = 5,3/4,9
10	23,6	23,6	23,6	5 min - 10 min = 1,4/1,4
15	22,5	22,3	23,1	10 min - 15 min = 1,1/1,3
Diferença de temperatura	7,8	7,6	0,8	15 min - Início teste = 0,9/0,9

O Gráfico 8 apresenta os valores médios de resfriamento do assento da cadeira de courvin. Percebe-se que a temperatura inicial de resfriamento foi uma das mais altas entre os assentos estudados. O resfriamento ocorreu de forma semelhante aos outros materiais, mas em maior intensidade, 5,0°C. Nos cinco minutos seguintes, o resfriamento foi de 1,4°C. Nos cinco minutos restantes, o resfriamento foi menor, mas ainda significativo, 1,2°C. O aumento na temperatura do assento em contato com o corpo do voluntário foi alto e o resfriamento também. Após quinze minutos, o assento ainda apresentou temperatura ligeiramente superior à inicial, ficando 0,9°C acima desta. Considerando a incerteza de medição pode-se observar que mesmo assim a temperatura foi superior.

Gráfico 8 – Temperatura de resfriamento da amostra 4 (cadeira de courvin)



4.4.5 Análise da amostra 5 – cadeira de fórmica

Na Figura 25, são apresentados os termogramas da amostra 5. Os valores das medições das temperaturas do assento e do corpo do voluntário são apresentados na Tabela 20. Após quinze minutos de contato, o assento também apresentou aumento de temperatura bastante elevado, 6,2°C. Os pontos nas pernas e na pele do voluntário ficaram estáveis e dentro dos limites de incerteza do equipamento.

Figura 25 – Termogramas da amostra 5 (cadeira de fórmica)

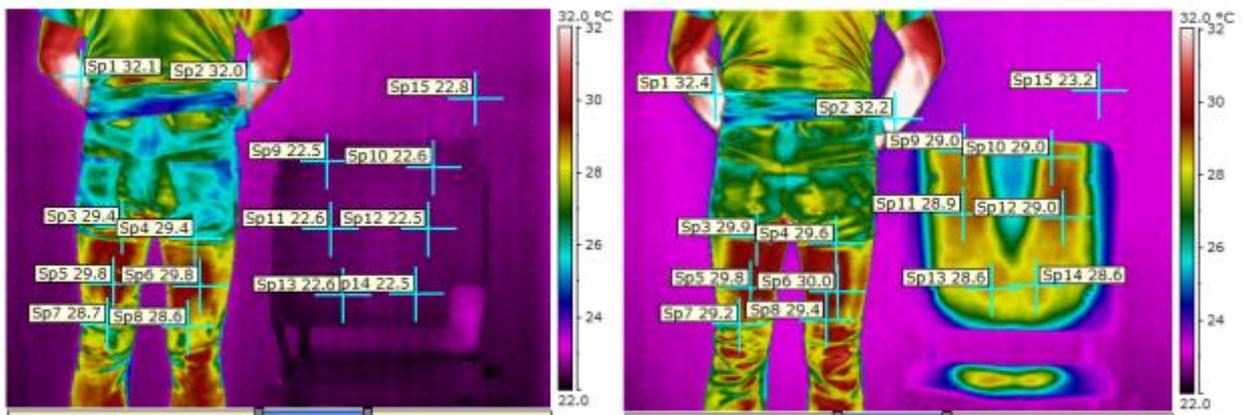


Tabela 20 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de fórmica)

Fase	Sp1, Sp2 Pele/°C média	Sp3, Sp5, Sp7 Coxa/°C média	Sp4, Sp6, Sp8 Coxa/°C média	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Ambiente/°C
Início do teste (0 min)	32,1	29,3	29,3	22,6	22,5	22,8
Depois de 15 min assentado	32,3	29,6	29,7	28,8	28,9	23,2
Diferença de temperatura	0,2	0,3	0,5	6,2	6,2	0,4

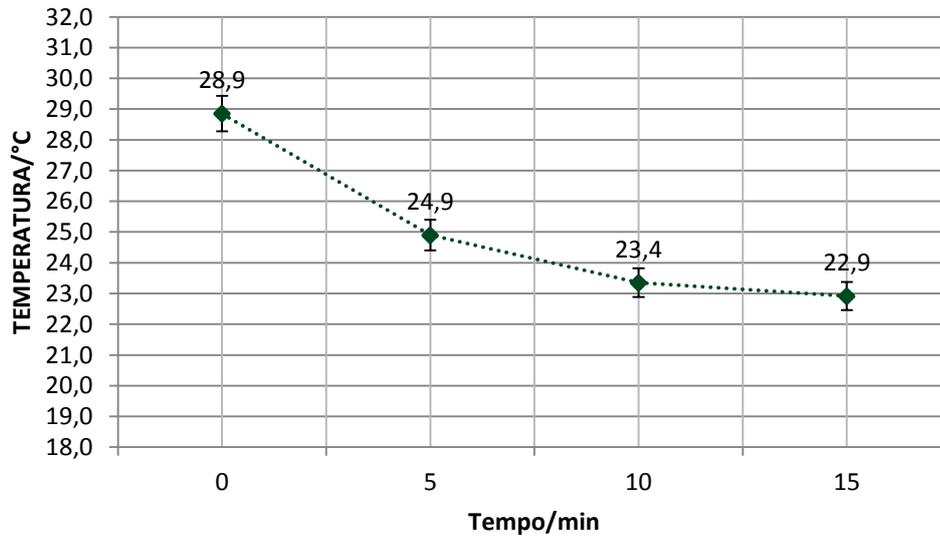
Os valores de resfriamento do assento da cadeira de fórmica são apresentados na Tabela 21. Após quinze minutos, o assento tinha sua temperatura praticamente estabilizada.

Tabela 21 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de fórmica)

Tempo/min	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Parede/°C	Diferença de °C
0	28,8	28,9	23,2	0,0
5	25,0	24,8	22,4	0 min - 5 min = 3,8/4,1
10	23,5	23,2	22,4	5 min - 10 min = 1,5/1,6
15	23,1	22,8	22,5	10 min - 15 min = 0,4/0,4
Diferença de temperatura	5,7	6,1	0,7	15 min - Início teste = 0,5/0,3

O Gráfico 9 mostra os valores médios de resfriamento. Percebe-se que a temperatura inicial foi bastante significativa. O resfriamento ocorreu de forma semelhante aos outros assentos, ou seja, mais acentuado nos cinco primeiros minutos (4,0°C); nos cinco minutos seguintes diminuiu 1,5°C e nos cinco minutos finais, considerando a incerteza de medição, ficou estabilizado (0,5°C).

Gráfico 9 – Temperatura de resfriamento da amostra 5 (cadeira de fórmica)



4.4.6 Análise da amostra 6 – cadeira de tecido

Na Figura 26, são apresentados os termogramas da amostra 6. Os valores de medição da temperatura são apresentados na Tabela 22. Após quinze minutos de contato do corpo do voluntário com o assento houve aumento de temperatura próximo ao do assento da cadeira de fórmica, 6,1 e 6,0°C. Os pontos nas coxas do voluntário apresentaram aumento da temperatura (0,8°C). Isso pode estar relacionado à estrutura do material (poliéster) e ao material de preenchimento da estrutura (espuma). Esses fatores podem ter contribuído para aquecer a pele do voluntário, uma vez que a temperatura ambiente permaneceu nos limites de incerteza do equipamento.

