

Avaliação Experimental Do Conforto Térmico De Uma Cabine Veicular

Leonardo Guimaraes Fagundes
Adriano Roberto da Silva Carotenuto
Universidade Federal do Pampa, Av. Tiaraju, 810 - Ibirapuitã, Alegrete - RS, 97546-550
leonardofagundes.aluno@unipampa.edu.br; adriancarotenuto@unipampa.edu.br

Resumo

Com o aumento das temperaturas climáticas, aliada ao desgaste físico de dias intensos a necessidade de conforto térmico veicular tornou-se indispensável, levando em consideração a procura de sistemas de ar condicionado mais eficientes, com menor perda de desempenho. O objetivo deste trabalho é avaliar de forma experimental o conforto térmico de uma cabine veicular, da Renault Duster através da medição das temperaturas de bulbo seco, úmido e radiação solar com o sistema de refrigeração em funcionamento. A sensação de conforto térmico será avaliada pelo método Predicted Mean Vote (PMV). Foram instalados cabos de extensão do tipo “K” para obter as temperaturas do ar da cabine, do ambiente externo e das superfícies interna e externa do envoltório do veículo, no dia 09/12/2022 pelo período da tarde. Para a medição da radiação solar foi utilizado o solarímetro MES 200. Os testes foram feitos com a configuração do condicionador de ar em recirculação fechada e aberta na potência máxima, utilizando o equipamento anemômetro TAVR-650 para medir a vazão de ar dos difusores de ar. O veículo ficou estacionado, exposto ao sol, e com um ocupante na posição do carona na frente. A análise dos resultados obtidos com a utilização do método PMV em regime transiente, com a configuração de recirculação aberta chegou ao valor do intervalo 2,85 - 2,88, e a recirculação fechada chegou ao valor do intervalo de 3,28 - 3,03, demonstrando que o veículo está na condição de “muito quente” pela escala de conforto térmico previsto pela ASHRAE.

Palavras-chave: Carga Térmica Veicular, Conforto Térmico, PMV

Abstract

With the increase in climatic temperatures, combined with the physical wear and tear of intense days, the need for vehicle thermal comfort has become essential, taking into account the demand for more efficient air conditioning systems, with less loss of performance. The objective of this work is to experimentally evaluate the thermal comfort of a Renault Duster vehicle cabin by measuring the dry and wet bulb temperatures and solar radiation with the refrigeration system in operation. The feeling of thermal comfort will be evaluated using the Predicted Average Vote (PMV) method. Type “K” extension cables were installed to obtain the air temperatures of the cabin, the external environment and the internal and external surfaces of the vehicle wrap, on 12/09/2022 in the afternoon. The MES 200 Solarimeter was used to measure solar radiation. The tests were carried out with the configuration of the air conditioner in closed and open recirculation at maximum power, using the TAVR-650 Anemometer equipment to measure the air flow from the air diffusers open. The vehicle was parked exposed to the sun, and with an occupant in the front passenger position. The analysis of the results obtained with the use of the PMV method in transient regime, with the open recirculation configuration reached the value of the interval 2.85 - 2.88, and the closed recirculation reached the value of the interval of 3.28 - 3.03, demonstrating that the vehicle is in the “very hot” condition according to the thermal comfort scale provided by ASHRAE.

Keywords: Vehicle Thermal Load, Thermal Comfort, PMV.

1.Introdução

A carga térmica do veículo é definida como o calor gerado no interior e no exterior do envoltório. Um fator principal que determina a carga térmica é a radiação solar, que pode causar desconforto por sua influência direta nos ocupantes de um veículo e também indiretamente por meio da radiação refletida da superfície da estrada e arredores.

Fabricantes de automóveis prestam uma atenção significativa ao motorista e ao conforto do passageiro, que está diretamente ligado ao sistema condicionador de ar. Esta tendência é evidenciada por novos recursos, como multi-zona para o controle climático. O correto dimensionamento da carga térmica da cabine aliado a um bom desempenho da máquina de ar condicionado são fatores contribuintes importantes para o conforto térmico dos ocupantes. A função de sistema condicionador de ar é para compensar as mudanças contínuas de cargas da cabine, a fim de manter o conforto dos passageiros dentro uma “zona de conforto” térmica (Fayazbakhsh & Bahrami, 2013).

Em um ambiente transitório de uma cabine de passageiros de automóveis, a temperatura do ar é apenas um dos vários fatores ambientais chave que afetam o conforto térmico. A percepção humana do conforto térmico é complexa e envolve tanto os estados fisiológicos quanto os psicológicos de uma pessoa sob condições específicas. Uma variável bem conhecida para estimar o conforto térmico das pessoas é o índice Predicted Mean Vote (PMV). O PMV é usado para expressar a percepção humana da sensação térmica e é o índice de conforto térmico mais utilizado. O índice PMV inclui os fatores relacionados ao conforto térmico, como atividade metabólica, isolamento da roupa, temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade e umidade do ar (Warey.A.et.al,2019).

Maioria dos esforços de pesquisa se concentrou em mobilidade e desempenho do veículo, que são parâmetros importantes para motoristas, além disso os carros fornecem outros tipos de serviços que tornam veículos mais confortáveis. Veículos modernos devem incluir, Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) e seu efeito no gerenciamento de energia de um veículo devem ser considerados (Marcos. D. et.al,2014).

A avaliação do conforto térmico em veículos automotivos é uma área que vem apresentando muitos avanços com o desenvolvimento de modelos de conforto térmico mais sofisticados, com a utilização de softwares como o CFD (Computational Fluid Dynamics) com o qual é possível avaliar o desempenho do sistema de refrigeração quando opera sob diversas condições. (Santos, 2005).

Visando à necessidade de obter conforto térmico, surgiram formas de verificar que o condicionador de ar está nas condições adequadas de uso.

Este artigo tem como objetivo analisar de forma experimental o conforto térmico de uma cabine veicular, da Renault Duster no verão com o sistema de refrigeração em funcionamento, através das medições das temperaturas de bulbo seco e úmido. O índice de conforto térmico foi calculado através da implementação de um algoritmo no software Interactive Thermodynamics (IT) para calcular do índice de conforto térmico através do método PMV.

2.Fundamentação Teórica

Segundo Lamberts et al. 2011. O conforto térmico, tomado como uma sensação humana, situa-se no campo do subjetivo e depende de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos 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, que são aqueles que se relacionam às diferenças na percepção e na resposta a estímulos sensoriais,

frutos da experiência passada e da expectativa do indivíduo. Os estudos em conforto térmico visam principalmente analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente. A importância do estudo de conforto térmico está baseada principalmente em 3 fatores: A satisfação do homem, a performance humana e a conservação de energia.

Convém ressaltar que devido à variação biológica entre as pessoas, é impossível que todos os ocupantes do ambiente se sintam confortáveis termicamente, buscando-se sempre criar condições de conforto para um grupo, ou seja, condições nas quais maior porcentagem de pessoas esteja em conforto térmico (Lamberts et al., 2011).

