

I. O ÔNIBUS E SEU TRAJETO

Para a modelagem do sistema proposto, pensamos em adequar o modelo à rotina diária de um ônibus, assim, foi criada uma rota em que o ônibus deveria percorrer, com um total de 50 paradas entre o ponto de partida e o ponto final (figura 1).

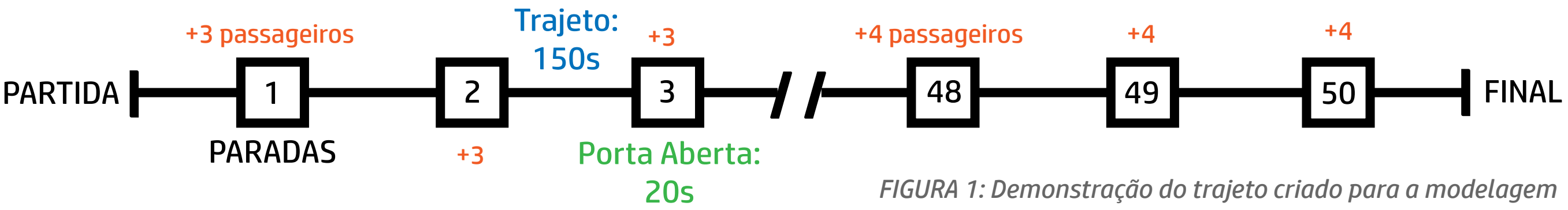


FIGURA 1: Demonstração do trajeto criado para a modelagem

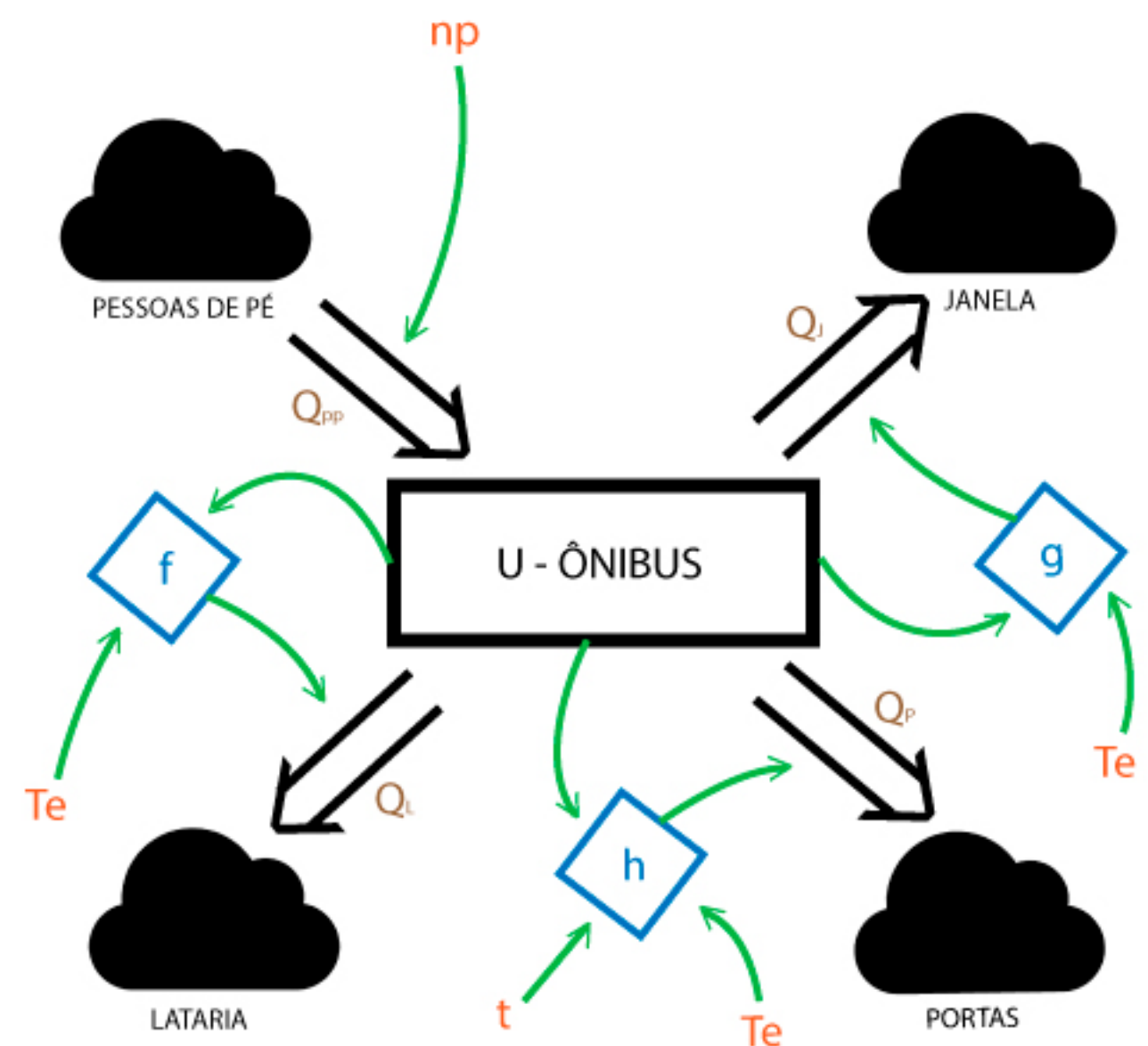
Entre as paradas, o trajeto duraria 150s e, na parada, a porta permaneceria aberta por 20s. Como o objetivo é analisar como a temperatura interna do ônibus varia conforme o número de passageiros, o veículo sairia do ponto de partida apenas com seus dois funcionários (o cobrador e o motorista) e iria sempre enchendo ao longo das paradas, até chegar em seu ponto final lotado. Por questões de arredondamento (já que não podem entrar 3,5 pessoas), nas primeiras 25 paradas entram 3 passageiros e nas 25 últimas 4. A temperatura ambiente da modelagem é de 293K (20°C). Já que na vida real nas paradas ambas as portas de entrada e saída se abrem, adotamos o mesmo padrão, mesmo que em nosso modelo ninguém desça do ônibus.



