

Agradecimentos

Gostaria de expressar o meu sincero agradecimento ao meu orientador, Engenheiro Francisco Manuel Gonçalves dos Santos, por me ter apoiado, motivado e orientado durante todo o processo de realização deste trabalho. Um agradecimento especial também ao co-orientador deste trabalho, Engenheiro António Manuel Matos Guerra, pela disponibilidade demonstrada.

Agradeço ao LABET e toda a sua equipa, em especial ao Engenheiro Telmo Nobre, por me ter autorizado a visita a este Laboratório. Gostaria de agradecer especialmente ao Engenheiro Vasco Pires pelo apoio e acompanhamento durante toda a minha visita, pelas suas explicações sobre o mecanismo de funcionamento do LABET e de todo o processo necessário para a realização dos ensaios, bem como pela sua disponibilidade.

Ao meu colega Bruno, da Secção de Projecto Mecânico, por me ter dado bases para utilizar o software de simulação utilizado neste trabalho, e também pela sua disponibilidade para me tirar as dúvidas que iam surgindo.

Ao António Peters, da Secção de Ar Condicionado do ISEL, pela sua disponibilidade e por me ter facultado parte da bibliografia utilizada neste trabalho.

A todos os meus colegas, pelo seu apoio e momentos de convívio, durante a realização deste trabalho.

À minha família por todo o seu apoio e incentivo ao longo destes últimos dois anos.

E a todos aqueles, que directa ou indirectamente, contribuíram para chegar ao fim desta etapa.

Resumo

O frio desempenha um papel fundamental na alimentação mundial, na medida em que permite preservar as qualidades essenciais dos géneros alimentares. Por este motivo, é necessário que existam cadeias de frio eficazes, que assegurem a higiene e segurança dos alimentos, desde o local onde são produzidos até aos locais de consumo. Um dos elementos fundamentais nesta cadeia é o transporte.

O presente estudo visou acompanhar e analisar os processos necessários à certificação de veículos destinados ao transporte de géneros perecíveis. Aborda a importância do transporte na cadeia de frio, bem como o interesse em certificar os referidos veículos. Esta certificação obedece normas estipuladas num acordo internacional, ATP, só podendo ser atribuída por laboratórios devidamente homologados. A legislação Portuguesa e a aplicabilidade do ATP em relação aos transportes nacionais e internacionais são também abordadas.

Actualmente Portugal não obriga a que os veículos que operem apenas em território nacional sejam certificados. Contudo, caso Portugal venha a adoptar o ATP para a sua legislação, terão de ser tomadas medidas que visem o aumento da capacidade de certificar veículos. Uma das hipóteses a considerar será os ensaios simulados informaticamente.

Efectuou-se o acompanhamento de dois ensaios, realizados num Laboratório Nacional, LABET, pertencente ao ISQ (Instituto de soldadura e Qualidade), a fim de se proceder à classificação e posterior certificação de dois veículos.

Foi ainda realizado um ensaio informático, para investigar a viabilidade destes ensaios poderem ser realizados em sistema informático. Os resultados obtidos indicam que o uso de ferramentas informáticas para simular ensaios ATP, poderá vir a ser uma solução viável, reduzindo não só os custos para as empresas de transportes, mas também os tempos de ensaios.

Palavras Chave: ATP, transporte, géneros perecíveis, software, simulação informática, LABET, *floworks*.

Abstract

Cold plays a key role in feeding the world, in so far as to preserve the essential qualities of food. For this reason, it is necessary that an efficient cold chain, ensuring hygiene and food safety, from the place where they are produced to the places of consumption. A vital element in this chain is transportation.

This study aimed to monitor and review the processes required for certification of vehicles for the transport of perishable goods. The importance of transport in cold chain, and the importance of certifying those vehicles are discussed. This certification meets the standards set in an international agreement, ATP, and can only be awarded by accredited testing laboratories. Portuguese legislation and the applicability of ATP in relation to national and international transport are also addressed.