Figura 26 – Termogramas da amostra 6 (cadeira de tecido)

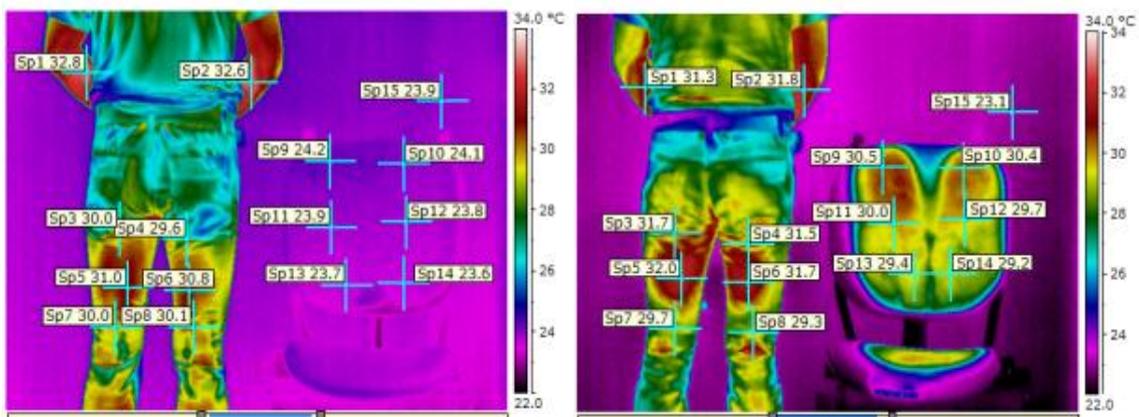


Tabela 22 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de tecido)

Fase	Sp1, Sp2 Pele/°C média	Sp3, Sp5, Sp7 Coxa/°C média	Sp4, Sp6, Sp8 Coxa/°C média	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Ambiente/°C
Início do teste (0 min)	32,7	30,3	30,2	23,9	23,8	23,9
Depois de 15 min assentado	31,6	31,1	30,8	30,0	29,8	23,1
Diferença de temperatura	1,1	0,8	0,6	6,1	6,0	-0,8

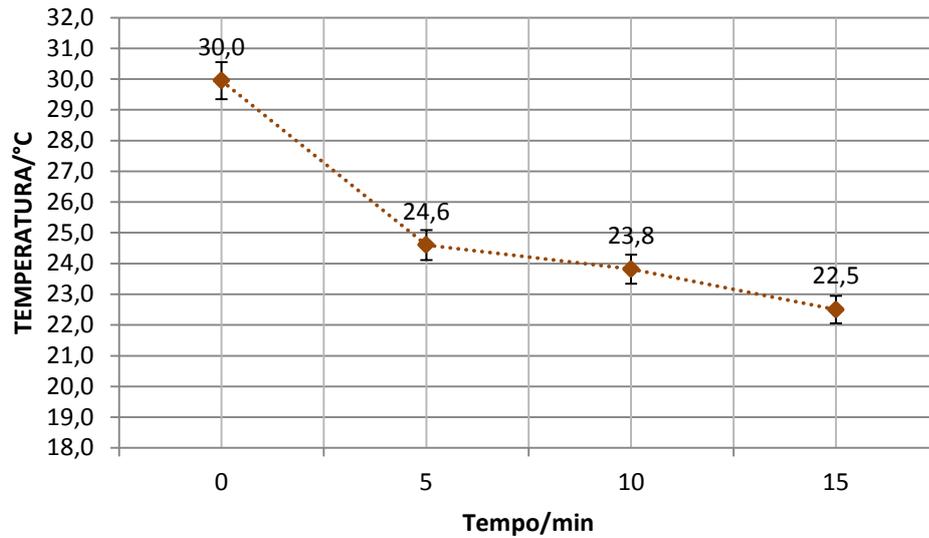
O resfriamento da amostra é apresentado na Tabela 23. Após quinze minutos, o assento apresentou temperatura abaixo da temperatura inicial, -1,4/-1,6°C. Contudo, o resfriamento variou pouco se comparado com os anteriores. Houve um resfriamento maior nos cinco primeiros minutos (5,3°C), declinando nos cinco minutos seguintes (0,8°C) e aumentando nos cinco minutos restantes (1,3°C). Contudo, essa variação pode estar relacionada com a incerteza de medição.

Tabela 23 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de tecido)

Tempo/min	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Parede/°C	Diferença de °C
0	30,0	29,8	23,1	0,0
5	24,7	24,5	23,5	0 min - 5 min = 5,3/5,3
10	23,9	23,8	23,3	5 min - 10 min = 0,8/0,7
15	22,5	22,5	23,0	10 min - 15 min = 1,4/1,3
Diferença de temperatura	7,5	7,3	0,1	15 min - Início teste = - 1,4/-1,6

O Gráfico 10 mostra os valores médios de resfriamento do assento da cadeira de tecido. Percebe-se que a temperatura inicial foi bastante significativa e bem próxima ao resfriamento da cadeira de courvin, na qual a temperatura inicial foi de 30,3°C e o arrefecimento, 7,4°C, após 15 min. O resfriamento ocorreu de forma semelhante aos outros assentos, ou seja, mais acentuado nos cinco primeiros minutos (5,4°C) e nos dez minutos seguintes, considerando a incerteza de medição, declinou dentro do esperado.

Gráfico 10 – Temperatura de resfriamento da amostra 6 (cadeira de tecido)



4.4.7 Análise da amostra 7 – cadeira de metal

Na Figura 27, são apresentados os termogramas da amostra 7. Os valores de medição da temperatura do assento e do corpo do voluntário são apresentados na Tabela 24. Após quinze minutos de contato, houve aumento de temperatura bastante semelhante ao assento da cadeira de plástico (5,9/5,8°C), contra 5,4/5,4°C da de metal. As temperaturas nos pontos das pernas e na pele do voluntário ficaram estáveis, assim como a temperatura ambiente.

Figura 27 – Termogramas da amostra 7 (cadeira de metal)

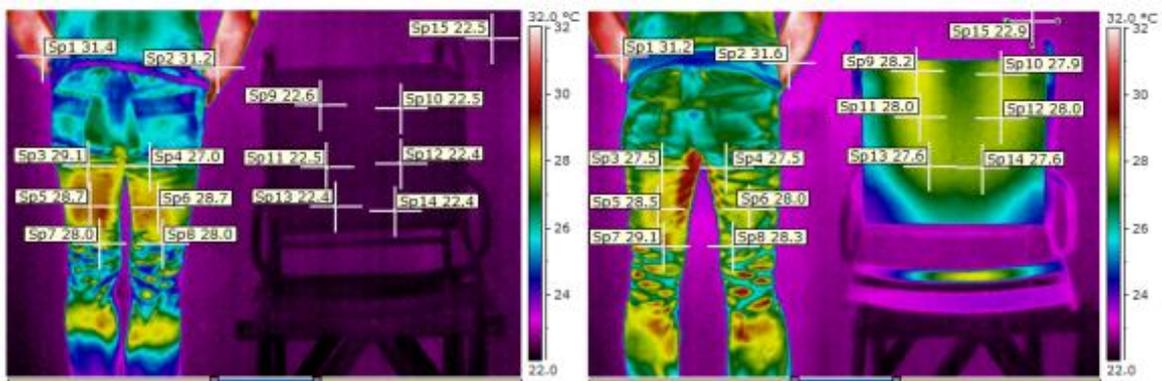


Tabela 24 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de metal)

Fase	Sp1, Sp2 Pele/°C média	Sp3, Sp5, Sp7 Coxa/°C média	Sp4, Sp6, Sp8 Coxa/°C média	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Ambiente/°C
Início do teste (0 min)	31,3	28,6	27,9	22,5	22,4	22,8
Depois de 15 min assentado	31,4	28,4	27,9	27,9	27,8	22,9
Diferença de temperatura	0,1	-0,2	0	5,4	5,4	0,1