Escala de sensação térmica, conforme ASHRAE, é mostrada na tabela 1:

Tabela 1: PMV ASHRAE

-3	-2	-1	0	1	2	3
Muito frio	Frio	Levemente Frio	Neutro	Levemente Quente	Quente	Muito quente

Fonte: ASHRAE

O índice foi definido por pesquisa estatística de um grande grupo de indivíduos. Zero PMV é o valor ideal que representa a neutralidade térmica, e a faixa de PMV aceitável recomendada para conforto térmico está entre -1,0 e + 1,0. A escala de sensação de PMV tem 7 níveis entre -3 e + 3, (Warey.A.et.al,2019).

Segundo a ASHRAE as temperaturas operativas devem variar de 20°C a 25°C para o resfriamento, considerando sempre uma faixa de umidade relativa do ar de 30% a 60%.

Neutralidade térmica é uma condição necessária, mas não suficiente, para que uma pessoa esteja em conforto térmico. Um indivíduo que estiver exposto a um campo assimétrico de radiação pode muito bem estar em neutralidade térmica, porém não estará em conforto térmico (Lamberts et al., 2011).

Para o cálculo da temperatura média radiante é necessário conhecer as temperaturas das superfícies da envoltória, bem como os fatores de forma entre a pessoa e as superfícies da envoltória, os fatores de forma dependem da área das superfícies e da distância dessas superfícies em relação à posição da pessoa. Como a maioria dos materiais de construção das superfícies da envoltória possuem alta emissividade, as superfícies são consideradas como negras. A temperatura média radiante é assim calculada (Lamberts et al., 2011), conforme Equação 1.

$$T_r=(T_{frente}.F_{frente})+(T_{latesquerda}.F_{latesquerda})+(T_{ladiireita}.F_{ladiireita})+(T_{teto}.F_{teto})+(T_{tras}.F_{tras})+(T_{piso}.F_{piso})$$

(1)

Os fatores de forma (F_f) podem ser estimados através das; figuras 1 e 2, no caso para superfícies retangulares, onde a/c e b/c são as distâncias nas tabelas 2 e 3.

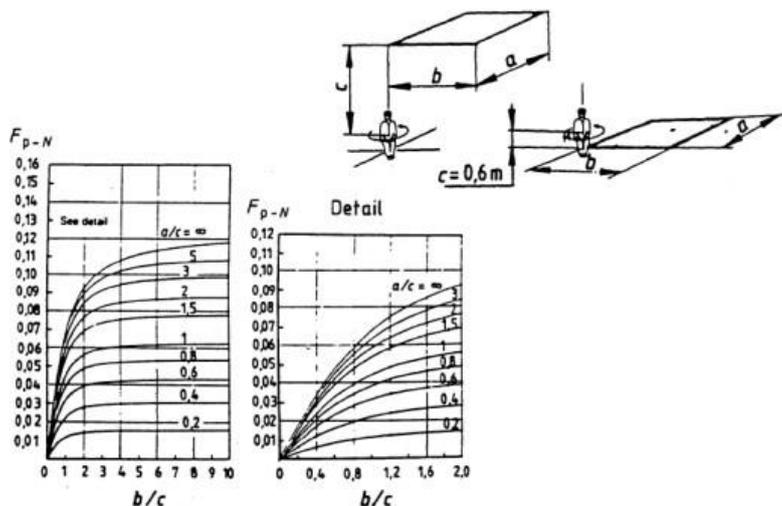


Figura 1: Fator de forma entre uma pessoa sentada e um retângulo vertical. Fonte: Lamberts

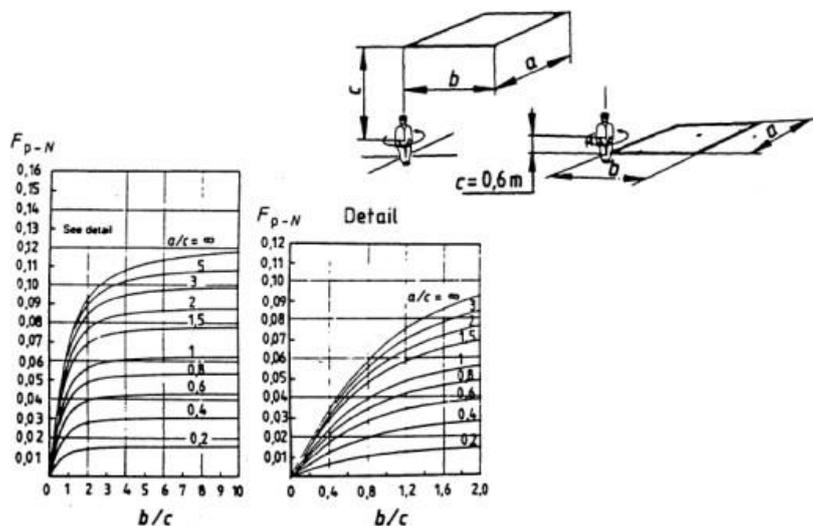


Figura 2: Fator de forma entre uma pessoa sentada e um retângulo horizontal. Fonte: Lamberts

As tabelas 2 e 3 apresentam as dimensões de cada superfície analisada, para obter os fatores de forma através das figuras 1 e 2.

Tabela 2: Superfícies verticais

Superfícies	A (m)	B(m)	C(m)	F _f
Lateral esquerda	3,5	1,7	0,5	0,15
lateral direita	3,5	1,7	0,5	0,15
Frente	1,4	1,6	1,5	0,12
Traseira	1,2	0,8	1,5	0,12

Tabela 3: Superfícies horizontais

Superfícies	A (m)	B(m)	C (m)	F _f
Superior	1,8	3,5	0,3	0,14
Inferior	1,8	3,5	0,3	0,14

O cálculo do voto médio previsto, foi programado no software IT, conforme as principais equações a seguir:

$$PMV=[0.303e^{-0.036M}+0.028] L \quad (2)$$

onde:

M: Atividade desempenhada pelo indivíduo [W/m²]

L: Carga térmica atuante sobre o corpo [W/m²]

A: Carga térmica atuante sobre o corpo é calculada pela equação 3.

$$A = M - W \quad (3)$$

onde:

W: Trabalho mecânico realizado[W/m²]

O fluxo de calor liberado pelo corpo é obtido pela equação 4.

$$B = (C + R) + (C_{res} + E_{res}) + (E_{dif} + E_{transp}) \quad (4)$$

onde, as parcelas de calor são:

C_{resp}: calor sensível liberado por convecção na respiração [W/m²]

E_{resp}: calor latente liberado por evaporação na respiração [W/m²]

C + R: calor sensível liberado por radiação e convecção da pele [W/m²]

E_{dif}: calor latente liberado pela difusão da pele [W/m²]

E_{transp}: calor latente liberado pela transpiração da pele [W/m²]

A carga térmica atuante sobre o corpo é obtida pela equação 5.

$$L=A-B \quad (5)$$

onde, nas seguintes condições, têm-se:

A>B significa que calor gerado é maior que absorção

A<B significa que a absorção é maior que calor gerado.

O PMV é obtido pelo cálculo iterativo, pois os fluxos de calor por convecção (C) e radiação (R) liberados pela pele dependem da não linearidade da temperatura da vestimenta. O balanço de energia foi avaliado no intervalo da temperatura da vestimenta entre 30 a 40°C. Na Figura C.1 do Apêndice C, encontra-se o módulo referente à programação do cálculo iterativo.