Portugal currently does not require that the vehicles that operate only on national territory are certified. However, if Portugal adopt the ATP for its legislation, measures must be taken to increase the capacity of certification of these vehicles. One hypothesis is to consider the tests simulated by computer.

Two tests, realized in a National Laboratory, LABET, belonging to the ISQ (Instituto de Soldadura e Qualidade/Institute of Welding and Quality) were followed, in order to proceed to the classification and subsequent certification of two vehicles.

A software simulation was also carried out in order to investigate the feasibility of these tests can be performed in a computerized system. The results indicate that the use of computer tools to simulate testing ATP, could be a viable solution, not only reducing costs for transport companies, but also the time of testing.

Keywords: ATP, transport, perishable foodstuffs, software, software simulation, LABET, *floworks*.

Índice

1. Introdução	1
2. ATP - O que é?	3
2.1. Classificação de caixas isotérmicas	4
2.2. Classificação de veículos	4
2.2.1. Veículo Refrigerado – R	4
2.2.2. Veículo Frigorífico – F	5
2.2.3. Veículo Calorífico – C	6
2.3. Identificação de equipamentos	6
2.3.1. Identificação no veículo, a título de exemplo.	8
2.4. Validade	8
3. Laboratório	8
3.1. Condições para validar ensaios	9
3.1.1. Ensaio para determinação do valor K	9
3.1.2. Coeficiente global de transmissão térmica - K	9
3.1.3. Área média da superfície da caixa isotérmica do veículo	10
3.2. Medição de temperaturas	10
3.3. Procedimentos para a obtenção de K	11
3.4. Eficiência do grupo frigorífico	12
4. Ensaios	16
4.1. Veículo 1	18
4.1.1. Características da Caixa	18
4.1.2. Dimensões	19
4.1.3. Tratamento de Dados	19
1.1.1.1. Ensaio K	19
1.1.1.2. Condições de temperatura a verificar	20
1.1.1.3. Condições Gerais para validar a obtenção do valor K	24
4.1.4. Eficiência	26
1.1.1.4. Condições a serem verificadas de modo a validar o ensaio de eficiência	26
1.1.1.5. Início do ensaio	26
4.2. Veículo 2	30

4.2.1.	Características da caixa	30
4.2.2.	Dimensões	31
4.2.3.	Ensaio K	31
4.2.4.	Eficiência	34
4.2.5.	Potência	35
5.	Certificação	35
5.1.	Documentação	35
5.1.1.	Cor	36
5.1.2.	Letra:	36
5.1.3.	Dimensões:	36
6.	Simulação em <i>floworks</i>	37
6.1.	Criação de um modelo para simular	38
6.1.1.	Caixa isotérmica	38
6.1.2.	Túnel de ensaios	38
6.2.	Input Data	40
6.2.1.	Tipo de análise	40
6.2.2.	Fluidos	41
6.2.3.	Sólidos	42
6.2.4.	Condições das paredes	42
6.2.5.	Condições iniciais	42
6.3.	Domínio Computacional	43
6.4.	Subdomínios (fluid sub-domains)	44
6.5.	Materiais sólidos (<i>Solid Materials</i>)	44
6.6.	Condições Fronteira (<i>Boundary Conditions</i>)	45
6.6.1.	Escoamento do ar no túnel de ensaio	45
6.6.2.	Pressão Ambiente (Environment Pressure)	48
6.6.3.	Condições fronteira dos permutadores	49
6.7.	Resistências eléctricas	52
6.8.	Processamento	56
6.8.1.	Criação da malha	57
6.8.2.	Processo de cálculo	57
6.9.	Análise de resultados	57

6.9.1. Distribuição de velocidades	57
6.9.2. Temperaturas	59
1.1.1.6. Paredes internas	59
1.1.1.7. Paredes externas	60
6.10. Recolha de dados simulando os sensores colocados no ensaio realizado no LABET 61	
7. Conclusões	63
8 Bibliografia	65
9 Anexo I	66
10 Anexo II	102
11 Anexo III	107