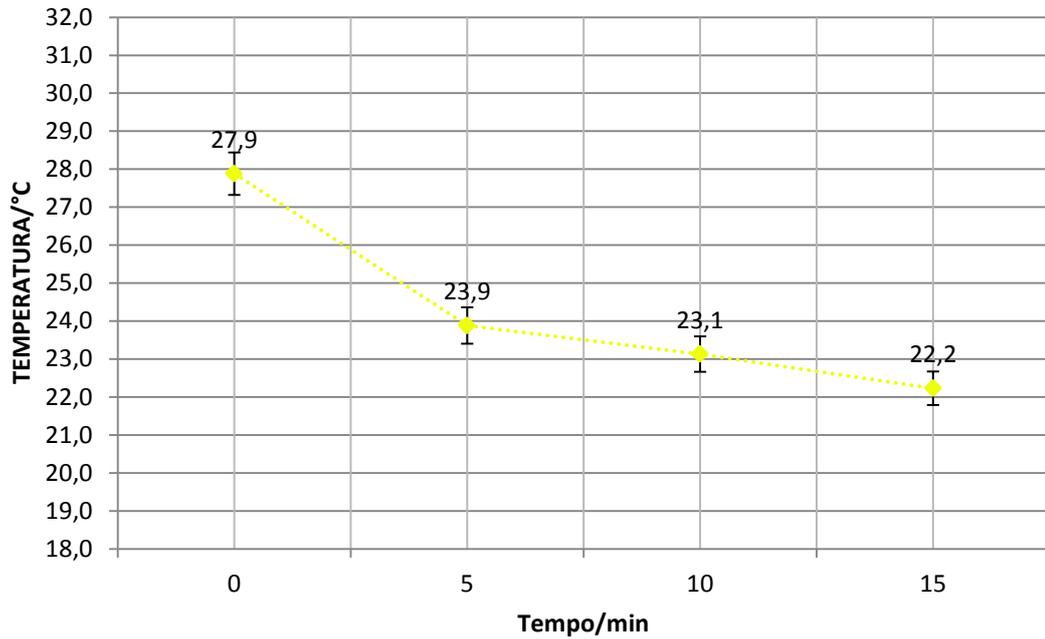
Os valores relativos ao resfriamento do assento são apresentados na Tabela 25. Após quinze minutos, a temperatura do assento está totalmente estabilizada com os valores da temperatura inicial, 22,5°C. O resfriamento também foi bastante semelhante ao do assento da cadeira de plástico 5,5/5,9°C, contra 5,7°C da de metal.

Tabela 25 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de metal)

Tempo/min	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Parede/°C	Diferença de °C
0	27,9	27,8	22,9	0,0
5	23,9	23,9	23,1	0 min - 5 min = 4,0/3,9
10	23,1	23,1	23	5 min - 10 min = 0,8/0,8
15	22,2	22,2	23,3	10 min - 15 min = 0,9/0,9
Diferença de temperatura	5,7	5,6	0,4	15 min - Início teste = -0,3/-0,2

O Gráfico 11 mostra os valores médios de resfriamento do assento da cadeira de metal. Percebe-se que a temperatura inicial de resfriamento foi de 27,9°C e que o resfriamento nos cinco primeiros minutos foi de 4,0°C, caindo rapidamente para 0,8°C nos cinco minutos seguintes e para 0,9°C nos cinco minutos finais. O resfriamento ocorreu de forma semelhante aos outros assentos. Ou seja, mais acentuado nos cinco primeiros minutos, caindo nos dez minutos seguintes, porém mais lentamente. Considerando a incerteza de medição, declinou dentro dos padrões de resfriamento estudado.

Gráfico 11 – Temperatura de resfriamento da amostra 7 (cadeira de metal)



4.4.8 Análise da amostra 8 – cadeira de MDF

Os resultados da amostra 8 são vistos na Figura 28 e na Tabela 26. Os dados mostram que a temperatura no assento da cadeira de MDF, após quinze minutos de contato com o corpo do voluntário, apresentou aumento de temperatura de 6,3/6,0°C. Percebe-se que os pontos nas pernas e na pele do voluntário ficaram estáveis, assim como a temperatura ambiente.

Figura 28 – Termogramas da amostra 8 (cadeira de MDF)

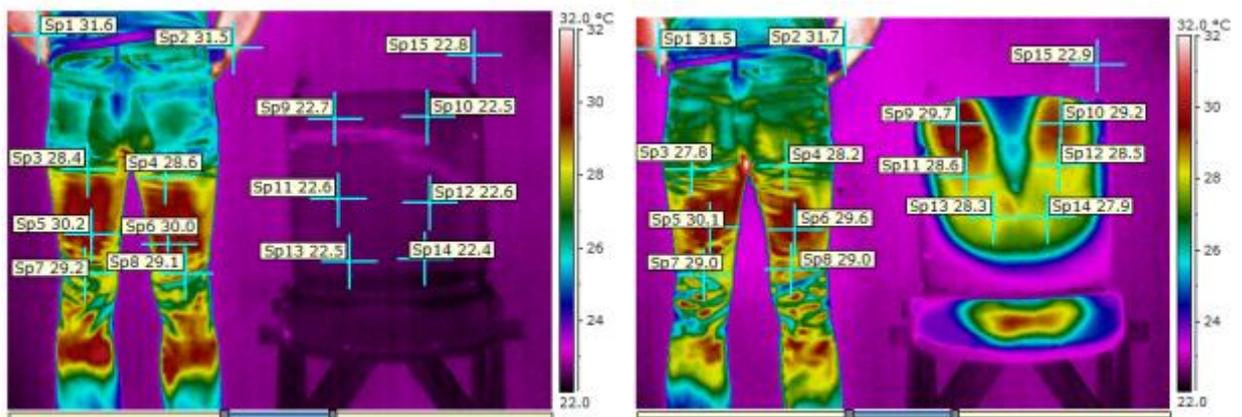


Tabela 26 – Variação da temperatura de aquecimento (cadeira de MDF)

Fase	Sp1, Sp2 Pele/°C média	Sp3, Sp5, Sp7 Coxa/°C média	Sp4, Sp6, Sp8 Coxa/°C média	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Ambiente/°C
Início do teste (0 min)	31,6	29,3	29,2	22,6	22,5	22,8
Depois de 15 min assentado	31,6	29,0	28,9	28,9	28,5	22,9
Diferença de temperatura	0	-0,3	-0,3	6,3	6,0	0,1

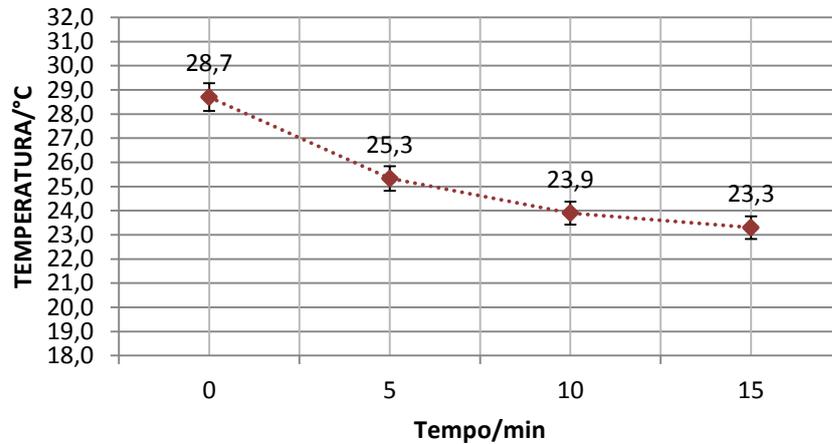
A Tabela 27 apresenta os valores relativos às medições do resfriamento do assento da cadeira de MDF. Após quinze minutos, o assento ainda apresentou uma temperatura 0,7/0,5°C acima da temperatura inicial, que foi de 22,6°C.