3.Procedimento Experimental

O veículo cedido para análise, é uma Renault Duster 2012 da Universidade Federal do Pampa, conforme mostrado na Figura 3.

Durante o ano de 2022, foi feito 5 testes em diversas condições, utilizando a refrigeração e calefação porém para a confecção desde, foi o escolhido o dia 09/12/2022 por ter sido o teste com os valores mais expressivos.

O período do teste foi a tarde das (16:17 à 17:08 h), e exposto ao sol, nas seguintes condições:

- Recirculação de ar fechada e aberta;
- Potência máxima do condicionado ar;
- Um ocupante na posição do passageiro, ao lado do motorista.



Figura 3: Veículo analisado Renault Duster

3.1 Sistema de medições:

O sistema de medição foi planejado, para obter as temperaturas de bulbo seco (T_{bs}) e bulbo úmido (T_{bu}) do ar da cabine com cabos de extensão com sensor tipo “K”. Para a obtenção dos valores da temperatura de bulbo úmido (T_{bu}) foi utilizado algodão úmido nas pontas dos sensores. O objetivo da medição do (T_{bu}) é obter a umidade relativa do ar com auxílio da carta psicrométrica.

A radiação solar transmitida ao interior do veículo foi medida pelo solarímetro MES 200, localizado no painel frontal do veículo.

A velocidade do ar, que sai dos difusores centrais e chega aos ocupantes, foi realizada, utilizando o anemômetro TAVR-650.

A aquisição foi feita através do DataLogger 34970A, utilizando um total de 14 sensores.

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam as localizações dos sensores de medição, conforme as vistas do veículo.



Figura 4: Vista em perspectiva. Fonte: HUM 3D



Figura 5: Vista frontal do veículo. Fonte: HUM 3D

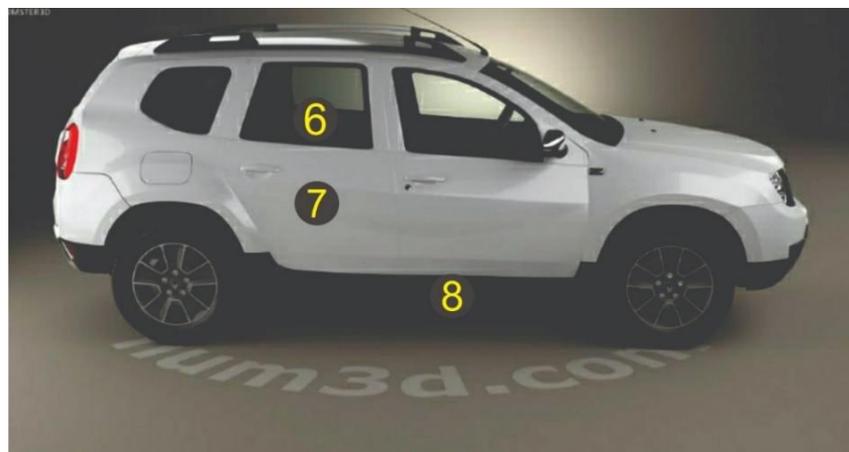


Figura 6: Vista lateral do veículo. Fonte: HUM 3D

A Tabela 3 identifica as posições dos sensores e as temperaturas das superfícies que são medidas.

Tabela 3: Localização dos sensores

Identificação	Posição	Temperatura
1	Teto	Superfícies interna e externa
2	Vidro passageiro traseiro esquerdo	Superfície interna
3	Vidro traseiro porta-malas	Superfícies interna e externa
4	Para-brisa	Superfícies interna e externa
5	Motorista	Bulbos seco e úmido
6	Vidro passageiro traseiro direito	Superfícies interna e externa
7	Passageiro	Bulbos seco e úmido
8	Piso	Superfície Interna

A Tabela 4 apresenta a lista de equipamentos utilizados

Tabela 4: Lista de equipamentos

Nome	Modelo	Escala	Resolução	Precisão
Anemômetro	TAVR-650	0,0 a 45 (m/s)	0,01	+3% - 0,1%
Solarímetro MES 200	MES 200	0 a 2000(W/m ²)	0,1	5%
Cabos de extensão	Sensor “K”	2 ^o C a 1260 ^o C	0,01	±2,2°C ou 0,75%
Data Logger 34970A	34970A	-20 ^o C a 80 ^o C	0,1	1%-2,2%

3.2 – Etapas do experimento:

Para a realização do experimento respeitou-se as seguintes etapas.

1) Montagem do sistema de aquisição de dados

- Posicionamento dos cabos de extensão “K” para medições das temperaturas de bulbo seco T_{bs} e úmido T_{bu} do ar, e das superfícies da envoltória da cabine, identificados na Tabela 2;
- Aquisição e leitura das medições através do Data Logger;
- Medição de velocidade do ar dos difusores centrais através do anemômetro;
- Medição da radiação térmica transmitida pelo para-brisa através solarímetro;
- Obtenção da umidade relativa através da carta psicrométrica;
- Cálculo do conforto térmico (PMV) através da programação realizada pelo software IT que se encontra no Apêndice B e C.

2. Medições realizadas

A avaliação experimental do conforto térmico da cabine foi realizada no período da tarde, das 16:17 às 17:08 h, totalizando 51 minutos de teste. As etapas do teste estão apresentadas na Tabela 5 e tiveram como base os trabalhos de (Gomes, 2005) e (Santos, 2005).

Tabela 5: Etapas da análise

Etapas	Condicionador de ar	Recirculação de ar	Tempo (min)	Tempo total(min)
1 ^a	Desligado	Fechada	17 min	17 min
2 ^a	Ligado	Fechada	17 min	34 min
3 ^a	Ligado	Aberta	17 min	51 min

Através do site INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) foi possível obter a radiação térmica global 1000 (W/m²) para o dia do teste.

Com o auxílio da carta psicrométrica, foram obtidas as umidades relativas para posição do passageiro, com intervalos de 5 min, a partir da 2^a etapa do teste.

Com a utilização de manômetros para obter a pressão de baixa e de alta do ar condicionado em funcionamento, foi possível verificar, que o mesmo não está com a pressão de funcionamento adequada. Pressão de baixa de 34 psi, e de alta 116 psi, segundo Evermart carga de gás.

A figura 7 apresenta os valores para temperaturas e pressões de trabalho.

Temperatura Ambiente	Manômetro Baixa Pressão	Manômetro Alta Pressão
18C°	25-35 psi	135-155 psi
21C°	35-40 psi	145-160 psi
24C°	35-45 psi	150-170 psi
27C°	40-50 psi	175-210 psi
29C°	45-55 psi	225-250 psi
32C°	45-55 psi	250-270 psi
35C°	50-55 psi	275-300 psi
38C°	50-55 psi	315-325 psi
41C°	50-55 psi	330-335 psi
43C°	50-55 psi	340-345 psi

Figura 7: Temperatura e pressão de trabalho. Fonte: Evermart

3.3 - Cálculo do PMV:

O PMV foi calculado a cada 5 minutos a partir da 2^a etapa de teste, partindo das medições realizadas na cabine para as posições do motorista e passageiro. Os parâmetros de cálculo do PMV estão apresentados na figura A.1 do Apêndice A.

