

# AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO EM BANCOS AUTOMOTIVOS POR MEIO DA TERMOGRAFIA

ASSESSMENT OF THE CONDITIONS OF THERMAL COMFORT IN CAR SEATING  
THROUGH THERMOGRAPHY

Renan Di Pace Arruda<sup>1</sup>, João Manoel de Oliveira Neto<sup>2</sup>, Juscelino de Farias Maribondo<sup>3</sup>

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a sensação de conforto térmico em bancos automotivos por meio da Termografia. Os métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho foram a coleta das variáveis ambientais e pessoais, que ditam o índice *Predicted Mean Vote* (PMV) e *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD), a pesquisa subjetiva por meio de uma entrevista e o registro termográfico com a análise em *softwares* dedicados. Os resultados encontrados indicam que o tipo de revestimento dos bancos veiculares influencia na sensação do conforto térmico do indivíduo analisado, quando exposto ao contato direto do corpo humano com o material de revestimento. Pode-se concluir que o revestimento gera indícios de aquecimento prolongado em ocupantes veiculares e contribuem para o desconforto térmico humano.

**Palavras-chave:** conforto térmico; bancos automotivos; termografia; PMV; desconforto térmico.

## ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the sensation of thermal comfort in automotive seating through thermography. The methods used in the development of this work were the collection of environmental and personal variables that dictate the Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) indicators, the subjective research through an interview and the thermographic record analyzed by dedicated software. The results indicate that the coating type of vehicle seats influences the feeling of thermal comfort of the individual analyzed when exposed to direct contact of the human body with the coating material. It can be concluded that the coating generates indications of prolonged heating on vehicles occupants and contribute to human thermal discomfort.

**Keywords:** thermal comfort; automotive seats; thermography; PMV; thermal discomfort.

---

<sup>1</sup> Renan Di Pace Arruda – Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal de Campina Grande – renandipace@gmail.com

<sup>2</sup> João Manoel de Oliveira Neto – Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal de Campina Grande – joao\_engmec@outlook.com

<sup>3</sup> Prof. Dr. Juscelino de Farias Maribondo do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande – juscelinodefarias@oi.com.br

## INTRODUÇÃO

O deslocamento do ser humano sempre foi seu meio de sobrevivência, desde a conquista de novas terras até o avanço de sua civilização. Em sua jornada por novos horizontes, ele foi criando formas menos desgastantes para essa movimentação, com o auxílio da força animal, da roda entre outras formas.

A preocupação do homem com relação a seu bem estar e conforto é diretamente proporcional à evolução da humanidade (PEREIRA, 2013).

As pessoas passam cada vez mais tempo dentro de veículos, seja qual for a razão e utilização destes. Sabe-se que o seu uso transcendeu o uso por lazer, passando a ser de uma necessidade básica de quem reside nos grandes centros urbanos. Por outro lado, as condições ambientais tais como a poluição sonora, poluição do ar e os aspectos de segurança também levam as pessoas a cada vez mais desejarem um ambiente confortável dentro de seus veículos quando estão conduzindo-os (LIMA, 2006).

O conforto não passa apenas pelo campo ergonômico das posturas e formato do mobiliário, mas também no campo físico, como a atenuação dos ruídos externos com materiais absorvedores, diminuição da vibração com suspensões e amortecedores mais eficazes, o aperfeiçoamento da iluminação com o maior uso de vidros e uso de películas e também a otimização da sensação da temperatura para o motorista ou passageiro dos veículos.

Pereira (2013 *apud* Liu et al. 2011) diz que há evidências de que a temperatura na *interface* corpo-banco pode desempenhar papel importante na avaliação do conforto percebido pela pessoa sentada. O calor gerado pelo corpo humano fica retido no contato com o banco do automóvel e aumenta a temperatura da pele. Este fato pode causar uma interrupção sanguínea em determinada área, pelo aumento da pressão em um período prolongado. O conforto térmico é, portanto, um aspecto importante quando se trata de segurança veicular. Motoristas sonolentos, devido ao calor, ou com sinais de hipotermia, devido ao frio, estão mais sujeitos a sofrerem

ou a causarem acidentes (GOMES, 2005). A garantia de um clima confortável no ambiente é, assim, um pré-requisito necessário para a manutenção do bem estar e capacidade de produção total (PEREIRA, 2013).

A sensação de conforto térmico é algo ainda subjetivo, pois o organismo de cada pessoa define a sua satisfação em um dado ambiente. A capacidade de cada ser humano de se adaptar ao ambiente é em geral mostrada pela mudança de certos parâmetros ou situações que melhorem a percepção de frio ou calor. Mas, um fator que não pode ser modificado com facilidade é o revestimento do banco do automóvel. Logo, objetiva-se saber com este estudo se o material de revestimento é decisivo nesta sensação de conforto térmico do corpo humano em situações particulares. Buscou-se investigar qual a influência do material dos bancos automotivos na percepção do conforto térmico – com a avaliação da sensação térmica de usuários em relação ao contato do corpo com o banco, pela obtenção de parâmetros e uso da norma *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE 55, 2003) – e como a temperatura se distribui ao longo do tempo pela troca térmica entre o corpo humano e o banco – com o auxílio da Termografia Infravermelha.