Tabela 27 – Variação da temperatura de resfriamento (cadeira de MDF)

Tempo/min	Sp9, Sp11, Sp13 Assento/°C média	Sp10, Sp12, Sp14 Assento/°C média	Sp 15 Parede/°C	Diferença de °C
0	28,9	28,5	22,9	0,0
5	25,5	25,2	22,7	0 min - 5 min = 3,4/3,3
10	24,0	23,8	22,6	5 min - 10 min = 1,5/1,4
15	23,3	23,3	22,8	10 min - 15 min = 0,7/0,5
Diferença de temperatura	5,6	5,2	0,1	15 min - Início teste = 0,7/0,8

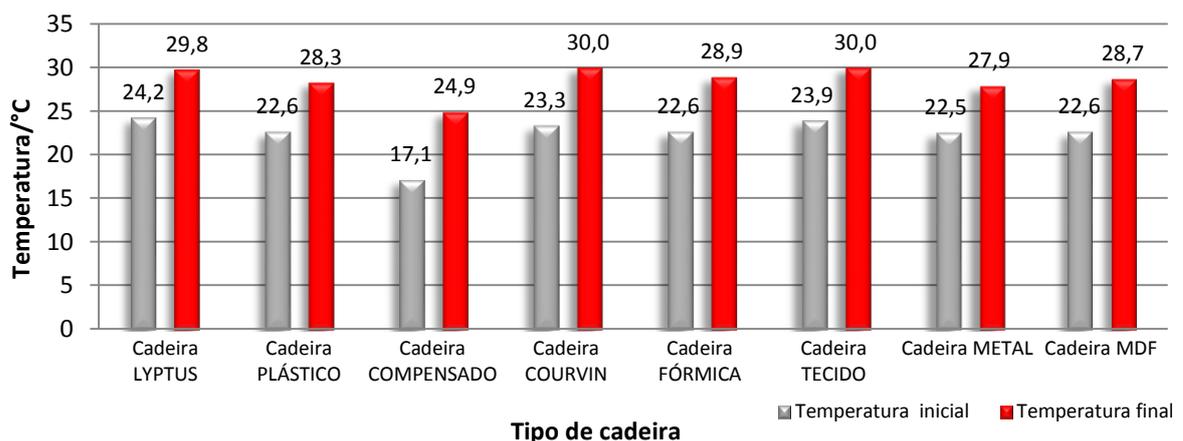
O Gráfico 12 apresenta os valores médios relativos ao resfriamento do assento. Nos cinco primeiros minutos, o assento apresentou resfriamento de 3,4/3,3°C. Nos cinco minutos seguintes, foi de 1,5/1,4°C. Nos cinco minutos restantes, o resfriamento foi menor, 0,7/0,5°C. Percebe-se que o aumento na temperatura dissipou como nos outros assentos, mas de forma mais distribuída. Contudo, o assento não estabilizou sua temperatura com a inicial, ficando 0,7/0,8°C acima desta.

Gráfico 12 – Temperatura de resfriamento da amostra 8 (cadeira de MDF)



Para melhor elucidar os resultados, foi construído o Gráfico 13, que apresenta os valores de temperatura dos assentos antes e após os ensaios. Percebe-se que os valores de temperatura inicial nas amostras das cadeiras de plástico, de fórmica, de metal e de MDF, levando-se em conta a incerteza da medição de $\pm 2\%$, foi praticamente a mesma: 22,6/22,6/22,5/22,6°C, respectivamente. Os assentos das de lyptus, de tecido e de courvin apresentaram temperatura ligeiramente maior, 24,2/23,9/23,3°C. No assento da cadeira de compensado, a temperatura foi a menor registrada entre os assentos, 17,1°C. Após o contato de quinze minutos com o corpo do voluntário, percebe-se que a temperatura mais alta foi registrada no assento da cadeira de courvin, lyptus e de tecido: 30,0/29,8/30,0°C, respectivamente. Os assentos das cadeiras de fórmica e de MDF apresentaram praticamente as mesmas temperaturas: 28,9/28,7°C. Os assentos das cadeiras de plástico e de metal ficaram na mesma faixa: 28,3/27,9°C. O assento da cadeira de compensado foi o que manteve a menor temperatura: 24,9°C.

Gráfico 13 – Temperatura inicial e final do material (após 15 minutos de teste)



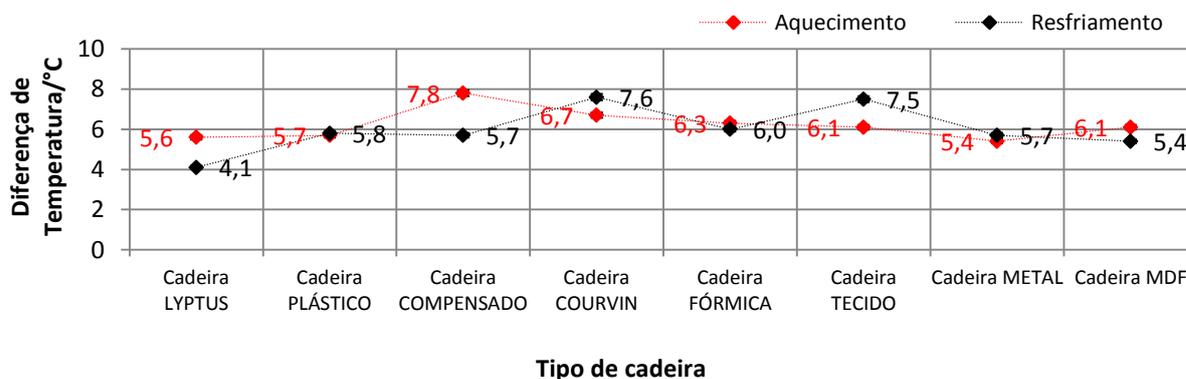
A Tabela 28 apresenta a transferência de calor do corpo do voluntário para as amostras dos assentos. Apesar de a temperatura inicial e a final ter sido a mais baixa no assento da cadeira de compensado, os valores mostram que ele foi o assento que mais absorveu o calor (7,8°C), seguido do assento de courvin (6,7°C). Os assentos das cadeiras de fórmica, de tecido e de MDF absorveram o calor na mesma intensidade: 6,3/6,1/6,1°C. Os assentos das cadeiras de lyptus, de plástico e de metal foram os que menos absorveram o calor: 5,6/5,7/5,4°C.