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Classificação de Equipamentos segundo a NP 1524 e o ATP	7
Tabela 2 - Temperaturas máximas admissíveis no transporte em função do produto, do veículo e da duração (segundo a NP 1524 2008 (revisão))	15
Tabela 3 - Dimensões da caixa isotérmica do veículo 1	19
Tabela 4 - Análise e comparação de valores de potencia recolhidos em dois períodos das ultimas 12 horas	21
Tabela 5 - Registo dos valores principais que validam o ensaio	24
Tabela 6 - Comparação entre valores obtidos e os estipulados no ATP	25
Tabela 7 - Dados para a obtenção do valor K	25
Tabela 8 - Marcação do inicio do ensaio	27
Tabela 9 - Dados para obtenção do valor médio da potência	28
Tabela 10 - Valores de potência para vários valores de temperatura exterior	29
Tabela 11 - Dimensões da caixa isotérmica do veículo 2	31
Tabela 12 - Registo dos valores principais que validam o ensaio	33
Tabela 13 - Dados para o cálculo da transferência de calor em cada parede da caixa isotérmica	55

Lista de Figuras

Figura 1 - Pormenor de um sensor de temperatura colocado no exterior do veículo.....	16
Figura 2- Montagem dos sensores no interior do veículo	17
Figura 3 - Montagem do permutadores e dos termoventiladores no interior do veículo	17
Figura 4 - Sistema túnel de ensaios/caixa isotérmica.....	39
Figura 5- Vista lateral distâncias entre túnel de ensaios e caixa isotérmica	39
Figura 6 - Modelo escolhido para simular o permutador	40
Figura 7 - Corte segundo o plano frontal mostrando os permutadores de calor	40
Figura 8 - Menu "General settings".....	41
Figura 9 - Menu "General settings"	41
Figura 10 - Menu "General settings".....	42
Figura 11 - Menu "General settings".....	43
Figura 12- Domínio Computacional	43
Figura 13 - Subdomínio, o interior da caixa isotérmica.....	44
Figura 14 - Definição de sólidos e suas características.....	45
Figura 15 - Inserção de dados	47
Figura 16 - Vectores Velocidade.....	48
Figura 17 - Inserção de dados	49
Figura 18 - Inserção de dados	50
Figura 19 - Pormenor do permutador, e a azul a definição da secção de escoamento.....	51
Figura 20 - Inserção de dados	51
Figura 21 - Pormenor do permutador, entrada do escoamento pela circunferência a cinzento e saída pelo disco a azul	52
Figura 22 - Pormenor das alhetas dos permutadores.....	55
Figura 23 - Inserção de dados	56
Figura 24 - Malha definida pelo software	57
Figura 25 - Distribuição de velocidades na parede lateral	58
Figura 26 - Distribuição de velocidades no tecto (topo).....	58
Figura 27 - Distribuição do ar pelos ventiladores no interior da caixa isotérmica.....	59
Figura 28 - Distribuição de temperaturas na parede lateral interior.....	59
Figura 29 - Distribuição de temperaturas na parede lateral exterior	60
Figura 30 - Distribuição das temperaturas do ar a 100mm da parede lateral exterior	60
Figura 31 - Colocação dos pontos de recolha de dados	61

Lista de Tabelas

Gráfico 1 - temperatura média interior nas últimas 12 horas.....	20
Gráfico 2 - Temperatura exterior nas últimas 12 horas.....	21
Gráfico 3 - temperatura interior nas ultimas 6 horas.....	22
Gráfico 4 - Temperatura exterior nas ultimas 6 horas.....	23
Gráfico 5 - Gráfico de potência e temperaturas	23
Gráfico 6 – Eficiência, potencia, temperatura interior e temperatura de classe.....	29
Gráfico 7 - temperatura média interior nas últimas 12 horas.....	32
Gráfico 8 - Temperatura média exterior nas últimas 12 horas.....	32
Gráfico 9- Temperatura média interior nas últimas 6 horas.....	33
Gráfico 10 - temperatura média exterior nas últimas 6 horas	33
Gráfico 11 - Eficiência, potencia, temperatura interior e temperatura de classe	34

1. Introdução

Em inúmeros países, a cadeia do frio diz respeito a mais de metade dos alimentos consumidos. A procura crescente de produtos frescos, com grandes períodos de conservação gera novos riscos. Estes riscos são acentuados pelo fenómeno do consumo em massa, e por novos modos de consumo: *fast-food*, redução do tempo de cozedura no intuito de preservar as propriedades organoléticas, e preparação no micro-ondas.