## REVISÃO DA LITERATURA

Diz-se que os elementos que mais sofrem nos automóveis são os pneus, pois eles recebem todo o impacto das ruas e são os primeiros a reduzir os seus efeitos para o carro como um todo. Quando o estudo passa ter foco no ser humano, uma aproximação do conceito anterior pode se assemelhar ao conforto do banco, o tipo de revestimento, o tipo de enchimento, a forma de fabricação, a quantidade de molas, o tamanho, o *design* do acolchoado.

Diversos aspectos de conforto térmico em automóveis estão relacionados a questões da segurança veicular, como o desembaçamento dos vidros, o nível de atenção dos motoristas, o *stress* térmico e a qualidade do ar no interior do veículo (SANTOS; TRIBESS, 2005).

A relação das características da troca de calor entre o indivíduo e o banco, quando diz respeito ao conforto térmico do ocupante, é que o fluxo de calor local depende diretamente da pressão de contato na interface do usuário e o revestimento do banco. Dentre os revestimentos dos bancos automotivos, dois estão presentes em uma boa parcela dos carros do mercado: revestimento de napa e revestimento de tecido.

### Transferência de calor

As trocas térmicas entre os corpos dividem-se em dois tipos: trocas secas e trocas úmidas. A troca seca resulta da transferência de calor entre dois ou mais corpos quando entre eles existe um diferencial de temperatura, mas sem a mudança de fase, em que o corpo de maior temperatura cede calor para o corpo de menor temperatura. A troca úmida é resultante da transferência de calor quando existe um diferencial de temperatura, mas os corpos estão capazes de realizar mudanças de estado.

Uma parte do calor gerado pelo organismo para manter constante a sua temperatura interna é eliminado pelas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, através de evaporação do suor, convecção, radiação e condução (PINTO, 2011).

Diante da discussão sobre as trocas térmicas, sabe-se que a Condução Térmica é dada pela energia transferida por um gradiente de temperatura, por meio do movimento aleatório dos átomos; por Convecção Térmica entende-se a troca de calor entre dois corpos pela ação de um fluido em movimento e por Radiação Térmica compreende-se a energia emitida por um corpo quando sua temperatura estiver acima de zero Kelvin e, diferentemente das anteriores, a Radiação não necessita de um meio material para ocorrer (INCROPERA; DEWITT, 2002).

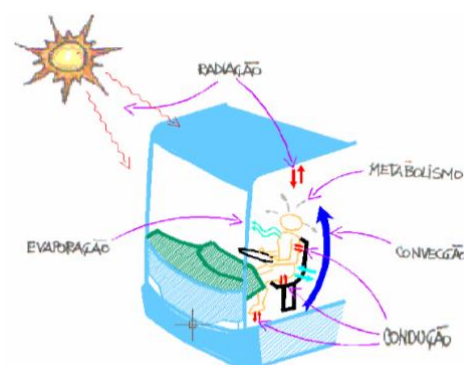
Na Evaporação, o organismo humano tende a intensificar a atividade das glândulas sudoríparas e conseguir perder o calor com o ambiente. Com a excreção de suor pela pele, o ar ambiente é capaz de retirar calor do corpo através da convecção.

Pinto (2011 *apud* LAMBERTS et al., 2011) afirma que o primeiro mecanismo termorregulador a ser disparado é a vasodilatação periférica, que aumenta a temperatura da pele, incrementando perdas de calor por convecção e por radiação. Com isso, a transpiração ocorre para melhorar a sensação térmica.

A radiação solar tem influência significativa sobre o interior do veículo devido à área envidraçada existente neste, que é necessária à sua dirigibilidade (GOEDERT, 2006).

Em um ambiente automotivo, as trocas térmicas apresentadas anteriormente surgem simultaneamente e com o passar do tempo aceleram ou retardam o fluxo de calor, conforme Figura 1, na qual se pode ver como ocorrem as trocas térmicas em um motorista de um automóvel.

**Figura 1 - Trocas térmicas em ocupantes veiculares**



Fonte: Goedert (2006).

### Conforto Térmico

Segundo Pinto (2011), o conforto térmico é resultado de uma combinação e/ou adaptação dos parâmetros tanto do ambiente quanto do próprio corpo humano. O conforto térmico depende de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos são aqueles que determinam as trocas de calor do corpo com o meio; já os fatores fisiológicos referem-se às alterações na resposta fisiológica do organismo, resultantes da exposição contínua à determinada condição térmica; e, finalmente, os fatores psicológicos são os que se relacionam às diferenças na percepção e na

resposta aos estímulos sensoriais, frutos da experiência passada e da expectativa do indivíduo (LAMBERTS et al., 2011).

O conforto térmico é definido como a sensação de bem estar experimentada por uma pessoa como resultado de uma combinação satisfatória da temperatura radiante média, umidade relativa do ar, temperatura do ambiente, velocidade relativa do ar, com o metabolismo e a vestimenta usada (RUAS, 1999).

### Variáveis do Conforto Térmico

A sensação térmica de um ser humano está relacionada ao equilíbrio térmico de seu corpo como um todo. Esse equilíbrio é influenciado pela atividade física e vestuário, bem como pelos parâmetros ambientais: Temperatura do Ar, Temperatura Radiante Média, Velocidade Relativa do Ar e Umidade Relativa do Ar (ISO 7730, 2005).