Tabela 28 – Diferença de temperatura entre temperatura inicial e final no assento

OBJETO ENSAIADO	°C
Amostra 1 - Cadeira LYPTUS	5,6
Amostra 2 - Cadeira PLÁSTICO	5,7
Amostra 3 - Cadeira COMPENSADO	7,8
Amostra 4 - Cadeira COURVIN	6,7
Amostra 5 - Cadeira FÓRMICA	6,3
Amostra 6 - Cadeira TECIDO	6,1
Amostra 7 - Cadeira METAL	5,4
Amostra 8 - Cadeira MDF	6,1

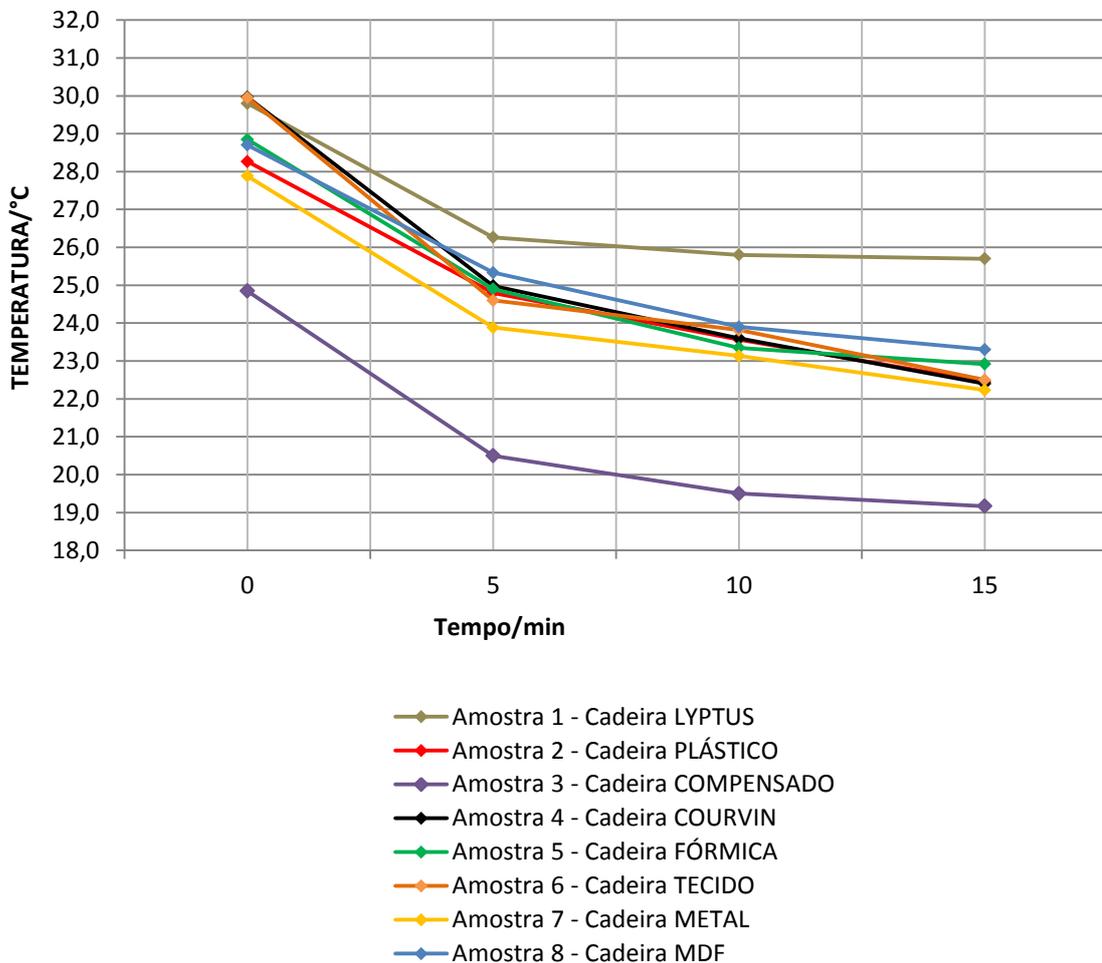
O Gráfico 14 apresenta os valores relativos ao resfriamento e ao aquecimento dos assentos, revelando que o tempo de quinze minutos foi suficiente para o resfriamento dos assentos das cadeiras de plástico, fórmica e metal. Os assentos das cadeiras de courvin e de tecido apresentaram comportamento semelhante entre si, porém bem diferente dos outros assentos: temperaturas mais baixas que a inicial. Já os assentos das cadeiras de lyptus e de compensado vão precisar de um tempo bem maior para o resfriamento (interessante ressaltar que o assento da cadeira de lyptus foi o segundo assento que menos absorveu calor (5,6°C) e que o assento da cadeira de compensado o que mais absorveu, 7,8°C).

Gráfico 14 – Diferença de temperatura do assento no aquecimento e resfriamento



O Gráfico 15 mostra o resumo do comportamento do resfriamento dos assentos ensaiados. Percebe-se que todas as amostras comportaram-se de forma semelhante, ou seja: resfriamento maior nos cinco primeiros minutos e nos dez minutos seguintes o resfriamento foi menor e gradual. Percebe-se uma variação significativa entre as temperaturas iniciais de resfriamento, mas ao final dos quinze minutos todos os assentos alcançaram temperaturas bastante próximas. As exceções são os assentos das cadeiras de lyptus e de compensado, que, apesar de terem comportamento de resfriamento semelhante aos outros assentos, apresentaram temperaturas bastante distintas. Acredita-se que isso se deve à natureza anisotrópica do material utilizado nos assentos dessas cadeiras.

Gráfico 15 – Resumo do comportamento do resfriamento dos materiais



5 CONCLUSÕES

Salientam-se os seguintes resultados obtidos neste trabalho:

- O tempo de 15 a 20 min é o suficiente para que a temperatura se estabilize na maioria dos assentos investigados.
- A temperatura do encosto e do assento se comporta de maneira semelhante, porém o assento é o melhor local para os ensaios, por ter maior área de contato.
- As temperaturas do tecido *jeans* e da pele do voluntário, durante todo o resfriamento, permaneceram semelhantes, sofrendo pequenas alterações somente no início.
- Após contato de quinze minutos com o corpo do voluntário, os assentos das cadeiras de courvin, lyptus e tecido foram os que apresentaram a temperatura mais elevada (30,0°C, em média). Os assentos das cadeiras de MDF e de fórmica apresentaram temperaturas semelhantes, porém menores (28,8°C, em média). Os assentos das cadeiras de plástico e de metal ficaram bem próximos entre si, em torno de 28,1°C, em média. A menor temperatura observada foi no assento da cadeira de compensado, 24,9°C.
- Na transferência de calor do corpo do voluntário para os assentos, o assento da cadeira de compensado foi o que absorveu mais calor (7,8 °C), o de courvin (6,7 °C), o de fórmica, o de tecido e o de MDF absorveram o calor na mesma intensidade (6,2°C, em média). Os assentos das cadeiras de lyptus, plástico e metal foram os que menos absorveram: 5,6°C, em média.
- Todos os assentos tiveram resfriamento maior nos cinco primeiros minutos e resfriamento menor e gradual nos dez minutos seguintes. Houve uma variação significativa no início, mas ao final dos quinze minutos todos entraram em equilíbrio térmico com o meio, exceto os assentos das cadeiras de lyptus e de compensado.

- A termografia pode contribuir de forma decisiva para o estudo do conforto térmico do assento de cadeiras, já que se mostrou capaz de identificar diferenças de temperatura em assentos fabricados com materiais diversos.

6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Os resultados obtidos indicam a necessidade de promover o estudo dos seguintes temas para trabalhos futuros:

- Estudo da relação entre a forma dos assentos e o conforto térmico.
- Estudo dos encaixes de madeira, para avaliar qual parte sofre maior esforço: se as partes machos ou as partes fêmeas.
- Uso da termografia, juntamente com outra técnica, para a criação de uma tabela de emissividade para os materiais mais utilizados pelo designer na fabricação de objetos.
- Estudo de uma metodologia própria para ensaios termográficos em objetos de design, fabricados em madeira.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Móveis escolares – Assentos e mesas para conjunto aluno de instituições educacionais – NBR 14006**. Rio de Janeiro: ABNT, maio de 2003. 26p.