4. Análise dos Resultados:

Os resultados apresentados a seguir servem como base para avaliação do conforto térmico do ar da cabine que será realizada pelo cálculo do PMV.

O gráfico da figura 8 apresenta a variação da radiação solar transmitida pelo vidro do para-brisa ao longo do teste, medida pelo solarímetro instalado no painel frontal do veículo.

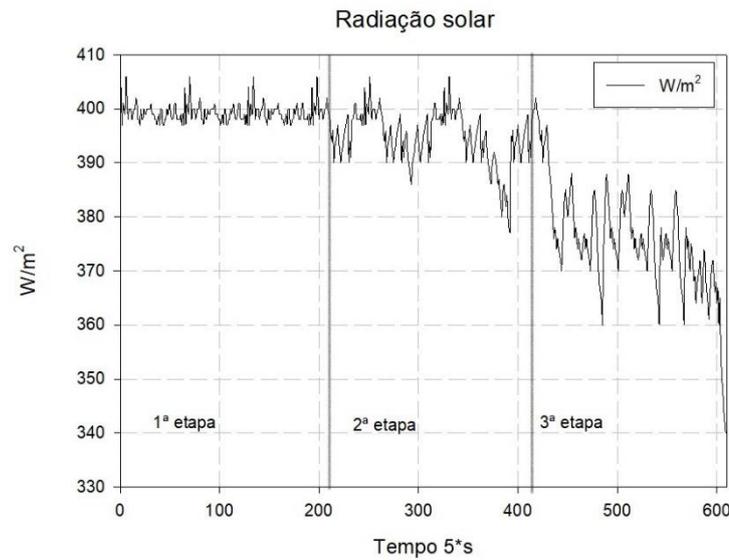


Figura 8: Radiação solar solarímetro

Na 1ª etapa do teste, é possível verificar que a radiação solar transmitida pelo vidro do para-brisa ao interior do veículo atinge valores de 400W/m^2 . Durante a 1ª e 2ª etapas estes valores permanecem com variações de 380 a 405W/m^2 . Porém na 3ª etapa, nota-se uma redução maior de radiação solar devido à exposição, com valores inferiores a 360W/m^2 , provavelmente devido à alteração da nebulosidade do dia. A irradiação solar na superfície externa do veículo, medida pelo solarímetro, foi de 1000W/m^2 .

O gráfico da figura 9 apresenta as variações das temperaturas vidro do para-brisa (posição do sensor 4).

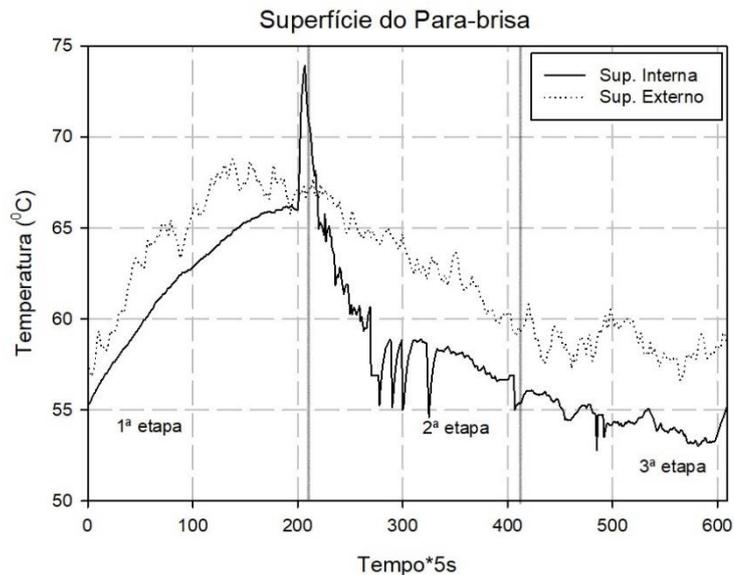


Figura 9: Superfície do Para-brisa

Na 1ª etapa do teste, as temperaturas externas e internas atingem valores superiores a 60°C , em vista que o sistema do ar condicionado está desligado e a intensidade da radiação solar incidente na superfície externa do vidro do para-brisa é de 1000W/m^2 . Com o acionamento do sistema de ar condicionado na 2ª etapa, as temperaturas internas chegam a ser inferiores aos 60°C devido à perda de calor por convecção da superfície do vidro com o ar condicionado, no

entanto as temperaturas da superfície externa mantêm elevadas com valores acima de 55°C durante o teste.

O gráfico da figura 10 apresenta as variações das temperaturas interna e externa do teto (posição do sensor 1).

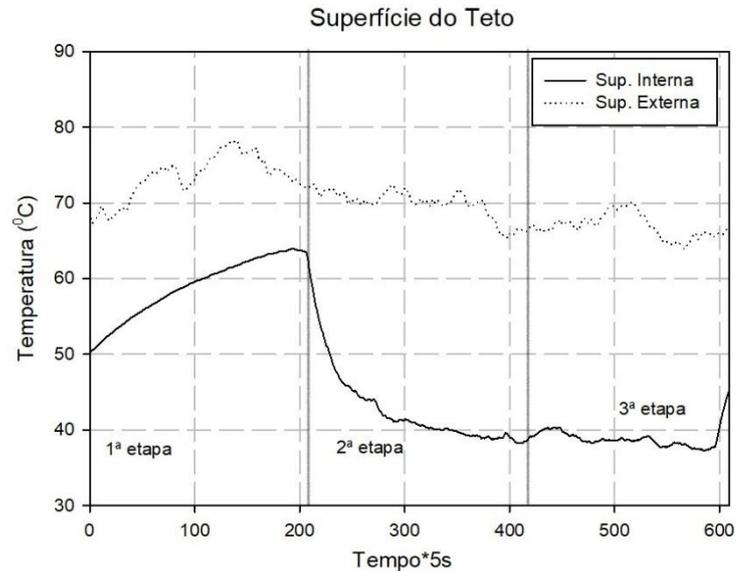


Figura 10: Superfície do Teto

Durante a 1ª etapa do teste, as temperaturas externas e internas atingiram valores superiores a 60°C , devido à intensidade da radiação solar incidente na superfície do teto. Com o acionamento do ar condicionado na (2ª etapa), as temperaturas internas atingem valores inferiores a 50°C até o término do teste, já as temperaturas externas ficaram superiores a 65°C nas 2ª e 3ª etapas, com pouca taxa de resfriamento, tendo em vista à intensidade da irradiação que chega ao teto do veículo. A temperatura da superfície interna é ainda alta nas 2ª e 3ª etapas para o ocupante do veículo.

O gráfico da figura 11 apresenta as variações das temperaturas da superfície do vidro lateral direita (posição do sensor 6).