A Temperatura do Ar é a sensação percebida em torno do indivíduo, a Temperatura Radiante Média é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor por radiação é igual ao ambiente real não uniforme.

Velocidade Relativa do Ar é a percepção do movimento do ar em torno do corpo e a Umidade Relativa do Ar é a razão entre a quantidade de vapor d'água em um ambiente pela sua capacidade máxima de vapor d'água possível.

No se se refere ao ser humano, para cada indivíduo há um Metabolismo, conforme a atividade que este está executando. Por fim, a Vestimenta influencia na capacidade de troca térmica da pele humana com o ambiente, chamada resistência térmica.

As variáveis são obtidas separadamente e quando unidas ditam a sensação de conforto térmico do ser humano.

### PMV/PPD

O índice de conforto térmico analisado nesta pesquisa é o *Predicted Mean Vote* (PMV), desenvolvido por Fanger (1972) e adotado pela ISO 7730 (2005). Esse índice pode ser determinado quando o metabolismo e a vestimenta são conhecidos e os parâmetros

ambientais (a temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar) são medidos. A relação do PMV e a Sensação Térmica varia de 'Muito Frio' a 'Muito Quente' com votos de -3 +3.

O valor do índice PMV é obtido – sabendo-se todos os valores das seis variáveis apresentadas anteriormente, as ambientais e as pessoais – pela equação 1.

O *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD) é um índice que estabelece uma previsão quantitativa do percentual de insatisfação térmica de pessoas que se sentem muito frias ou muito quentes. O índice PPD pode ser obtido com o auxílio do PMV calculado com base na equação 2.

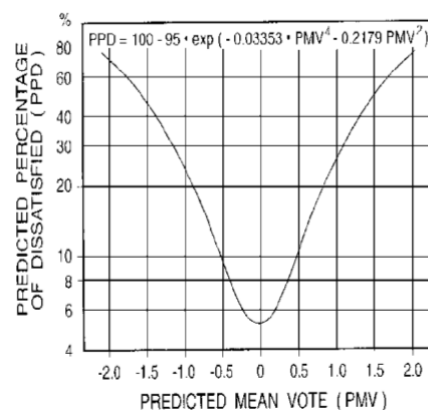
$$PMV = (0,303e^{(-0,036M)} + 0,028) \cdot L \quad (1)$$

$$PPD = 100 - 95e^{-(0,03353PMV^4 + 0,2179PMV^2)} \quad (2)$$

Onde M é o Metabolismo do indivíduo e L é a carga térmica do ambiente analisado.

A relação gráfica entre os dois índices pode ser vista conforme Figura 2, na qual é observado que a nulidade da insatisfação é impossível, quando se trata do conforto térmico de seres humanos.

Figura 2 – PMV/PPD



Fonte: ASHRAE 55 (2003)

### Termografia Infravermelha

A Termografia Infravermelha é uma técnica de ensaios não-destrutivos que é amplamente utilizada para diagnósticos em

automobilismo e em várias áreas, incluindo materiais compósitos (FERNANDES; ZHANG; MALDAGUE, 2015).

O uso da Termografia Infravermelha como técnica não-destrutiva remonta ao início do século passado, mas, a princípio, pareceu bastante qualitativo e não competitivo em relação a outros métodos. Foi com a introdução dos fundamentos de Transferência de Calor na interpretação de imagens termográficas que a técnica recebeu atenção renovada, levando, atualmente, a uso de técnicas termográficas (MEOLA et al., 2016).

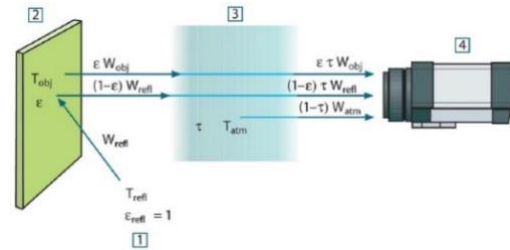
Pereira (2013) comenta que a Termografia, mesmo sendo considerada um método emergente no campo dos ensaios não destrutivos, apresenta-se como técnica promissora para a medição da temperatura superficial dos materiais a partir da radiação infravermelha emitida por eles.

A Termografia é uma técnica de inspeção não destrutiva, que permite retratar um perfil térmico de um corpo. É realizada com a utilização de termo visores, que permite medir à distância a temperatura de um ponto ou componente de um sistema para análise de tendências. Atualmente a Termografia é o método mais avançado de teste não destrutivo existente (MERLO; GUERRA, 2014).

Atualmente a técnica pode ser aplicada em diversas áreas, a saber: na indústria automobilística (com desenvolvimento de freios), construção civil (em inspeção de estruturas e à procura de problemas de vazamentos), na medicina (com a detecção precoce da predisposição para o câncer, possíveis inflamações, dores musculares entre outras) (SILVA, 2015).

Ao ser incidido pela radiação proveniente do Sol, os corpos são capazes de absorver a luz solar e assim emitem a radiação em ondas eletromagnéticas de comprimentos diferentes. A incidência solar é dividida em três parcelas: a refletida, a absorvida e a transmitida; a câmera termográfica é capaz de capturar a parcela transmitida pelo corpo, desde que sejam seguidos cuidados no registro dos termogramas. Esta observação pode ser vista conforme a Figura 3.