BERGMILLER, K. H; SOUZA, P. L. P.; BRANDÃO, M. B. A. **Ensino fundamental: mobiliário escolar**. Brasília: FUNDESCOLA - MEC, 1999. 70 p. (Série Cadernos Técnicos I no 3)

BORGES, A. Maurício Azeredo: **A construção da identidade brasileira no mobiliário**. São Paulo: Instituto Lina Bo e P.M.Bardi, 1999.

BUCUR, V. **Nondestructive characterization and imaging of wood**. Berlim: Springer, 2003.

CALLISTER JR, W.D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 589p.

CATENA, A; CATENA, G. **Thermography a truly non invasive method to detect cavities and rot in trees (roots, trunk and branches) at a distance and from the ground**. International Symposium on Plant health in urban horticulture. Final circular Programme, in Berlin, Germany. Agust. 2003.

CATENA, A; CATENA, G. Overview of thermal imaging for tree assessment. **Arboricultural Journal** 2008, Vol. 30, p. 259-270.

CORTIZO, E. C. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: ênfase em edificações do patrimônio histórico**. Belo Horizonte, 2007. 178f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica. Belo Horizonte.

COUTO, H. A. **Ergonomia aplicada ao trabalho: manual técnico da máquina humana**. Belo Horizonte: Ergo Editora, 1995. v. 1. 353 p.

DINIS, B. **Termografia aplicada à física das construções**. Porto, 2009, 73f. Monografia (Especialização). Universidade Fernando Pessoa. Rever.

DINWOODIE, J.M. **Timber, Its nature and behavior**. 2 ed. New York: Spon Press, 2000. 272p.

DUL, J.; WEERDMEEESTER, B. **Ergonomia Prática**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004, 137 p.

ERGONOMIC seats? Most pupils squirm in a classroom classic. **The New York Times**, New York, 04 de Jan. 2013. Disponível em: < http://www.nytimes.com/2013/01/05/education/some-schools-buy-new-chairs-in-a-break-with-the-past.html?pagewanted=all&_r=1&>. Acesso: em 07 jan. 2013.

ESTRÁZULAS, J.A. et. Al. Avaliação biomecânica durante a postura sentada de escolares da cidade de Manaus - **Revista Digital** - Buenos Aires - Año 15 - N° 146 - Julio de 2010.

Disponível em: <<http://www.efdeportes.com/efd146/postura-sentada-de-escolares.htm>> . Acesso em 03 abr. 2013.

FIELL, C.; FIELL, P. **1000 chairs**. Köln: Taschen, 2001. 768p.

FLIR – MANUAL DO UTILIZADOR – Publ. N°. 1558561 Rev. A321- PORTUGUESE (PT) – March 2, 2009. Disponível em: <<http://www2.flirthermography.com>>. Acesso em:

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual do Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 243 p.

HOLMAN, J. P. **Transferência de Calor**. São Paulo: Mc Graw Hill; Kogakusha, 1983.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997. 465 p.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2008. 643 p.

KALAMEES, T. Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached house in Estonia. **Building and Environment** 42 (2007), p.2369-2377.

LAGÜELA, S.; ARMESTO, J; ARIAS, P; HERRÁEZ ,J. Automation of thermographic 3D modelling through image fusion and image matching techniques. **Automation in Construction** 27 (2012), p. 80-31.

LAMBERTS, R. et al. **Desempenho térmico das edificações**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/>>. Acesso em: 27 jul. 2012.

LEITE, P.G. **Curso de ensaios não destrutivos de metais**. Associação Brasileira de Metais. São Paulo, 1966.

LIMA, T. G. **Tecnologia da madeira**. Ubá: ed. SENAI, 1998. 154p.

LIU, Z; CASCIOLI, V.; HEUSCH, A. I.; MCCARTHY, P. W. Studying thermal characteristics of seating materials by recording temperature from 3positions at the seat-subject interface. - **Journal of Tissue Viability** (2011) 20, 73-80.

MEOLA,C; CARLOMAGNO, G. M.; SQUILLACE, A; GIORLEO, G. **Non-destructive control of industrial materials by means of lock-in thermography**. Meas. Sci. Technol. 13 (2002), p.1583–1590.

MEOLA C; SQUILLACE, A; VITIELLO, A. Artigo, **Non-destructive evaluation of aerospace materials with lock-in thermography**. Engineering Failure Analysis 13 (2006), p.380–388.

MORAES, A; FRISONI, B. C. **Ergodesign: Produtos e processos** – Rio de Janeiro: 2AB, 2001. 208 p.

NIEMZ, P; MANNES, D. **Non-destructive testing of wood and wood-based materials**. Journal of Cultural Heritage (2012), doi:10.1016/j.culher.2012.04.001.

OLIVEIRA, J. M. *Análise Ergonômica do Mobiliário Escolar Visando a Definição de Critérios*. Dissertação de Mestrado. Viçosa – Minas Gerais, 2006.

PADUELLI, M. C. **Estudo da técnica de ondas de tensão como instrumento de avaliação interna de árvores urbanas**. São Carlos, 2011. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de pós-graduação em engenharia urbana. São Carlos.

PEDRA, S. A. **Potencialidades da termografia infravermelha aplicada ao design do conforto térmico de alvenaria estrutural**. Belo Horizonte, 2011. 100f. Dissertação (Mestrado). Universidade do Estado de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Design e Sustentabilidade. Belo Horizonte.

PFEIL, W. **Estruturas de madeira**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 295p.

QINGJU, T; JUNYAN, L; YANG, W; HUI, L. **Subsurface Interfacial Defects of Metal Materials Testing Using Ultrasound Infrared Lock-in Thermography**. Procedia Enginnering 16(2011), p.499-505.

RANTALA, J. et al. **Lock-in thermography with mechanical loss angle heating at ultrasonic frequencies. Quantitative Infrared Thermography**. Eurotherm Series 50 Edizione ETS, 389-393, Pisa, 1997.

RUAS, A.C. **Conforto Térmico nos Ambientes de trabalho**. São Paulo: Fundacentro, 1999. 95p.

SAE-SIA, W.; WIPKE-TEVIS, D.; WILLIAMS, D. Elevated sacral skin temperature (Ts): a risk factor for pressure ulcer development in hospitalized neurologically impaired Thai patients. - **Applied Nursing Research** 18 (2005) 29– 35.

SALES, R.B.C. **Estudo de compostos de cimento Portland utilizando o ensaio de frequência ressonante forçada e termografia**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SHEPARD, S.M.; AHMED T.; LHOTA, J.R. Experimental considerations in vibrothermography. **Thermal Wave Imaging**, 845 Livernois, Ferndale, MI 48220. Orlando, FL, v.12-16, April 2004.

TAVARES, S.G. **Desenvolvimento de uma metodologia para aplicação de ensaios térmicos não destrutivos na avaliação da integridade de obras de arte**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

VERATTI, A.B. **Manual do curso de formação de termografista nível I do ITC Infrared Training Center**. Rev. 1.1 Publi. Nº 1560063_E-pt/BR – Cap. 1/14. São Paulo 2011.

VILLAS BÔAS, N. **Física 2.**. São Paulo: Saraiva, 2010. 175p.

http://www.contemp.com.br/downloads/pdf/Tabela_de_Emissividades.pdf - acesso em 03/01/2013

APÊNDICE

APÊNDICE A - ENSAIOS TERMOGRÁFICOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE TENSÃO NOS ENCAIXES DE UMA ESTRUTURA DE MADEIRA – MESA ESCOLAR, COLOCADA SOBRE SOLICITAÇÃO DINÂMICA

1 MATERIAIS E MÉTODOS

Para os ensaios, foi utilizada uma câmera infravermelha ThermaCAM P640, com uma escala de temperatura de -40°C a 500°C e precisão de 2° ou 2% nas leituras e um termopar para o controle da temperatura ambiente.