ESPECIFICAÇÕES DO ÔNIBUS

LOTAÇÃO MÁXIMA: 175 PASSAGEIROS (+2 FUNCIONÁRIOS)  
COMPRIMENTO: 18,6m  
LARGURA: 2,6m  
ALTURA: 3,5m  
NÚMERO DE JANELAS: 21 (1,2 x 0,9m - Largura x Altura)  
NÚMERO DE PORTAS: 3 (1,1 x 1,9m - Largura x Altura)

II. O MODELO E PREVISÕES



FLUXOS DE CALOR:

$Q_{pp}$ : Calor emitido pelos passageiros  
 $Q_j$ : Calor dissipado pela lataria  
 $Q_l$ : Calor dissipado pela janela  
 $Q_p$ : Calor dissipado quando a porta se abre

VARIÁVEIS EXÓGENAS

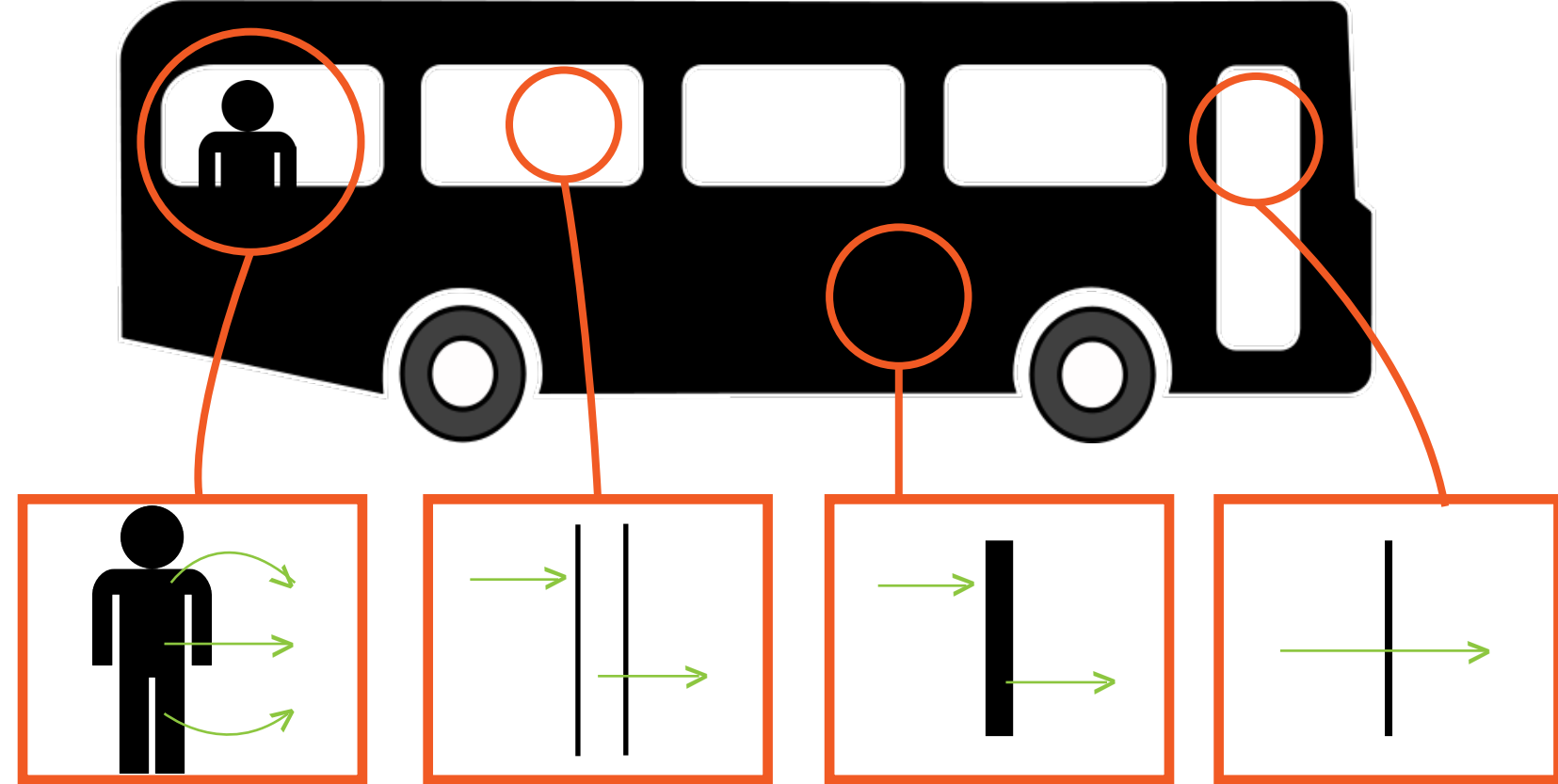
$T_e$ : Temperatura externa  
 $t$ : Tempo de abertura da porta  
 $np$ : Número de pessoas