**Figura 3 – Esquema de medições de termogramas. (1) Vizinhança; (2) Objeto; (3) Atmosfera; (4) Câmera.**



Fonte: Nascimento; Vilarinho; Fernandes, 2016.

## METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida para avaliar a sensação de conforto térmico em um ambiente veicular, na cidade de Campina Grande – PB. A coleta dos dados foi realizada no mês de setembro do ano de 2016. O ambiente do local de estudo foi o Laboratório de Ergonomia e Engenharia de Segurança do Trabalho (LEEST) da Universidade Federal de Campina Grande – PB.

A melhor e mais confiável maneira de se avaliar as condições de conforto térmico em um veículo ainda é a de se utilizar a resposta subjetiva de grupos de pessoas submetidas às condições térmicas no interior desse veículo e está a que será utilizada no presente trabalho (NILSSON, 2004).

Foram dispostos no laboratório bancos automotivos com os dois tipos de revestimentos que se quis analisar: revestimento de napa e revestimento de tecido.

Para a medição da temperatura, velocidade e umidade relativa do ar utilizou-se um instrumento multifuncional, modelo AMI 300, da marca KIMO. Para a medição da temperatura radiante média foi utilizado um termômetro de globo digital, modelo TGD-200, da marca INSTRUTHERM. Para a obtenção do teste quantitativo – os termogramas –, foi utilizada uma câmera termográfica, modelo E-60, da marca FLIR. Os materiais podem ser vistos conforme a Figura 4.

**Figura 4 – Materiais utilizados na pesquisa. (1) Banco de Napa; (2) Banco de Tecido; (3) Câmera Termográfica FLIR E-60; (4) Multifuncional AMI 300; (5) Termômetro digital TGD-200; (6) Laboratório de testes LEEST.**



Fonte: acervo dos autores.

Variáveis importantes no estudo são denominadas psicofisiológicas, como idade, gênero, altura e peso. Essas variáveis influenciam principalmente na taxa metabólica dos indivíduos analisados e fazem com que a percepção de calor e a vasodilatação acelere ou retarde.

#### **Medição das Variáveis Ambientais:**

As medições das variáveis ambientais foram feitas *in loco* com os instrumentos apropriados. Para a medição da umidade relativa do ar, velocidade relativa do ar e temperatura do ar foi utilizado o aparelho AMI – 300. A medição da temperatura radiante média foi realizada utilizando o aparelho TGD-200. As variáveis pessoais foram mantidas constantes para que o nível de conforto não dependesse das mudanças causadas por seus valores. O metabolismo foi fixado para um ser humano sentado e reclinado e a vestimenta para roupas comuns em regiões tropicais (camisa de algodão, calça jeans, sapato fechado e roupas íntimas). A análise dos resultados dos índices PMV e PPD foi realizada no *software CBE Thermal Comfort Tools*.

**Entrevista:** A entrevista corresponde às perguntas inerentes à percepção da

sensação térmica a qual o usuário está sentindo no exato momento. Em um segundo momento, o usuário respondeu em qual tempo está, decorrida a sua permanência no banco automotivo, e assim iniciam-se as perguntas de sensibilidade ao calor (FERREIRA, 2008). As perguntas têm como resposta uma forma mais didática com letras e cores, correspondendo à percepção do ser humano. A análise dos resultados da entrevista dos participantes foi elaborada por meio do *software Excel*.

**Registro Termográfico:** Quanto ao registro termográfico, a câmera FLIR E-60 consegue focar a partir dos 40 centímetros, mas o enquadramento não foi suficiente. Assim, foi determinado o valor de 80 centímetros para unir o foco ao enquadramento. Esta distância foi colocada pois apresenta um bom enquadramento das partes analisadas. Também foi definido o valor da emissividade para os revestimentos do banco, com .80 para o tecido e .98 para a napa. A aquisição dos termogramas foi feita antes do usuário sentar no banco, decorridos 5, 10 e 15 minutos (aquecimento). Após este tempo, foi realizada uma nova aquisição de termogramas nos tempos de 20, 25 e 30 minutos (resfriamento). Os objetos em questão foram o corpo humano (parte posterior) e o banco automotivo. Após passados os tempos definidos, o ocupante foi colocado em pé ao lado do banco e registrado o termograma com a distância fixa. A análise dos termogramas foi feita no *software Flir Tools*.

## **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **Resultados Qualitativos**

#### **Medição das variáveis**

Os valores registrados das variáveis podem ser vistos conforme Tabela 1, em que a variável ambiental que se apresentou constante foi a Velocidade Relativa do Ar (0,15 m/s). A variável da Umidade Relativa do Ar foi medida colocando-se a sonda dentro do ambiente controlado termicamente e aquisitada a informação da UR.

A Temperatura do Ar foi determinada colocando o banco a uma temperatura constante. A Temperatura Radiante Média foi calculada com o auxílio do instrumento que afere a temperatura de globo negro.

Com base nos valores encontrados nas normas, foi definido como sendo 1,5 met a taxa metabólica quando o usuário está exercendo a condução do veículo em questão. O valor refere-se a 87,7 W/m<sup>2</sup>.