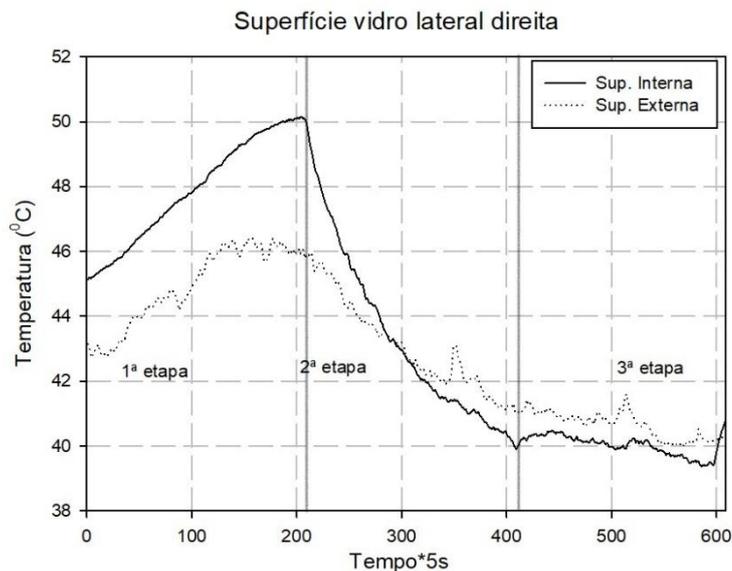


Figura 11: Superfície interna e externa vidro lateral direita

Durante a 1ª etapa, as temperaturas da superfície interna atingiram valores mais elevados que as da superfície externa, porque a radiação solar transmitida pelos vidros é emitida pelas superfícies internas e é refletida no interior do veículo, aumentando a temperatura das superfícies da cabine. A partir do acionamento do condicionado ar, as temperaturas das superfícies são resfriadas atingindo valores inferiores a 42°C. Os valores da temperatura da superfície interna ficam menores que os valores da superfície externa devido ao efeito convectivo do resfriamento das superfícies pelo ar condicionado.

O gráfico da figura 12 apresenta as variações das temperaturas da superfície interna do vidro da lateral esquerda (posição do sensor 2).

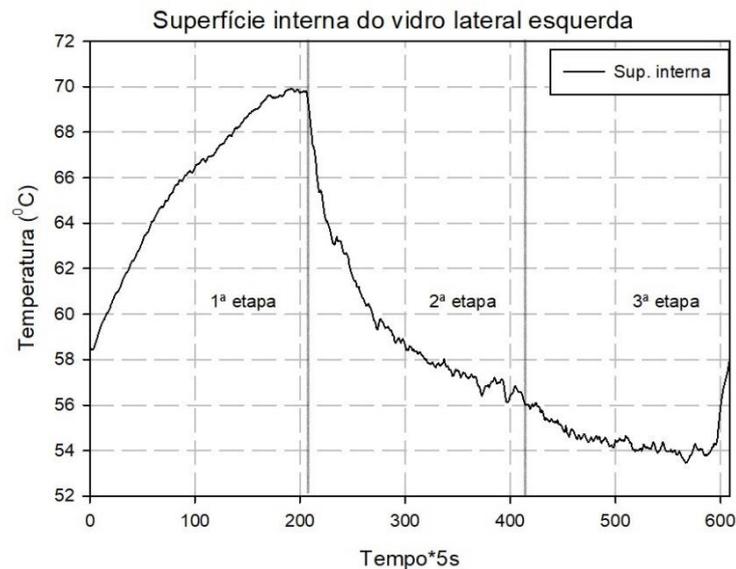


Figura 12: Superfície interna vidro lateral esquerda

Na 1ª etapa do teste, as temperaturas da superfície do vidro atingiram valores superiores a 65 °C por está exposta diretamente à radiação solar, e as suas temperaturas foram mais elevadas em comparação com as da lateral direita. Com o acionamento do condicionado ar, as temperaturas internas atingem valores inferiores a 56°C até o termino do teste, devido à taxa de transferência de calor por convecção com o ar condicionado.

O gráfico da figura 13 apresenta as variações das temperaturas da superfície interna do piso (posição do sensor 8).

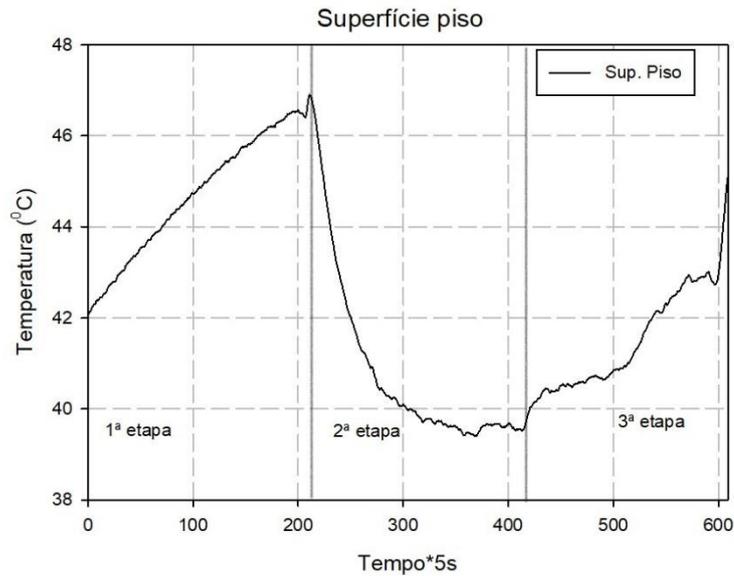


Figura 13: Superfície interna piso

As temperaturas das superfícies atingiram valores superiores a 46°C na 1ª etapa, devido à reflexão da radiação térmica no interior da cabine, emitidas pelas superfícies do envoltório e transmitida pelos vidros. No decorrer da 2ª etapa as temperaturas chegaram a valores inferiores a 40°C , devido ao efeito convectivo de resfriamento do ar condicionado, no entanto continuaram altas para o ocupante.

O gráfico da figura 14 apresenta as variações das temperaturas internas e externas do vidro central traseiro (posição do sensor 3).

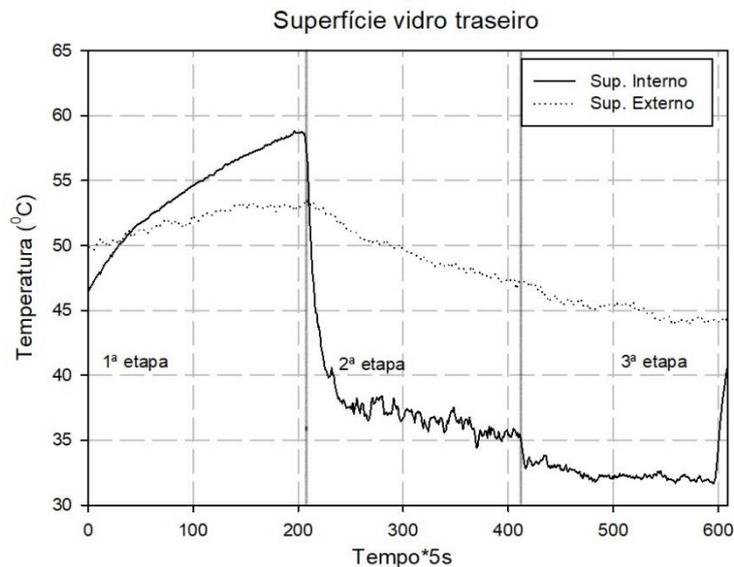


Figura 14: Superfície interna e externa do vidro traseiro

Durante a 1ª etapa, as temperaturas da superfície interna são mais elevadas que as da superfície externa, atingindo valores superiores a 50°C . Com o acionamento do sistema de ar condicionado, as temperaturas internas atingem valores inferiores a 40°C até o término da 3ª etapa, enquanto as temperaturas da superfícies externas tiveram uma redução de apenas 5°C ; isso ocorre devido à forte intensidade da irradiação solar na superfície externa do vidro e à baixa

taxa de resfriamento por convecção do ar condicionado nos volumes destinados aos passageiros traseiros e ao porta-malas.