Os termogramas armazenados na câmera foram posteriormente analisados pelo software FLIRQuickReport 1.2.

Uma mesa escolar em madeira foi colocada em cima de um papelão, com o intuito de reduzir seu deslocamento durante o ensaio. O termógrafo foi posicionado a 1,5m de distância (FIG. 1). A mesa foi repetidamente forçada para “frente e para trás” por uma pessoa de 70 kg e termogramas foram registrados com intervalos de 1 minuto.

Figura 1 – Montagem da primeira etapa de ensaios.



2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com o objetivo de investigar se a termografia infravermelha é capaz de identificar pontos de tensão nos encaixes superiores e inferiores de uma mesa escolar de madeira, ensaios essencialmente qualitativos foram executados com movimentos repetidos “para frente e para

trás”, com o intuito de simular uma situação real de uso. Um termograma inicial foi registrado (FIG 2). O termovisor foi colocado a uma distância de 1,5m do objeto a ser analisado. Uma área circular foi definida para a tomada da temperatura.

A temperatura média inicial da área circular no termograma registra temperatura média de 22,75°C (22,5°C mínima e 23,0°C máxima).

Figura 2 – Termograma do início do ensaio com ciclos de 1 min do encaixe superior

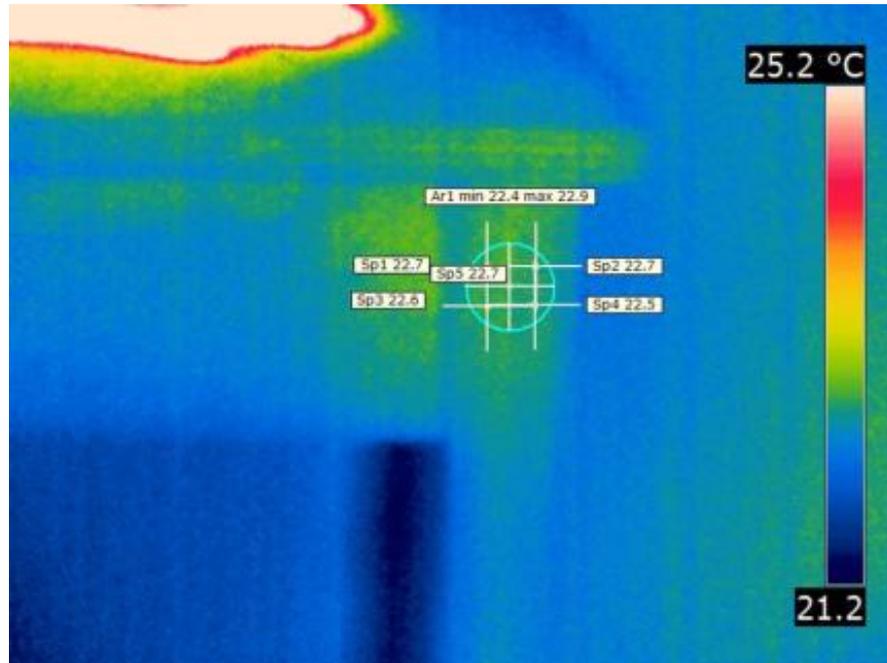


O ensaio se deu aplicando, a cada minuto, sessenta ciclos de esforço dinâmico. O primeiro termograma foi tirado com um minuto, tendo sido feito sessenta movimentos repetidos; o segundo, com dois minutos e 120 ciclos; o terceiro com três minutos e 180 ciclos; o quarto com quatro minutos e 240 ciclos e, o último, com cinco minutos e 300 ciclos, conforme mostra a Tabela 1. A média total de temperatura alcançada após estes ciclos foi de 22,7°C. Neste ensaio com ciclos de um minuto, conforme indicado na Tabela 1 e no termograma final (FIG. 3), não houve alteração da temperatura no encaixe.

Tabela 1 – Temperatura para ciclos de 1 min do encaixe superior

Ensaio com movimentos cíclicos de 1 min								
Tempo	Ar	Média	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Média Sp
0 min	22,5-23,0	22,8	22,8	22,8	22,8	22,7	23,0	22,8
1min	22,4-22,9	22,6	22,7	22,7	22,7	22,6	22,7	22,7
2min	22,4-22,9	22,6	21,6	22,6	22,7	22,5	22,7	22,4
3min	22,4-23,0	22,7	22,7	22,8	22,7	22,7	22,8	22,7
4min	22,3-23,0	22,6	22,7	22,6	22,6	22,6	22,7	22,6
5min	22,4-22,9	22,6	22,7	22,7	22,6	22,5	22,7	22,6
							Media total	22,7

Figura 3 – Termograma do final do ensaio com ciclos de 1min do encaixe superior



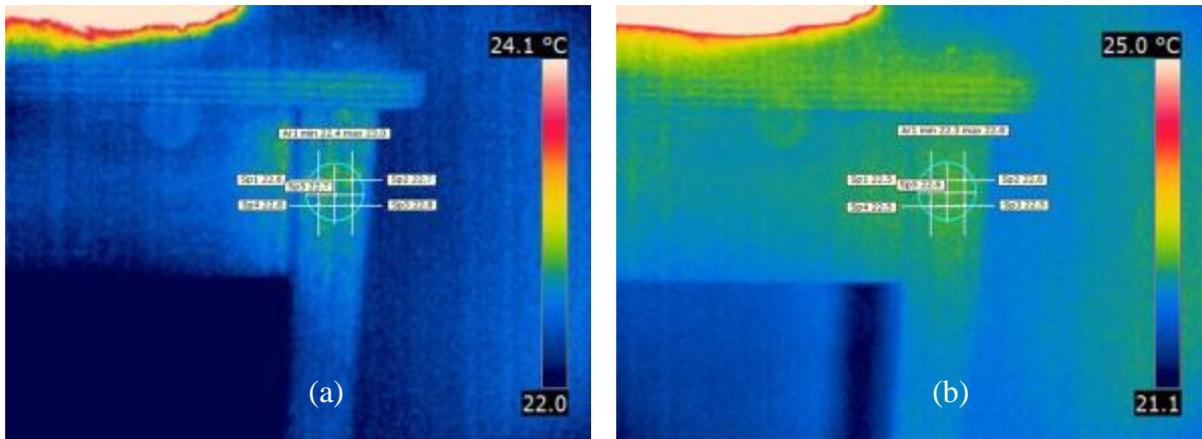
Com o intuito de analisar a relação do tempo do ciclo de esforço dinâmico com o aumento da temperatura, novos ensaios foram feitos aumentando-se os ciclos de esforços dinâmicos “para frente e para trás” para um minuto e meio, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Temperatura para ciclos de 1 min e meio do encaixe superior

Ensaio com movimentos ciclicos de 1,5 min								
Tempo	Ar	Média	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Média Sp
0 min	22,4-23,0	22,7	22,6	22,7	22,8	22,8	22,7	22,7
1min	22,5-23,1	22,8	22,8	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9
2min	22,4-23,0	22,7	22,7	22,7	22,7	22,5	22,6	22,6
3min	21,3-22,8	22,5	22,6	22,5	22,5	22,6	22,6	22,6
4min	22,3-22,8	22,5	22,5	22,4	22,6	22,5	22,4	22,5
5min	22,3-22,8	22,6	22,5	22,6	22,5	22,5	22,6	22,5
							Media total	22,6

Os termogramas de início de ensaio (FIG. 4a) e término de ensaio com 1,5 minuto (FIG. 4b) indicam que não houve aumento de temperatura nos encaixes superiores da mesa.