PREVISÕES SOBRE O SISTEMA

- Segundo a lei do resfriamento de Newton, após um determinado período, o fluxo de calor emitido pelos passageiros será igual ao fluxo de calor dissipado, portanto, a temperatura interna do ônibus tenderá a um valor constante.
- Quando a porta se abrir, haverá uma diminuição considerável na temperatura interna do ônibus, porém, em algum momento, a emissão de calor pelos passageiros será tão grande, que mesmo com a porta aberta, a temperatura interna aumentará.

III. AS EQUAÇÕES DO SISTEMA

FENÔMENOS FÍSICOS - TROCAS DE CALOR



Os **passageiros** trocam calor com o ar interno do ônibus por convecção. O ar interno transfere calor, por condução, para a **janela** que por convecção transfere calor para o ar externo. O ar interno transfere calor, por condução, para a **lataria** que por convecção transfere ao ar externo. Quando a **porta** se abre, o ar interno troca calor com o ar externo, por convecção, já que ambos entram em contato.

$$\begin{cases} \frac{dU}{dt} = M_{ar} * c_{ar} * \frac{dT}{dt} \\ \frac{dU}{dt} = \dot{Q}_{pp} - \dot{Q}_L - \dot{Q}_J - \dot{Q}_P \end{cases}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\dot{Q}_{pp} - \dot{Q}_J - \dot{Q}_L - \dot{Q}_P}{M_{ar} * c_{ar}}$$

VARIÁVEIS

$T_{int}$  = Temperatura interna. Inicialmente igual à temperatura externa  
 $T_{ext}$  = Temperatura externa = 293K (20°C)  
 $M_{ar}$  = Massa de ar no ônibus = 203,1kg  
 $c_{ar}$  = calor específico do ar = 1004,83 J/kgK

IV. AS LIMITAÇÕES DO MODELO

- O modelo é incapaz de avaliar sistemas de refrigeração, como ar condicionado, pois a ferramenta utilizada na modelagem (odeint do Python), não era capaz de inserir mais um fluxo no sistema.
- A única fonte de calor do sistema são os passageiros, já que a irradiação solar foi desconsiderada, assim, a temperatura interna do ônibus não poderá ser maior que a temperatura corporal. O sistema portanto, para tempos de análise muito grandes, não representará a realidade.
- As janelas foram consideradas fechadas por causa da chuva, porém, com a temperatura interna do ônibus aumentando muito, as pessoas tenderiam a abrir as janelas, pois o calor dentro do ônibus seria intenso, logo, o ônibus perderia muito mais calor para o meio externo.
- O modelo desconsidera os efeitos da umidade relativa do ar, que durante a chuva aumenta e ajuda a acumular muito mais calor.

O MODELO É EFICIENTE PARA O CENÁRIO CRIADO.  
CASO O OBJETIVO SEJA AVALIAR COMO A  
TEMPERATURA VARIA EM OUTROS CENÁRIOS, O MODELO PODERIA SER UTILIZADO,  
MAS PRECISARIA DE ADAPTAÇÕES.

COMO O NÚMERO DE PESSOAS DENTRO DE UM ÔNIBUS ALTERA O CONFORTO TÉRMICO DOS PASSAGEIROS?