Os gráficos das figuras 15 e 16 apresentam as variações de T_{bs} e T_{bu} na posição do passageiro traseiro e do motorista respectivamente (posições 7 e 5 do sensor).

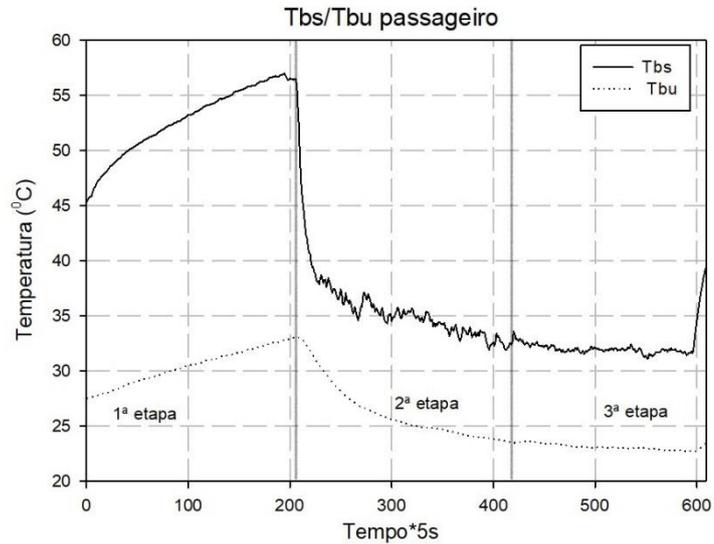


Figura 15: T_{bs} e T_{bu} do passageiro

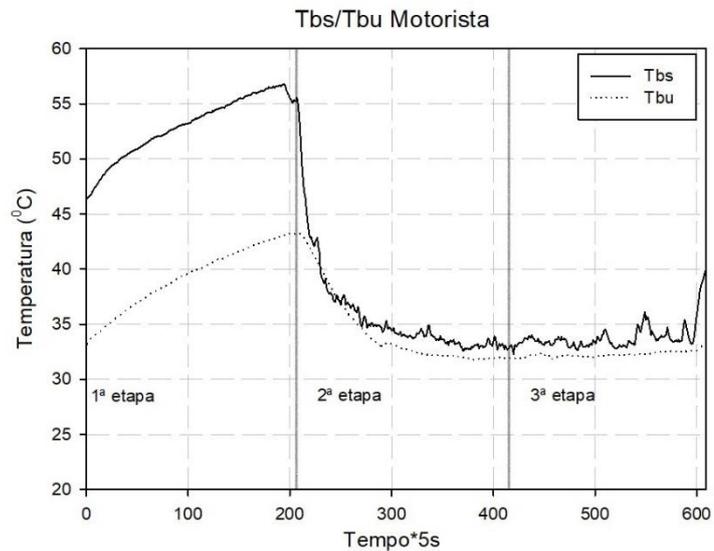


Figura 16: T_{bs} e T_{bu} na posição do motorista

Na 1ª etapa do teste, os gráficos das figuras 15 e 16, as temperaturas de bulbo seco atingem valores superiores a 55°C , o que demonstra o aquecimento no interior da cabine devido à intensidade da radiação térmica refletida pelas superfícies internas da envoltória e transmitida pelos vidros. Ao acionar o sistema de ar condicionado, as temperaturas não atingem valores inferiores a 30°C , demonstrando que no decorrer das 2ª e 3ª etapas as temperaturas internas da cabine são elevadas para o ocupante.

Os dados da temperatura de bulbo úmido do gráfico da figura 15, são utilizados para obter a umidade relativa através da carta psicrométrica. Os dados da temperatura do bulbo

úmido do gráfico da figura 16, foram desconsiderados para cálculo da umidade relativa porque o algodão secou. Portanto, os dados de umidade relativa da cabine são representados pela posição do passageiro traseiro.

O gráfico 17 apresenta a umidade relativa do ar da cabine na posição do passageiro.

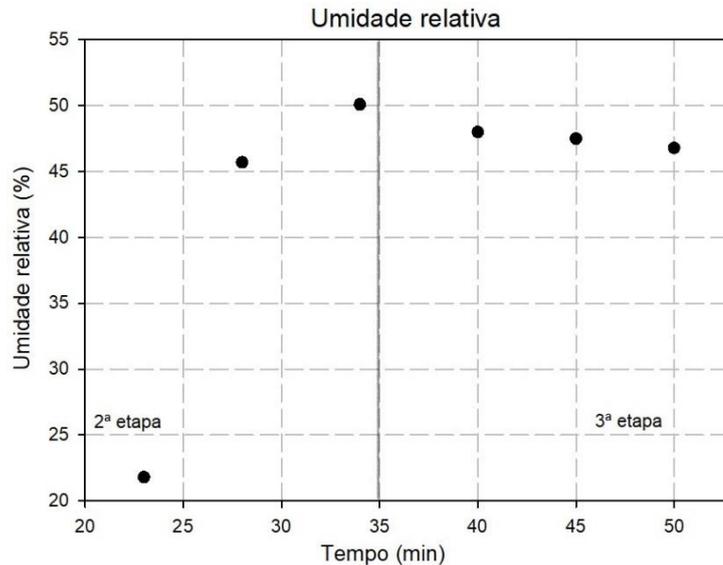


Figura 17: Umidade relativa do passageiro

Os valores de umidade relativa apresentados no gráfico da figura 17, nas etapas 2ª e 3ª etapas estão dentro das condições de conforto térmico prevista pela ASHRAE, porém a início da 2ª etapa a umidade relativa está fora da condição de conforto.

A umidade relativa da 2ª etapa está fora das condições de conforto térmico, porque o ar da cabine estava muito quente, tendo em vista que o condicionador de ar estava no início da operação.

A figura 18 apresenta os valores das temperaturas média radiante e da vestimenta.