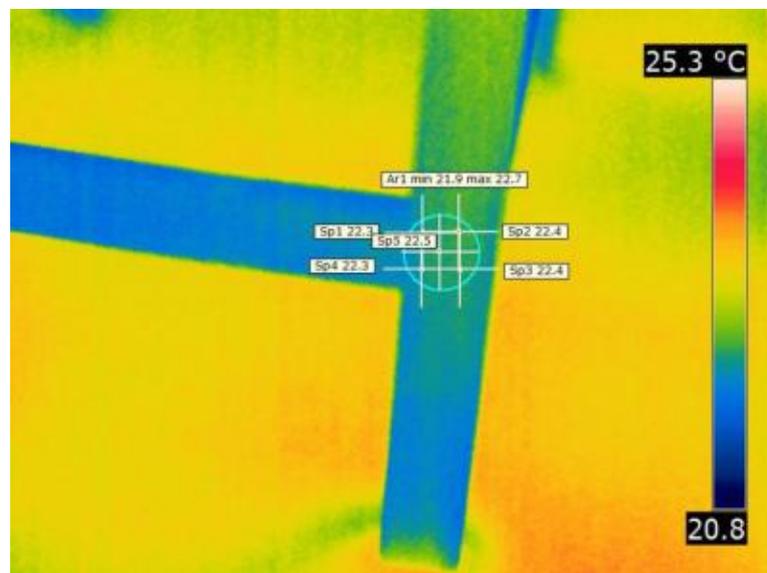
Figura 4a – Termograma do início do ensaio com ciclos de 1,5 min; 4b – Termograma do final do ensaio com ciclos de 1,5 min do encaixe superior.



Para a análise dos encaixes inferiores, a mesma metodologia utilizada nos encaixes superiores foi usada, porém para este ensaio optou-se por utilizar somente ciclos de um minuto.

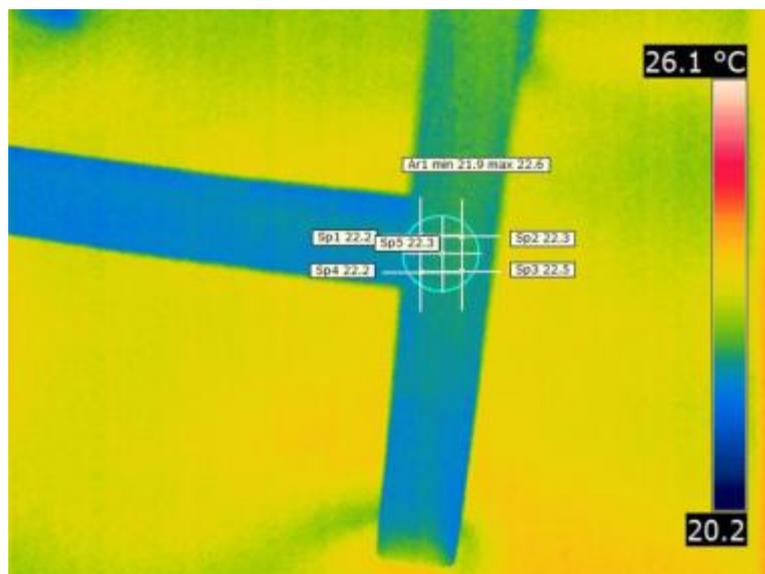
A temperatura média inicial da área circular no termograma (FIG. 5) registra temperatura média de 22,3°C (21,9°C mínima e 22,7°C máxima).

Figura 5 – Termograma do início do ensaio com ciclos de 1 min do encaixe inferior



Após o término do ensaio, a temperatura média indicada no termograma foi de 22,25°C (FIG. 6), confirmando, assim que, como nos encaixes superiores, não ocorreu aumento de temperatura na área dos encaixes após a aplicação de ciclos de esforço dinâmico.

Figura 6 – Termograma do término do ensaio com ciclos de 1 min do encaixe inferior



3 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nos ensaios para a identificação dos pontos de tensão em encaixes de estruturas de madeira colocadas sobre solicitações dinâmicas indicam que a geração de calor na madeira por este método é difícil de ser percebida pela termografia infravermelha.

É necessário criar uma metodologia própria para madeira em um laboratório preparado para os ensaios, bem como um protocolo para os ensaios.

Outra conclusão a que se chega com este trabalho é que a termografia infravermelha se mostra como um ensaio de fácil execução, porém a análise e a avaliação dos seus resultados requerem conhecimentos teóricos e experiência com as condições do problema investigado.

ANEXOS

ANEXO A – RESULTADO DO TESTE TUKEY-KRAMER PARA DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS PARA OS ASSENTOS DAS CADEIRAS ENSAIADAS UTILIZANDO O SOFTWARE STATPLUS 2009 PROFESSIONAL

Cadeira de compensado			
Teste <i>Tukey-Kramer</i> para diferença entre as médias			
Grupos	Diferença/°C	Nível <i>p</i>	Aceito?
0 vs 5	4,35	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 10	5,41	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 15	5,68	0,00	<i>Aceito</i>
5 vs 10	1,06	0,00	<i>Aceito</i>
5 vs 15	1,33	0,00	<i>Aceito</i>
10 vs 15	0,26	0,63	<i>Rejeitado</i>

Cadeira de courvin			
Teste <i>Tukey-Kramer</i> para diferença entre as médias			
Grupos	Diferença/°C	Nível <i>p</i>	Aceito?
0 vs 5	4,98	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 10	6,36	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 15	7,56	0,00	<i>Aceito</i>
5 vs 10	1,38	0,00	<i>Aceito</i>
5 vs 15	2,58	0,00	<i>Aceito</i>
10 vs 15	1,20	0,00	<i>Aceito</i>

Cadeira de lyptus			
Teste <i>Tukey-Kramer</i> para diferença entre as médias			
Grupos	Diferença/°C	Nível <i>p</i>	Aceito?
0 vs 5	3,53	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 10	4,00	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 15	4,16	0,00	<i>Aceito</i>
5 vs 10	0,46	0,42	<i>Rejeitado</i>
5 vs 15	0,63	0,18	<i>Rejeitado</i>
10 vs 15	0,16	0,94	<i>Rejeitado</i>

Cadeira de MDF			
Teste <i>Tukey-Kramer</i> para diferença entre as médias			
Grupos	Diferença/°C	Nível <i>p</i>	Aceito?
0 vs 5	3,36	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 10	4,80	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 15	5,40	0,00	<i>Aceito</i>
5 vs 10	1,43	0,00	<i>Aceito</i>
5 vs 15	2,03	0,00	<i>Aceito</i>
10 vs 15	0,60	0,11	<i>Rejeitado</i>

Cadeira de metal			
Teste <i>Tukey-Kramer</i> para diferença entre as médias			
Grupos	Diferença/°C	Nível <i>p</i>	Aceito?
0 vs 5	4,00	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 10	4,75	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 15	5,65	0,00	<i>Aceito</i>
5 vs 10	0,75	0,00	<i>Aceito</i>
5 vs 15	1,65	0,00	<i>Aceito</i>
10 vs 15	0,90	0,00	<i>Aceito</i>

Cadeira de plástico			
Teste <i>Tukey-Kramer</i> para diferença entre as médias			
Grupos	Diferença/°C	Nível <i>p</i>	Aceito?
0 vs 5	3,46	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 10	4,70	0,00	<i>Aceito</i>
0 vs 15	5,81	0,00	<i>Aceito</i>
5 vs 10	1,23	0,00	<i>Aceito</i>
5 vs 15	2,35	0,00	<i>Aceito</i>
10 vs 15	1,11	0,00	<i>Aceito</i>