Estes riscos podem ser reduzidos com um bom domínio da cadeia do frio. De acordo com o Institut International du Froid (2009), cadeias de frio eficazes, desde os locais de produção até às zonas de consumo, podem reduzir significativamente os desperdícios de géneros alimentícios verificados após a produção, na medida em que aumentam o tempo de conservação dos produtos e preservam as suas propriedades originais.

Uma das partes mais importantes da cadeia de frio é o transporte. Para garantir a qualidade final do produto transportado é essencial ter um bom controlo sobre a temperatura e, para isso, terá de se dispor de equipamentos com performances adequadas e saber utilizá-los de forma correcta.

Para dominar a cadeia de frio, segundo Commère (2003), é necessário combinar em cada etapa três abordagens complementares:

- Garantir as características técnicas do equipamento;
- Qualificar os modos de operação e de utilização dos equipamentos;
- Verificar o resultado com um levantamento de temperaturas, em tempo real, e a posteriori.

O transporte internacional de géneros perecíveis foi regulamentado nos anos 70, a fim de facilitar as passagens nas fronteiras e melhorar a qualidade dos transportes frigoríficos, através do *Acordo Internacional Relativo aos Transportes de Géneros Perecíveis e aos Equipamentos Especiais a Utilizar nesses Transportes*, (ATP). Actualmente, 44 países são signatários deste acordo, que define as características térmicas dos equipamentos de transporte.

O ATP, estipula, por exemplo, que os camiões devem ser isotérmicos e devem ser equipados com um dispositivo de produção de frio suficientemente potente para baixar a temperatura interior quando vazios, e mantê-la num certo nível durante a sua vida útil.

Os países que assinaram o ATP estão obrigados a cumprir as obrigações regulamentares nele estipuladas. Países do sul da Europa tais como França, Itália ou Espanha, impõem também esta regulamentação às transportadoras que só operam em território nacional, enquanto países do norte da Europa apenas aplicam este regulamento aos transportes internacionais (Commère, 2003).

De acordo com Commère (2003), a primeira característica a ser medida nos equipamentos é a isotermy. Esta característica é testada num túnel de ensaios designado, em cada país, pela autoridade competente. Há dois níveis de isotermy, o normal inferior a 0.7 e superior a 0.4 $W/m^2\ ^\circ C$, e o reforçado inferior a 0.4 $W/m^2\ ^\circ C$.

A outra característica a ser medida é a eficiência do grupo frigorífico, ou seja, a relação entre a quantidade de calor retirado por unidade de tempo e a quantidade de calor que entra por unidade de tempo. Um grupo frigorífico deverá ter um coeficiente de segurança, em relação à sua potência, com um valor mínimo de 1.75, de modo a conseguir suportar todas as cargas suplementares, tais como descongelações e envelhecimento das paredes, que ao longo do tempo deixarão passar uma quantidade de calor cada vez maior. Na prática, os clientes pedem aos construtores de grupos frigoríficos, equipamentos sobredimensionados, de modo a que seja possível baixar a temperatura rapidamente antes do carregamento e compensar a abertura das portas.

Em Portugal, as empresas de transportes frigoríficos internacionais têm de certificar os seus veículos de acordo com o ATP. Esta certificação será válida por 6 anos, após os quais o veículo terá novamente de ser submetido a nova inspeção, que será apenas visual, de modo a verificar se os equipamentos e a caixa isotérmica do veículo mantiveram as mesmas características. Esta inspeção valida o certificado por mais 3 anos, após os quais o veículo terá de ser obrigatoriamente submetido a um novo teste, no túnel de ensaios.