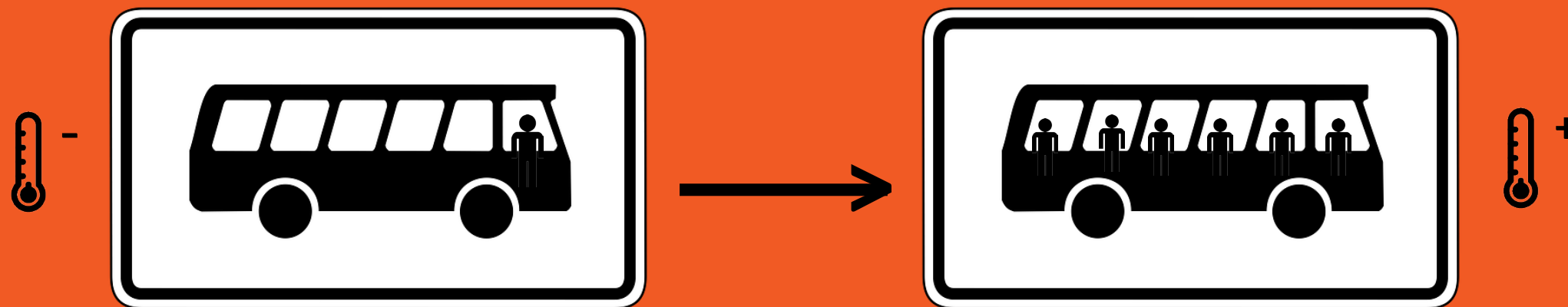
1B - Lucas Fontenla & Victor Hugo Leal  
MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO MUNDO FÍSICO | Prof.: Fábio Hage

RESUMO:

Em dias chuvosos e nublados, as pessoas que utilizam transporte público fecham as janelas para evitar a entrada de água no veículo, porém, conforme o hora do rush se aproxima, mais pessoas entram no ônibus e a temperatura interna do veículo aumenta muito. Ao longo do tempo, o conforto térmico das pessoas diminui, já que elas passam a sentir mais calor.

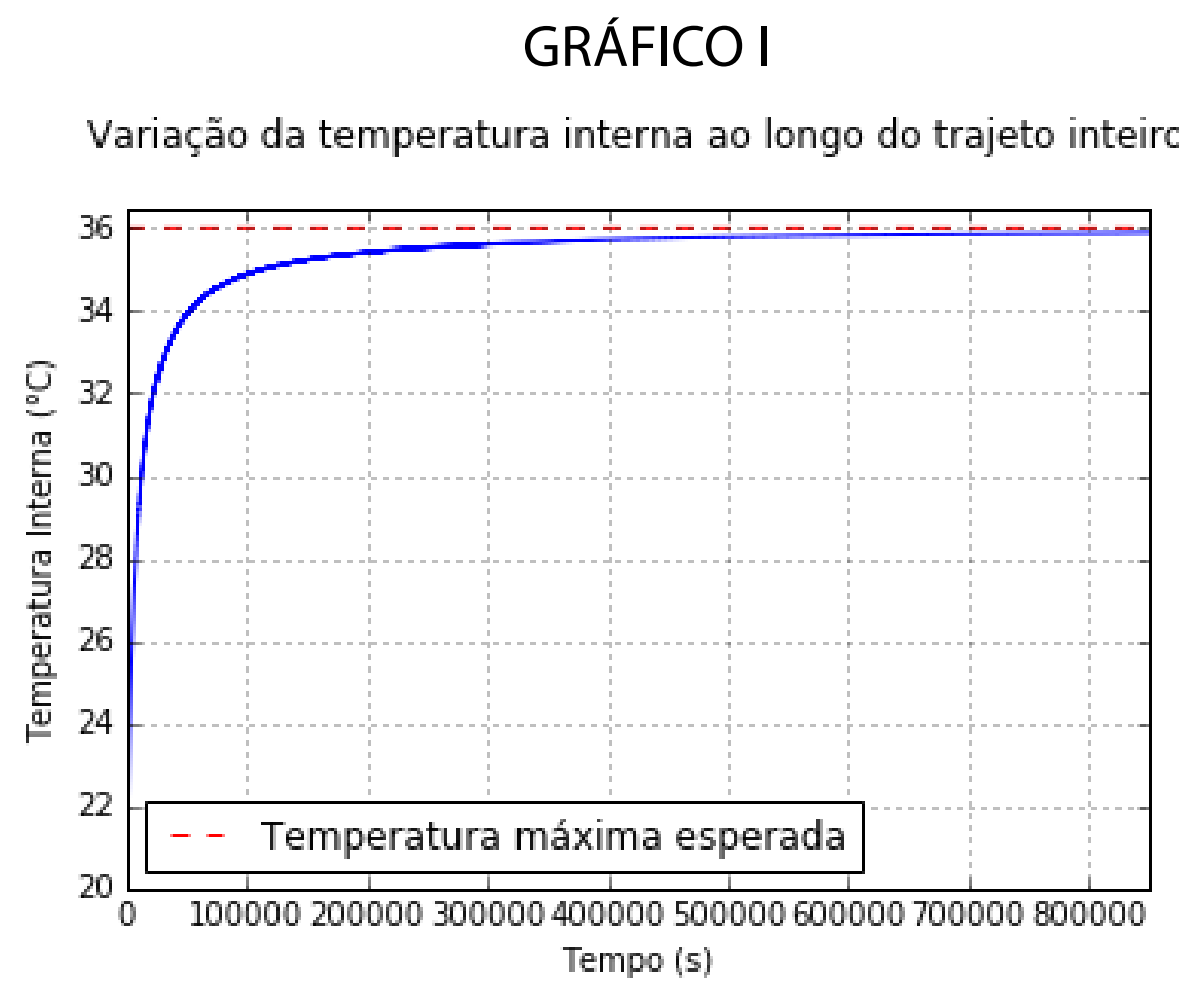
OBJETIVOS:

- Analisar como a temperatura interna de um ônibus varia durante seu trajeto conforme o número de passageiros.
- Comparar a variação de temperatura do ônibus com o conforto térmico dos passageiros

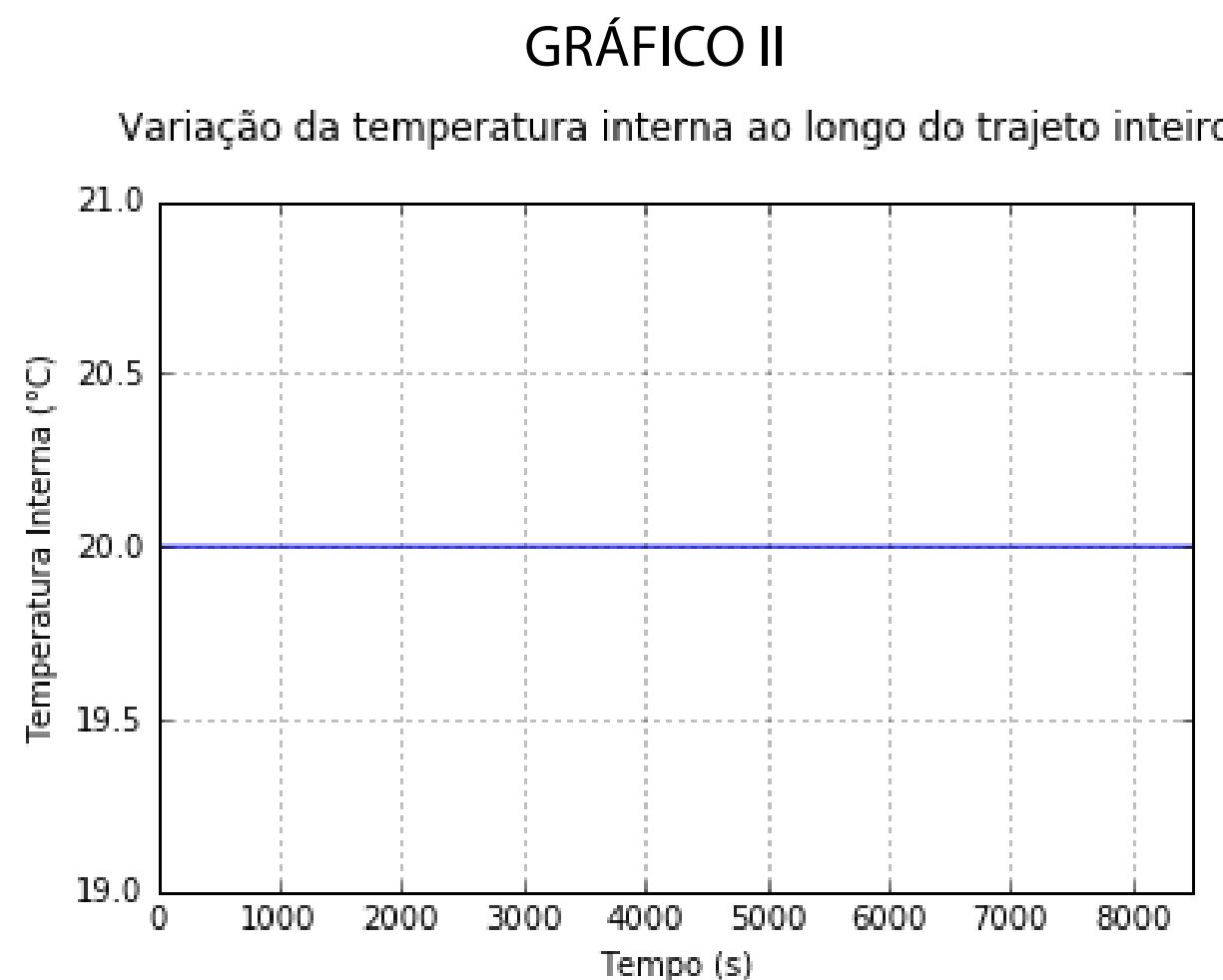


V. A VALIDAÇÃO DO MODELO

PARA VALIDAR O MODELO CRIADO, FORAM ESCOLHIDAS DUAS SITUAÇÕES EM QUE O MODELO SERIA LEVADO À ANÁLISE LIMITE.