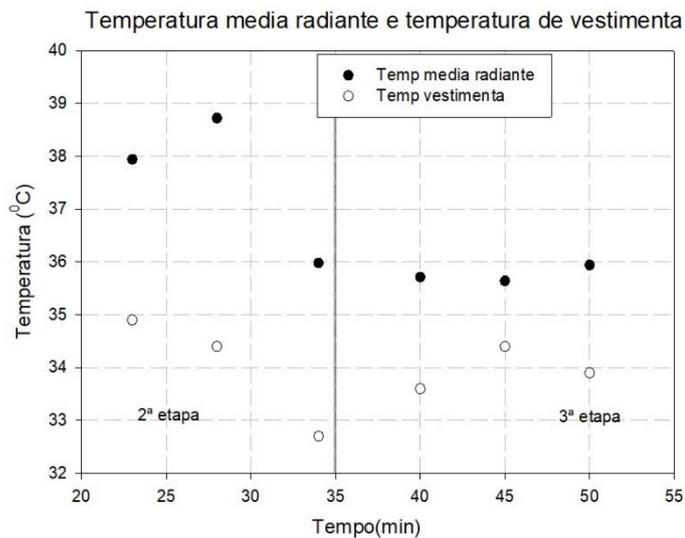


Figura 18: Temperatura média radiante e temperatura de vestimenta

As temperaturas médias radiantes são maiores que as temperaturas da vestimenta, porque a envoltória da cabine está mais quente que o ocupante. Essa diferença ocasiona um ganho de calor para o ocupante, causando um desconforto térmico.

O gráfico da figura 19 apresenta os valores do ar de insuflamento.

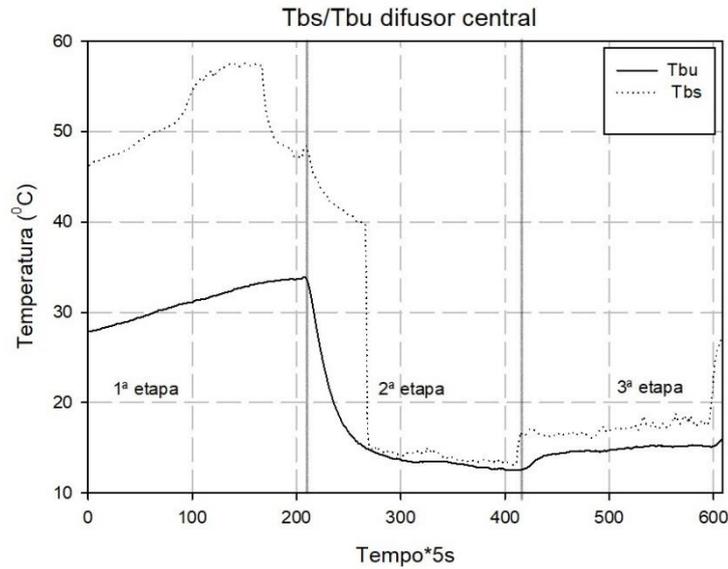


Figura 19: Ar de insuflamento

De acordo com o gráfico da figura 19, é possível verificar os valores de temperatura de bulbo seco, de 12°C para refrigeração fechada e 17°C para a recirculação aberta. Provenientes da baixa pressão de funcionamento do ar condicionado.

O gráfico da figura 20 apresenta os valores calculados do PMV.

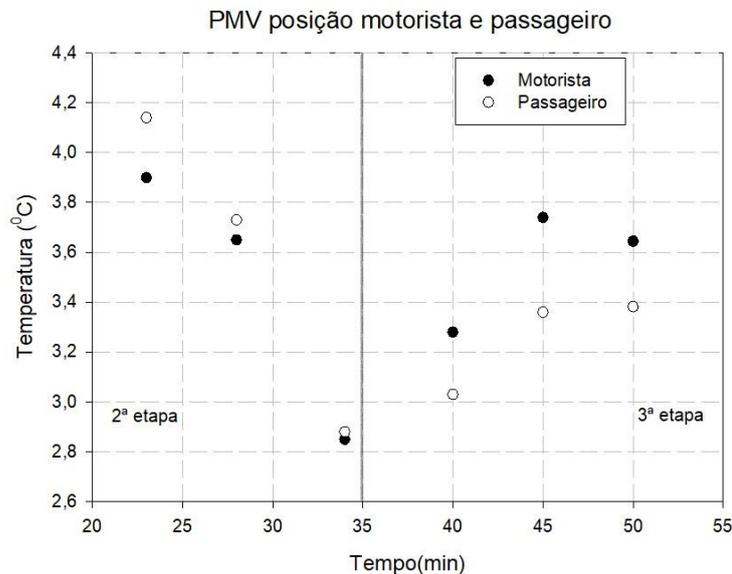


Figura 20: PMV motorista e passageiro

Através do gráfico da figura 20, é possível perceber que apenas no final da 2ª etapa o valor do PMV para o motorista e passageiro entraram na escala de conforto térmico estabelecida pela ASHRAE. Os valores do PMV inferiores a +3, significam que a cabine do veículo está na condição de “muito quente”, sendo que os valores acima de +3, estão fora da escala.

Mesmo considerando que os ensaios de condições de verão foram realizados em condições transientes, os resultados mostram claramente a grande influência da radiação solar nas superfícies do veículo, contribuindo para o aquecimento da envoltória e, por consequência, do ar da cabine. Sendo assim, a obtenção das condições de conforto térmico em uma cabine veicular vai depender de um sistema de ar condicionado bem dimensionado que atenda à carga térmica veicular.

5. Conclusões:

Conforme apresentado neste artigo, o objetivo principal foi a avaliação experimental do conforto térmico da cabine veicular pelo método PMV, através das medições das temperaturas de bulbo seco e úmido do ar da cabine, e das temperaturas das superfícies interna e externa da envoltória.

De acordo com os resultados obtidos através do método PMV, os valores obtidos no final da 2ª etapa (2,85 e 2,88) para as posições do motorista e passageiro estão abaixo de +3,0, no entanto, a cabine do veículo está na condição de “muito quente” pela escala de conforto térmico estabelecida pela da ASHRAE. Os valores da temperatura média radiante de 35,98⁰C, da temperatura de bulbo seco de 33,05⁰C, e da umidade relativa de 50% na 2ª etapa do teste, reforçam que o interior da cabine está com temperaturas bem elevadas.

Com os resultados apresentados foi possível verificar como a radiação solar incidente na envoltória do veículo influencia na sensação de conforto térmico, aumentando a temperatura média radiante das superfícies e por consequência, causando desconforto no ocupante.

O sistema de refrigeração com baixa pressão, influenciou nos dados obtidos, pois o sistema não desenvolveu a potência de refrigeração adequada para vencer a carga térmica do veículo, causando desconforto término para o ocupante.

Fatores que contribuíram para o aumento do desconforto térmico da cabine foram: a cor preta da envoltória e a ausência de películas no vidro, o quais se estivessem presentes, diminuiriam a temperatura média radiante das superfícies internas.

6. Trabalhos Futuros:

Utilização de um software para fazer uma cabine virtual como CFD, e comparar com os resultados obtidos experimentalmente;

Fazer o teste com o veículo em movimento cidade e estrada e com mais ocupantes;

Testar aquecimento para verificar se está nas condições de conforto.

7. Referências bibliográficas:

ASHRAE,ASHRAE Handbook – Fundamentals,American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta 2008.