Em relação ao valor esperado da resistência térmica do vestuário foi calculado o valor de 0,46 clo que corresponde a 0,07 m<sup>2</sup>/K.W. Esta variável foi calculada pela soma do valor da resistência térmica dos itens de roupas que foram determinados para os participantes da pesquisa. Todos eles deveriam estar vestidos com roupa íntima, camisa de manga curta feita de algodão, calça jeans folgada, meia ¾ e tênis.

**Tabela 1 – Valores das variáveis ambientais e pessoais**

|         | VARIÁVEIS AMBIENTAIS E PESSOAIS |       |      |        |       |      |
|---------|---------------------------------|-------|------|--------|-------|------|
|         | NAPA                            |       |      | TECIDO |       |      |
|         | A                               | B     | C    | A      | B     | C    |
| Vrel    | 0,15                            | 0,15  | 0,15 | 0,15   | 0,15  | 0,15 |
| T do ar | 22                              | 21    | 22   | 22,1   | 23    | 23   |
| Trad    | 18,1                            | 22,13 | 18,9 | 16,7   | 18,45 | 18,1 |
| Urel    | 49                              | 49    | 46   | 49,6   | 47,7  | 48   |
| Met     | 1,5                             | 1,5   | 1,5  | 1,5    | 1,5   | 1,5  |
| Vest    | 0,46                            | 0,46  | 0,46 | 0,46   | 0,46  | 0,46 |

Fonte: elaborada pelos autores.

Na Tabela 2 pode-se ver os valores encontrados na coleta de dados e o PMV e o PPD dos participantes A, B e C do banco de napa, respectivamente. É mostrada a sensação de conforto que cada participante teve e se encontram entre: Levemente fria a Confortável.

Respectivamente aos participantes A, B e C do banco de tecido, é notada a sensação

térmica de Levemente fria, sendo resultado do tipo de revestimento a que eles foram expostos a permanecer durante o teste. A obtenção destes índices, neste trabalho, foi conseguida por meio de *softwares on-line* que são dedicados a estas análises. Foram introduzidos os valores encontrados no *software CBE Thermal Comfort Tool*.

**Tabela 2 – PMV e PPD dos participantes A B e C do banco de revestimento de Napa e Tecido**

| REVESTIMENTO | PARTICIPANTE | PMV   | PPD | SENSAÇÃO       |
|--------------|--------------|-------|-----|----------------|
| NAPA         | A            | -0,70 | 15% | Levemente Frio |
|              | B            | -0,44 | 9%  | Confortável    |
|              | C            | -0,64 | 13% | Levemente Frio |
| TECIDO       | A            | -0,83 | 20% | Levemente Frio |
|              | B            | -0,55 | 11% | Levemente Frio |
|              | C            | -0,58 | 12% | Levemente Frio |

Fonte: adaptado de Hoyt et al., 2016.

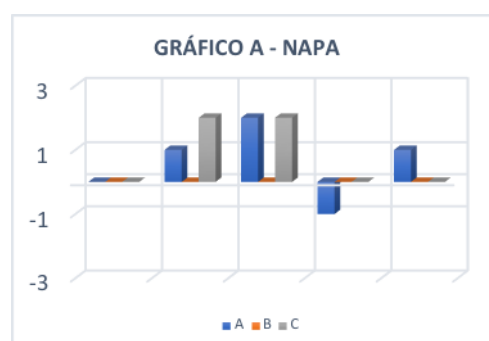
### Entrevista

Foi realizada uma pesquisa adaptada de Ferreira (2008). A delimitação dos entrevistados foi posta como sendo do gênero masculino, com idade de 20 a 59 anos (idade adulta) e índice de massa corpórea de 20 a 29,9 (sobrepeso), que foi calculado pela massa em razão da altura ao quadrado.

As perguntas da entrevista delimitaram-se à Temperatura do Ambiente, Temperatura do Banco, Sensação Pessoal da Temperatura, Sensação Pessoal do Ar e Velocidade do Ar.

O Gráfico 1 mostra as respostas dos participantes às cinco perguntas quando submetidos aos testes nos diferentes tipos de revestimentos dos bancos.

**Gráfico 1 – Voto térmico dos participantes expostos ao revestimento de napa e tecido.**





Fonte: elaborado pelos autores.

No Gráfico A, observa-se que o voto 2 foi mais percebido nas respostas dos participantes, o que resulta da capacidade do revestimento de napa em reter o calor que é gerado pelo organismo humano e fazer aquecer o contato do corpo com o banco.

No Gráfico B, observa-se que o voto 1 é mais constante nas respostas. Este fato se deve ao tecido ter a possibilidade de dissipar com maior facilidade o calor, fazendo com que a sensação térmica de calor seja amenizada ao voto de levemente quente.