No Gráfico I, o tempo foi estendido até 800 000s (equivalente à cerca de 222h) para avaliar qual seria a máxima temperatura que o sistema pode chegar. Como mencionado nas seções II e IV, a temperatura máxima no sistema é de 36°C, o que pode ser observado no gráfico.



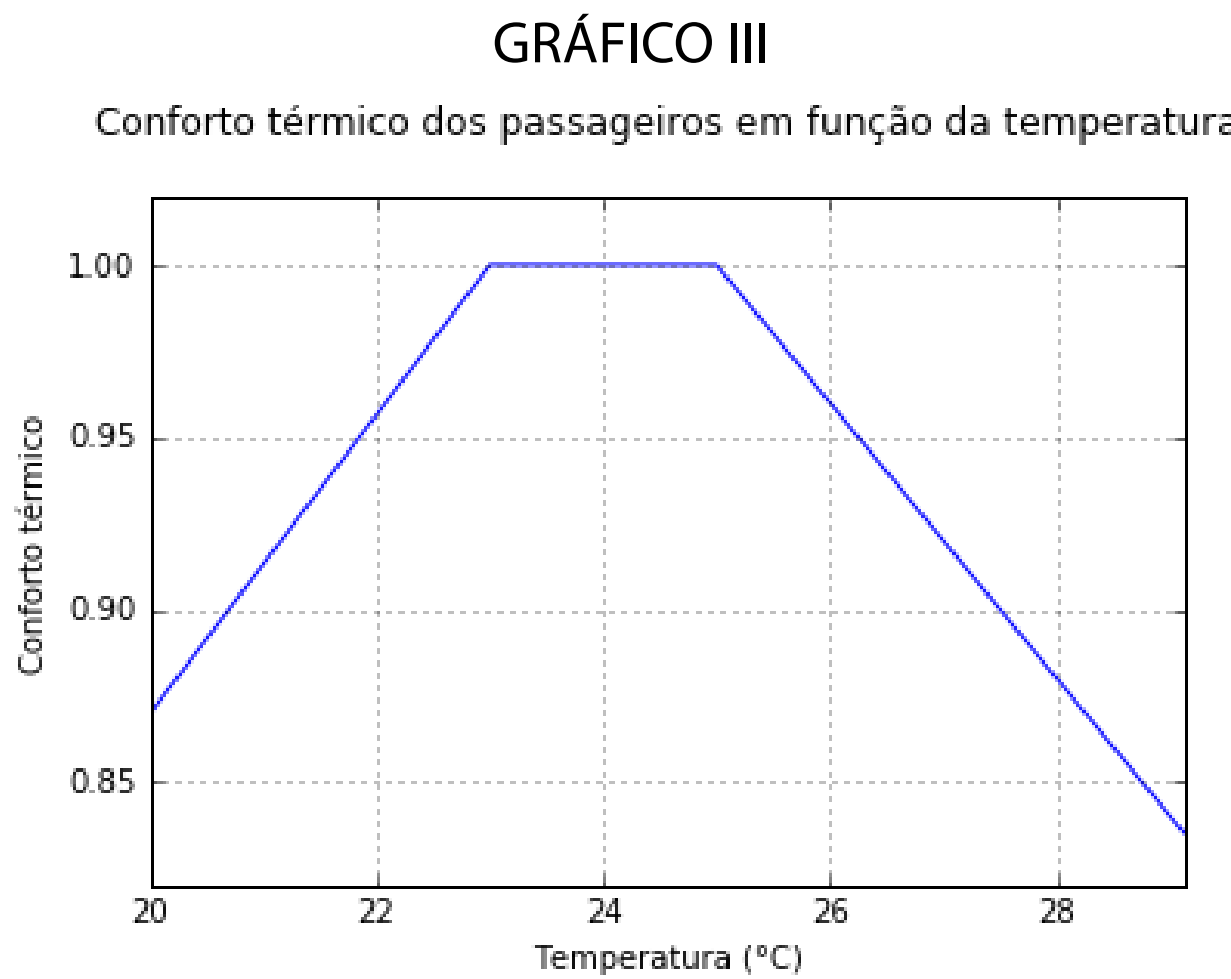
No Gráfico II, foram retirados todos os passageiros do ônibus. Como mencionado nas seções II e IV, a única fonte de calor do sistema são os passageiros, desse modo, sem passageiros, não há fluxo de calor entre o ar interno e externo do ônibus