O estudo que se apresenta visa o acompanhamento de dois ensaios realizados num Laboratório Nacional, LABET, sito em Castelo Branco, pertencente ao ISQ (Instituto de soldadura e Qualidade). Os dados obtidos irão ser tratados de modo a validar os ensaios nas condições estipuladas pelo ATP.

Por fim, será feita uma tentativa de reproduzir parte de um dos ensaios em suporte informático, recorrendo ao *software flowworks*, numa tentativa de testar a viabilidade de simular estes ensaios em sistema informático.

Caso Portugal venha a adoptar o ATP como base da sua legislação nacional, será de esperar um grande aumento de veículos que irão necessitar de ser certificados, não tendo o LABET capacidade para tanto. Deste modo, terão de ser criadas alternativas, como por exemplo a criação de maior número de centros certificadores, ou a utilização da informática para simular estes ensaios. Esta última opção teria como vantagem a diminuição do tempo de cada ensaio e também a redução de necessidades, em termos de espaço. Neste sentido, apenas os equipamentos que não pudessem ser simulados informaticamente necessitariam de ser certificados em laboratório.

2. ATP - O que é?

ATP é a sigla utilizada para designar o *Acordo Relativo aos Transportes Internacionais de Produtos Perecíveis e aos Equipamentos Especiais a Utilizar nestes Transportes*. Este acordo, assinado em Genebra a 1 de Setembro de 1970, entrou em vigor a 21 de Novembro de 1976, após o que tem vindo a ser frequentemente rectificado por um grupo de trabalho denominado WP.11 (the Working Party on the Transport of Perishable Foodstuffs).

O ATP visa criar procedimentos de certificação de caixas isotérmicas e dos equipamentos a estas associados, a fim de garantir a qualidade do produto transportado. Classifica também os referidos equipamentos quanto às suas características: tipo de caixa, temperatura de classe e coeficiente de transmissão. Esta classificação irá ser objecto de análise, mais adiante, neste trabalho.

É ainda objectivo do ATP garantir que tanto as caixas, como os grupos frigoríficos que delas façam parte, sejam eficientes energeticamente, de modo a reduzir os gastos de energia. Uma caixa destinada ao transporte de alimentos perecíveis, não poderá ser tida em conta como sendo “isolada”, “refrigerada”, “refrigerada mecanicamente” ou “aquecida”, a não ser que obedeça às condições definidas pelo regulamento.

O ATP aplica-se a transportes efectuados sobre o território de pelo menos dois dos países signatários. Contudo, vários países adoptaram este acordo como base da sua legislação nacional, impondo também esta regulamentação às transportadoras a operar apenas em território nacional, o que não é o caso de Portugal de acordo o despacho nº 20 448/2005 (2ª série) da Direcção-Geral de Viação (Ministério da Administração Interna).

2.1. Classificação de caixas isotérmicas

Essencialmente pode-se classificar uma caixa isotérmica, segundo o ATP, em relação ao coeficiente global de transmissão térmica K:

- K igual ou inferior 0,7 W/m². K é atribuída a categoria à caixa isotérmica de isotérmica normal IN.

- K igual ou inferior a 0,4 W/m².K é atribuída à caixa isotérmica categoria de isotérmica reforçada IR.

2.2. Classificação de veículos

2.2.1. Veículo Refrigerado – R

Denomina-se veículo refrigerado aquele que, com recurso a um equipamento que não seja mecânico ou de absorção, consiga baixar e por conseguinte manter a temperatura no seu interior, para uma temperatura exterior de 30°C. Assim, consoante a sua temperatura de classe, um veículo irá ser classificado da seguinte forma:

Classe A - transporte a uma temperatura interior máxima de +7°C

Classe B - transporte a uma temperatura interior máxima de -10°C

Classe C - transporte a uma temperatura interior máxima de - 20°C

Classe D - transporte a uma temperatura interior máxima de 0°C

Para as classes B e C, o coeficiente K terá sempre de ser igual ou inferior a 0.40 W/m².K

A fonte de frio, com recurso a sistemas apropriados, poderá ser constituída por gelo hídrico (com ou sem adição de sal), neve carbónica (com ou sem regulação da evaporação), e placas eutéticas (fixas ou amovíveis). O veículo deverá dispor de compartimentos e recipientes ou reservatórios necessários ao agente frigorígeno e sistemas. Estes sistemas, compartimentos, recipientes ou reservatórios devem ser carregados ou recarregados a partir do exterior, e, no caso de serem placas eutéticas, devem ser regeneradas a partir do exterior.