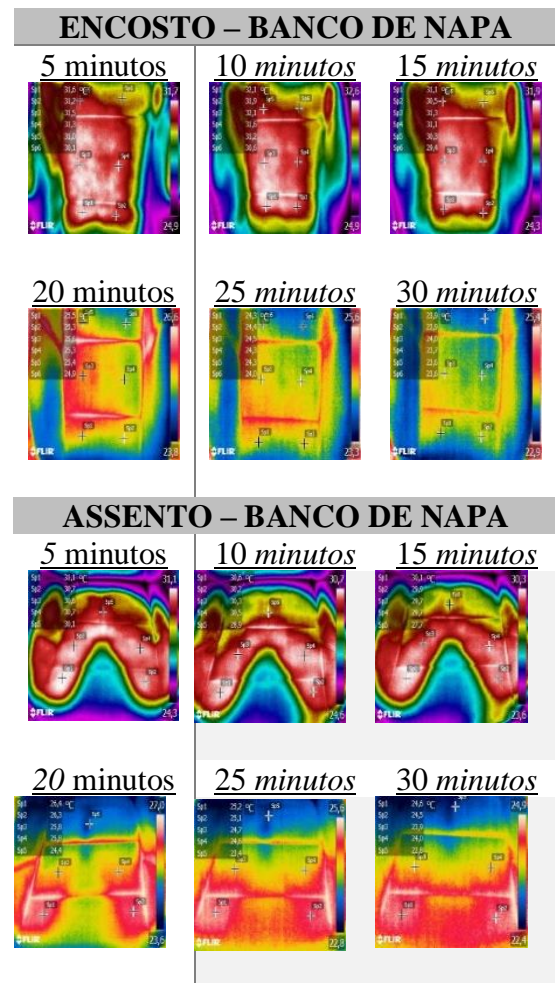
### Resultados Quantitativos

Em um primeiro momento foram registrados os termogramas do participante antes de começar o teste e ao final de 30 minutos. O banco de napa foi registrado termograficamente, o que é observado na Tabela 3, na qual se observa como a temperatura se distribuiu no decorrer do experimento.

Foram registradas as regiões das costas e da parte posterior das coxas dos participantes para se ter uma forma comparativa entre a distribuição da temperatura entre o ser humano (que se define homotérmico) e o banco automotivo analisado.

Observa-se que na fase do aquecimento (15 minutos iniciais), a temperatura dos pontos em destaque chegou à faixa dos 31°C. Tendo em vista que o ser humano é conduzido a estar com a temperatura corporal de 37°C e o banco se encontrava em temperatura média de 25°C, chega-se a um equilíbrio térmico nesta fase de aquecimento.

Tabela 3 – Imagens termográficas do encosto e assento do banco de napa.



Fonte: acervo dos autores.

De forma semelhante ao encosto, o assento também foi fotografado e pode-se ver que na fase de aquecimento teve sua temperatura próxima ao equilíbrio térmico entre o corpo e o banco, mas ligeiramente menor. Este fato dá-se devido à temperatura das pernas, que é dissipada para o banco, ser mais amena que a região central do tronco humano.

Pode-se observar que há uma ascensão da temperatura nos 5 primeiros minutos e permanece acima dos 29°C durante todo o aquecimento, tanto no assento quanto no encosto.

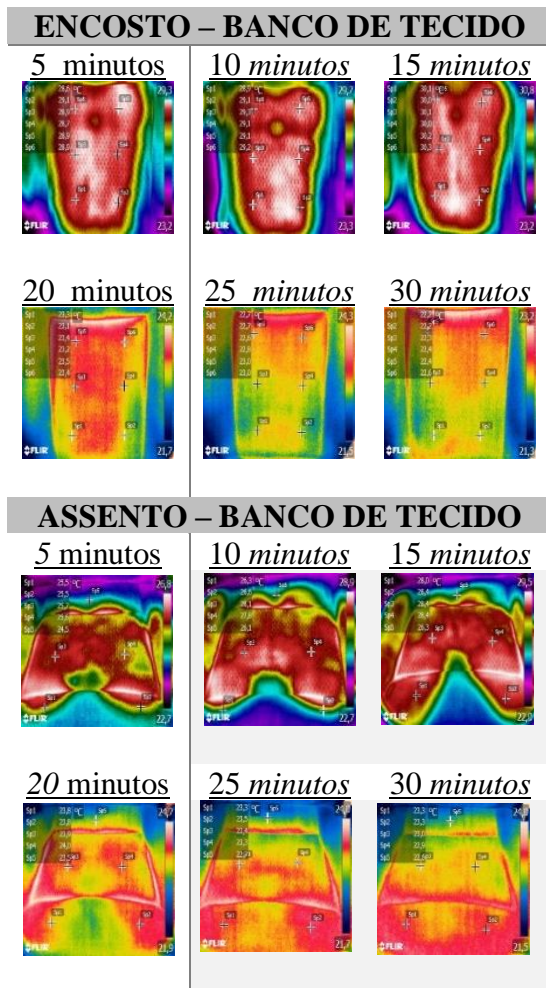
Na fase do resfriamento (os 15 minutos finais) percebe-se uma queda da temperatura, mas de forma mais gradual, até atingir o ponto inicial e até mesmo regredir a valores menores. Esta regressão a valores menores que os registrados no instante inicial do experimento se dá pela permanência do banco automotivo



no laboratório e pela tendência a se equilibrar termicamente com o ambiente.

O banco de tecido também foi registrado termograficamente conforme a Tabela 4, para podermos ver como a temperatura se distribuiu no decorrer do experimento.