VI. O CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico foi uma medida elaborada junto com a modelagem. Segundo a ISO 9241 (NBR 6401) a temperatura ideal do ambiente de trabalho é entre 23 e 25°C. A avaliação criada funciona da seguinte maneira:

- Entre 23 e 25°C: o conforto é máximo, portanto 1 (ou 100%)
- Abaixo de 23°C: a razão entre a temperatura do sistema é a temperatura de referência (23°C)
- Acima de 25°C: a razão entre a temperatura de referência (25°C) e a temperatura do sistema

O gráfico III abaixo demonstra o comportamento descrito acima.



VII. AFINAL, AQUECE OU NÃO?

Após a implementação do modelo em Python obtemos o gráfico IV abaixo, que demonstra a variação da temperatura do ônibus ao longo do trajeto. A partir desse gráfico, analisamos o conforto térmico ao longo da viagem (gráfico V). Ambos os gráficos foram mesclados (Gráfico IV) e analisados em relação ao número de passageiros. Note que a linha apresenta pequenas quebras referentes ao momento de abertura das portas. Para números de passageiros entre 40 e 70, o conforto térmico é máximo. Para outros valores começa a haver desconforto. No ônibus modelado, o maior desconforto se dá com 177 passageiros. Concluímos portanto que no período da viagem, o conforto térmico apresenta níveis satisfatórios, mesmo com o ônibus lotado.