Chen, K., Kaushik, S., Han, T., Ghosh, D., & Wang, M. (2012, Abril). Thermal Comfort Prediction and Validation in a Realistic Vehicle Thermal Environmen. SAE International. <https://doi.org/10.4271/2012-01-0645>

Fayazbakhsh, M. A., & Bahrami, M. (2013, Agosto 04). Comprehensive Modeling of Vehicle Air Conditioning Loads Using Heat Balance Method. SAE. <https://doi.org/10.4271/2013-01-1507>

Hum3D. (n.d.). Renault Duster (CIS) 2018 modelo 3D - Veículos no Hum3D. Hum3D. Acesso em 3 agosto, 2022, disponível em: < <https://hum3d.com/pt/3d-models/renault-duster-cis-2015>>

INMET. Banco de Dados Meteorológicos. INMET: Instituto Nacional de Meteorologia. Acesso em Dezembro 9, 2022, disponível em <https://portal.inmet.gov.br/>

Marcos, D., Pino, F. J., Bordons, C., & Guerra, J. J. (2014, Maio). The development and validation of a thermal model for the cabin of a vehicle. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.02.054>

Warey, A., Kaushik, S., Khaligh, B., Cruse, M., & Venkatesan, G. (2020, Fevereiro). Data-driven prediction of vehicle cabin thermal comfort: using machine learning and high-fidelity simulation results. International Journal of Heat and Mass Transfer. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.119083>

Gomes, A. B. (2005, Setembro). Avaliação experimental de condições de conforto térmico em automóveis de passeio utilizando manequim. 10.11606/D.3.2005.tde-16122014-161836

Knopp, G. F. (2020, Março). Estudo de viabilidade de instalação de um sistema de ar condicionado em um veículo antigo. <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/9014?locale-attribute=it>

Lamberts, R., Xavier, A. A., Goulart, S., & Vecchi, R. D. (2011, Junho). CONFORTO E STRESS TÉRMICO. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO TECNOLÓGICO.

Santos, E. O. d. (2005, Setembro). Dimensionamento e avaliação do ciclo de refrigeração de sistema de climatização automotivo. 10.11606/D.3.2005.tde-26122014-17572.

Super Oferta - Curso Ar Condicionado Automotivo - Localização das ... (n.d.). Evermart. Retrieved February 18, 2023, from <https://www.evermart.com.br/curso/super-oferta-332b29/curso-ar-condicionado-automotivo/localizacao-das-etiquetas-informativas-e-manometro>.

De Sousa, M. C. B., & Leder, S. M. (2018, Agosto). REFLEXÕES SOBRE TERMINOLOGIAS UTILIZADAS PARA DEFINIR O CONFORTO TÉRMICO HUMANO. <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8653185>

8. Apêndice A

A Figura A.1 apresenta os parâmetros iniciais para utilização do software IT.

```
M= 87.3 //w/m2 Metabolismo
AD= 1.8 //m2 Area do corpo
Cpa = 1000 //J/kg
RL = 16.5 //K/kPa
w = 0.2 // umidade da pele
V = 1.75 //m/s2
Kresp= 1.43 · 10-6 //kg/J
Ptotal= 101.4 //kPa
Wext= 0
Tamb= 55.5 //°C
hfg= 2555 //J/kg
Rvp = 0.0755 // K.m2.W-1 roupa de verão já convertido
FnT= 0.14 // Fatores de formas pelas areas considerando um paralelepipedo são fixas
FnP= 0.14
FnLd= 0.15
FnLe= 0.15
FnFre= 0.12
FnTra= 0.12
TTeto = 63.1 //Temperaturas de superficie do paralelepipedo, são alteradas conforme o tempo
Tpiso = 46.4 //°C
TLd = 50.1 //°C
TLe= 69.5 //°C
Tfrente = 73.9 //°C
TTra = 58.19 //°C
e = 0.95
Tbu= 43.3 //°C
Tw =300
Tv=Tw/10
```

Figura A.1: Parâmetros de entrada

Apêndice B

A Figura B.1 apresenta equacionamento no Software IT, sem dependência da temperatura de vestimenta estas equações não fazem parte do cálculo iterativo.

```

//Não depende do Temp.Vestimenta
Tpel= 35.7 - 0.0275*(M-Wext) //Temperatura da pele
lv= 0.36*0.155 // Roupa de verão em clo para K.m2.W-1
Fv= 1.0 + 0.3*lv // Fator de Vestimenta
Hc= 8.3*V^0.6 // Coeficiente de transferencia de calor por convecção, W/m2.K
Rev= 0.835*Rvp + 0.024955 // Roupa de verão
Pps=0.75675*EXP(0.05742*Tpel) // Pressão parcial de vapor d'água kPa
He= RL* Hc // Coeficiente evaporativo de transferencia de calor, W/m2.K
Wamb = w_TTwb(Tamb,Tbu,Ptotal) // Umidade absoluta do ar ambiente, kgVA/kgAS; pressão em kPa
Pw=  $\frac{(Ptotal - 1000) \cdot Wamb}{0.62198 + Wamb}$ 
Epel=  $\frac{\left( w \cdot \left( Pps - \frac{Pw}{1000} \right) \right)}{\left( Rev + \frac{1}{Fv \cdot He} \right)}$  //Calor latente da pele,W/m2
mresp= Kresp* M* AD //Taxa de metabolismo
Tex= 32.6+ 0.066*Tamb+ 32*Wamb // Temperatura do ar expirado, °c
Tex= 32.6+ 0.066*Tamb+ 32*Wamb // Temperatura do ar expirado, °c
wex= 0.0277 + 0.000065*Tamb + 0.2*Wamb // Umidade absoluta do ar expirado,g (Vapor d'Água)/(kg de Ar Seco)]
Cresp=  $\frac{mresp \cdot Cpa \cdot (Tex - Tamb)}{AD}$  //Calor devido a respiração parcela convectiva,W/m2
Eresp=  $\frac{mresp \cdot hfg \cdot (wex - Wamb)}{AD}$  //Calor devido a respiração parcela evaporativa,W/m2
Tr=(TTeto*FnT) + (Tpiso*FnP) + (TLd*FnLd) + (TLe*FnLe) + (Tfrente*FnFre) + (TTra*FnTra) //Temp.Media radiante, °c
Hr= 4.7*e // Coeficiente de transferencia de calor para radiação, W/m2.K

```

Figura B.1:Equacionamento sem dependência da T_v

Apêndice C

A Figura C.1 apresenta equacionamento no Software IT com dependência da temperatura de vestimenta. O intervalo estimado de entrada da temperatura da vestimenta para o cálculo iterativo é de 30 a 40°C. O T_{v2} é resíduo da equação do balanço de energia; quando esse resíduo chegou ao intervalo de (0,1325 a -0,1123), foi obtido o valor da temperatura da vestimenta, e as parcelas do cálculo da carga térmica e o PMV.

```
// Dependem do Tv
C= Fv*Hc*(Tv-Tamb) //calor sensível parcela convectiva,W/m2
R=3.96 · 10-8*Fv · ((Tv+ 273)4 - (Tr+ 274)4) //calor sensível parcela radiante,W/m2
Tv2 = 35.7 - 0.028*(M-Wext) - Rev*(R+C) - Tv //Balanço para Temperatura de vestimenta, °c
A=M-Wext
B= Cresp+Eresp + (C+R) + ( Epel)
Top=  $\frac{Hc \cdot Tamb + Hr \cdot Tr}{Hc + Hr}$  //Temperatura Operativa, °c
L= A-B //W/m²
PMV= (0.303*EXP(-0.036*M)+0.028)*L
```

Figura C.1: Equacionamento com dependência do T_v