**Tabela 4 – Imagens termográficas do encosto e assento do banco de tecido**



Fonte: acervo dos autores.

Semelhantemente ao participante do banco de napa, a temperatura durante o experimento não teve uma variação apreciável. Pode-se ver que os valores estão próximo dos 30°C ±1. Esta observação corrobora com a afirmação do corpo humano ser homotérmico, tendendo a fixar o valor de sua temperatura em uma região constante.

Observa-se que em 5 minutos de experimento a faixa de temperatura do encosto é elevada e assim somos capazes de ver a região mais quente. Os pontos de medição determinados pelo *software* estão dispostos na

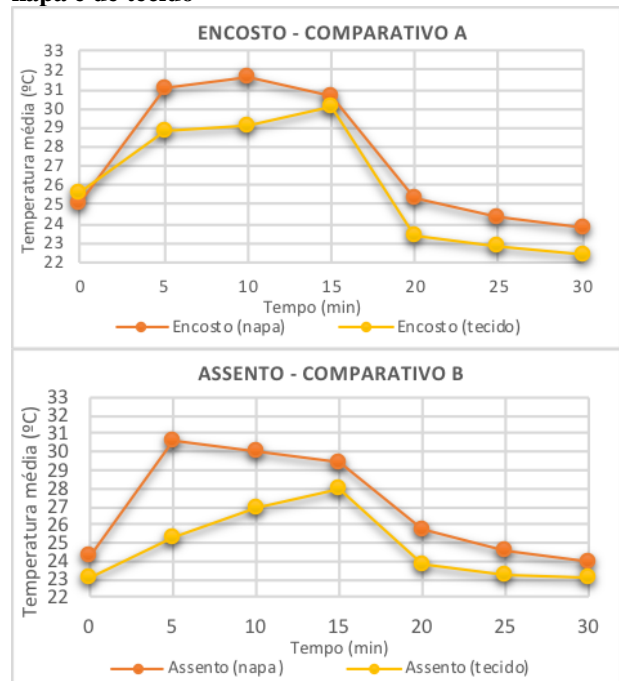
região de maior contato das coxas com o banco e nos traduzem como ocorreu a troca térmica entre o participante e o assento, de forma conduzida no aquecimento e convectiva no resfriamento.

De forma a facilitar a compreensão dos valores das temperaturas obtidos nos termogramas apresentados, temos no Gráfico 2 a distribuição com relação ao tempo na situação da análise do encosto.

Percebe-se que as temperaturas iniciais de todas as situações são próximas, em virtude do material de revestimento procurar o equilíbrio térmico com o ambiente (~22°C). Na fase dita de aquecimento, nos 15 minutos iniciais a temperatura subiu para valores próximos ao equilíbrio térmico do participante com o ambiente (~30°C).

O que se pode ver na fase do resfriamento (15 minutos finais) é que de forma gradativa a temperatura cai para valores próximos ao equilíbrio com o local do experimento, podendo atingir valores menores que 22°C.

**Gráfico 2 - Comparativo entre o encosto do banco de napa e de tecido**



Fonte: elaborado pelos autores.

Outra consideração é a taxa com a qual a temperatura varia durante o experimento. Quando se observa os 5 primeiros minutos vê-se que a mudança brusca da temperatura é

capaz de variar em mais de 5°C em relação à temperatura média. Mas o mesmo não ocorre nos minutos seguintes em que a temperatura permanece quase constante durante 10 minutos.

A região superior do tronco humano é onde se encontram os principais órgãos vitais, o coração, o pulmão e também o sistema gástrico. Esse fato fomenta a relação de maior temperatura, principalmente quando comparada com a região posterior das pernas dos ocupantes do automóvel.

## RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES

A avaliação das condições de conforto térmico seguindo a metodologia proposta foi satisfatória e assim pode-se concluir que, nas condições previstas, a sensação humana ao voto térmico é enquadrada em Levemente frio à Confortável.

Foi também concluído que, após a fase de aquecimento, nos quinze minutos iniciais, a sensação de conforto térmico no banco de revestimento de napa chegou ao voto chamado Quente, segundo a ASRHAE 55. Quanto ao banco de revestimento de tecido, a sensação é de Levemente quente, correspondendo ao que era esperado quando se trata da comparação entre o tipo de revestimento utilizado. Assim, a exposição ao tempo fixados pela delimitação do tempo é responsável pelo aumento considerável da temperatura sentida pelo participante e isto faz com que o voto térmico esteja acima do dito Confortável.

Quanto ao registro termográfico, pode-se concluir que o banco de napa retém mais fortemente o calor que é gerado pelo corpo e favorece um maior desconforto localizado nas costas, principalmente nas regiões de contato do participante e o material de revestimento. A fase do resfriamento acontece com maior apreciação quando é avaliado o revestimento de tecido, podendo-se concluir que a facilidade de o calor ser dissipado neste material condiz com o que foi apresentado.

Conclui-se que a temperatura medida na região do encosto dos dois tipos de revestimento é mais elevada que a do assento e, conseqüentemente, o desconforto térmico na

região das costas (e ativação das glândulas sudoríparas) é mais evidenciado.