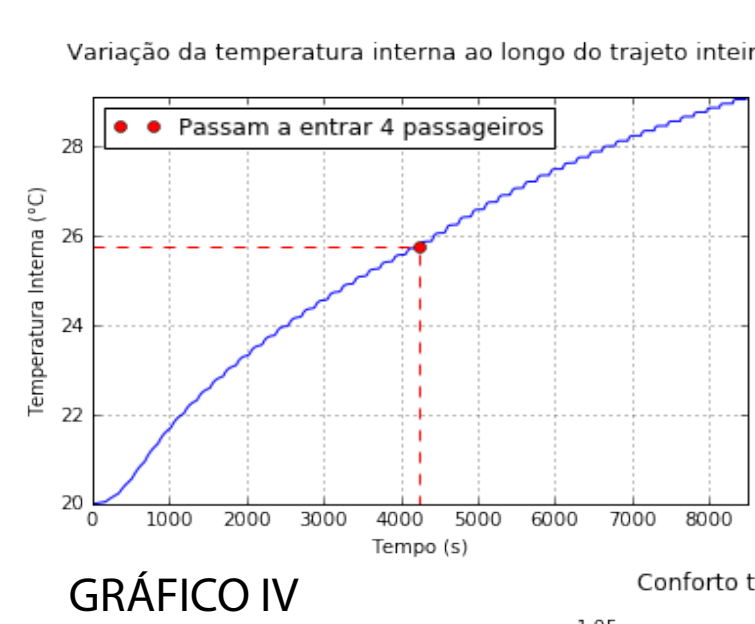


GRÁFICO IV

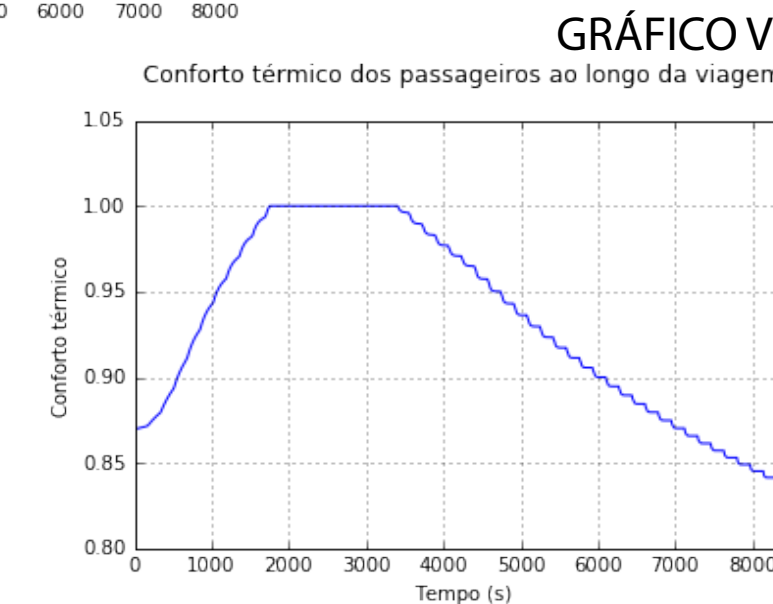
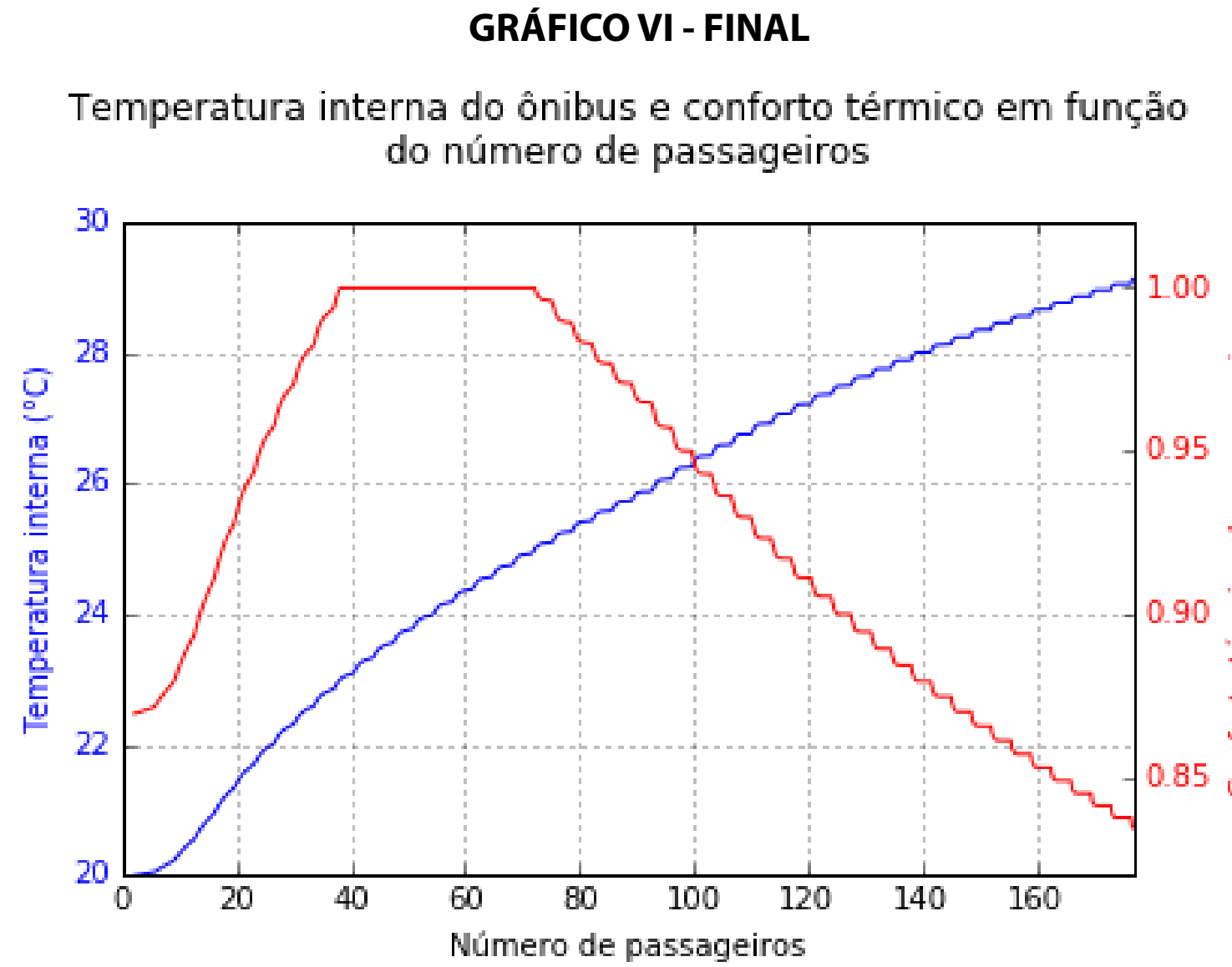


GRÁFICO V



VIII. FECHAMENTO

A modelagem retornou valores consistentes e se mostrou eficiente para responder a pergunta. Anteriormente buscamos analisar como se comportaria o sistema com o uso de ar condicionado, porém a função odeint do Python não demonstrou eficiência e abandonamos essa etapa da simulação.

FUTUROS TRABALHOS

- EXPANDIR O MODELO PARA ÔNIBUS QUE USAM AR CONDICIONADO COMO SISTEMA DE RESFRIAMENTO.
- COMPLEMENTANDO A PRIMEIRA PROPOSTA, AVALIAR O CUSTO ENERGÉTICO PARA AS EMPRESAS DE TRANSPORTE PÚBLICO, LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO TODA A FROTA DE VEÍCULOS.
- USAR DO MODELO E DOS DADOS COLHIDOS PARA AVALIAR COMO HÁ A PROPAGAÇÃO DE DOENÇAS PELO TRANSPORTE PÚBLICO.