Pelos gráficos apresentados é notado que o banco de napa tem maior influência no desconforto térmico dos usuários quando expostos a um tempo mínimo de 15 minutos. Assim, em regiões de clima tropical, onde a temperatura ambiente e a umidade chegam a valores maiores, o revestimento de tecido é mais apropriado quando se quer ter uma dissipação mais rápida do calor gerado pelo metabolismo humano.

## REFERÊNCIAS

- ASHRAE 55. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2003.
- FERNANDES, H.; ZHANG, H.; MALDAGUE, X. An active infrared thermography method for fiber orientation assessment of fiber-reinforced composite materials. **Infrared Physics and Technology**, v. 72, p. 286–292, 2015.
- FERREIRA, M. A. **O Usuário E a Percepção De Conforto Térmico Em Bancos Automotivos Ventilados**. [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.
- GOEDERT, J. **Avaliação do Conforto Térmico em postos de trabalho de motoristas de ônibus**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.
- GOMES, A. B. **Avaliação experimental de condições de conforto térmico em automóveis de passeio utilizando manequins**. [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.
- HOYT, T. et al. **CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE-55**. Disponível em: <<http://comfort.cbe.berkeley.edu/>>. Acesso em: 19 set. 2018.
- INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. [s.l.: s.n.]. v. 6th
- ISO 7730. **Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices na Local Thermal Criteria.**, 2005.
- LAMBERTS, R. et al. **Conforto e Stress Térmico**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

LIMA, J. C. **Avaliação Experimental da influência do revestimento de assentos automotivos no Conforto Térmico.** [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

MEOLA, C. et al. Impact damaging of composites through online monitoring and non-destructive evaluation with infrared thermography. **NDT and E International**, v. 85, p. 34–42, 2016.

MERLO, C. A.; GUERRA, M. S. L. Technical feasibility analysis for the use of the thermography on the detection of defect in welding copper steel. **Ciencia y Engenharia/ Science and Engineering Journal**, v. 23, n. 1, p. 57–64, 2014.

NASCIMENTO, L. A. DO; VILARINHO, L. O.; FERNANDES, D. B. Avaliação da influência do regime térmico em ambos os lados da junta na soldagem orbital. **Soldagem e Inspecao**, v. 21, n. 4, p. 456–468, 2016.

NILSSON, H. O. **Comfort climate evaluation with thermal manikin methods and computer simulation models.** [s.l.] University of Gavle, 2004. v. 13

PEREIRA, R. R. **Características térmicas de assento de cadeiras escolares por termografia.**

[s.l.] Universidade Estadual de Minas Gerais, 2013.

PINTO, N. DE M. **Condições e parâmetros para determinação de conforto térmico em ambientes industriais do ramo metal mecânico.** [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

RUAS, Á. C. **Conforto Térmico em Ambientes de Trabalho.** [s.l.] FUNDACENTRO, 1999.

SANTOS, E. O. DOS; TRIBESS, A. **Dimensionamento e avaliação do ciclo de refrigeração de sistema de climatização automotivo.** [s.l.: s.n.].

SILVA, E. V. F. DA. **Estudo ergonômico de uma célula de trabalho numa indústria gráfica do estado da paraíba.** [s.l.] Universidade Federal de Campina Grande, 2015.

## DADOS DOS AUTORES



**Renan Di Pace Arruda** - Bacharel em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) com ênfase na área Termografia Infravermelha aplicada a Conforto Térmico em Ambientes Automotivos. Mestrando pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da UFCG com ênfase na detecção de danos em Materiais Compósitos por Termografia Infravermelha. Especialização em andamento em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Pós-FIP. Fui instrutor técnico do curso de Desenho Técnico Mecânico, e Fundamentos da Manutenção no SENAI - CITI - PB. Também fui instrutor de AutoCAD no SENAC - PB. Fui bolsista CNPq RHAe à Suna Engenharia com a ênfase a pesquisa e desenvolvimento de projetos mecânicos.

Tem experiência no ensino de Desenho Mecânico com o auxílio de software de desenho (CAD).



**João Manoel de Oliveira Neto** - Engenheiro Mecânico graduado pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), com ênfase na área de eficiência energética no setor de petróleo, gás natural e biocombustíveis pelo Programa de Recursos Humanos (PRH-42), financiado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e pela Petrobrás. Pós-graduando pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) da UFCG, a nível de mestrado, na linha de pesquisa referente a Projeto e Análise de Sistemas Termomecânicos. Pós-graduando pela Faculdade Integrada de Patos nos cursos de Engenharia de Segurança do trabalho e Gestão da Manutenção e Produção. Atuou no setor metalúrgico nas áreas de Segurança do Trabalho, Projeto e Desenvolvimento de Produto e Engenharia de Processos.



**Juscelino de Farias Maribondo** - Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (1990), mestrado em Engenharia Mecânica [C. Grande] pela Universidade Federal da Paraíba (1994), especialização em engenharia de segurança do trabalho pela Universidade Federal da Paraíba (1995) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2000). Atualmente é professor associado nível IV da Universidade Federal de Campina Grande. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Fundamentos Gerais de Projetos das Máquinas, atuando principalmente nos seguintes temas: Ergonomia, Engenharia e Segurança do Trabalho, Metodologia de Projeto, Desenvolvimento de Produtos Industriais e Termografia.