Em termos de capacidade, estes equipamentos devem conseguir baixar a temperatura até à temperatura de classe, e mantê-la pelo menos durante 12 horas, sem necessidade de serem reabastecidos.

2.2.2. Veículo Frigorífico – F

Denomina-se por veículo frigorífico aquele que possui uma caixa isotérmica munida de um equipamento de produção de frio mecânico ou um sistema de absorção, que permita baixar e manter uma temperatura (temperatura de classe) para uma temperatura exterior de +30°C.

Classe A - transporte a uma temperatura interior compreendida entre +12°C e 0°C.

Classe B- transporte a uma temperatura interior compreendida entre +12°C e -10°C.

Classe C - transporte a uma temperatura interior compreendida entre +12°C e 0°C.

Classe D - transporte a uma temperatura interior inferior a 0°C.

Classe E - transporte a uma temperatura interior inferior a -10°C.

Classe F - transporte a uma temperatura interior inferior a -20°C.

Para as classes B, C, E e F o coeficiente K terá sempre de ser igual ou inferior a 0.40 W/m².K.

2.2.3. Veículo Calorífico – C

Denomina-se por veículo calorífico aquele que, com o auxílio de uma fonte de calor, seja capaz de elevar a sua temperatura interior a um valor igual ou superior a 12°C e mantê-la durante 12 horas, sem reabastecimento, para uma temperatura exterior de acordo com a classe.

Classe A - transporte a uma temperatura média exterior de -10°C.

Classe B - transporte a uma temperatura média exterior de -20°C.

2.3. Identificação de equipamentos

Os equipamentos são classificados de acordo com 3 pontos:

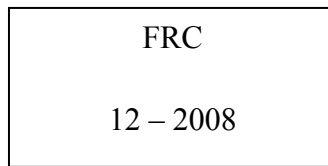
- Quanto ao tipo, refrigerado, frigorífico ou calorífico (R, F ou C)
- Quanto à isoterminia da caixa isotérmica: reforçado ou normal (R ou N)
- Quanto à temperatura de classe (A, B, C, D, ...)

Na Tabela 1 apresentam-se as classificações previstas pelo ATP segundo a NP 1524

Designação	Isotermia	Classe	Identificação	Coefficiente K [W.m ² .°C]	Temperatur a interior [°C]	Temperatur a exterior [°C]
Isotérmico	Normal		IN			
	Reforçado		IR			
Refrigerado	Normal	A	RNA	0,7	+7	+30
	Reforçado	A	RRA	0,4	+7	+30
	Reforçado	B	RRB	0,4	-10	+30
	Reforçado	C	RRC	0,4	-20	+30
	Normal	D	RND	0,7	0	+30
	Reforçado	D	RRD	0,4	0	+30
Frigorífico	Normal	A	FNA	0,7	+12/0	+30
	Reforçado	A	FRA	0,4	+12/-10	+30
	Reforçado	B	FRB	0,4	+12/-10	+30
	Reforçado	C	FRC	0,4	+12/-20	+30
	Normal	D	FND	0,7	+2	+30
	Reforçado	D	FRD	0,4	+2	+30
	Reforçado	E	FRE	0,4	-10	+30
	Reforçado	F	FRF	0,4	-20	+30
Calorífico	Normal	A	CNA	0,7	+12	-10
	Reforçado	A	CRA	0,4	+12	-10
	Reforçado	B	CRB	0,4	+12	-20

Tabela 1 - Classificação de Equipamentos segundo a NP 1524 e o ATP

2.3.1. Identificação no veículo, a título de exemplo.



Em que FRC significa Veículo Frigorífico (F) com caixa reforçada (R) de classe C. No que respeita à data, esta refere-se à validade do certificado, ou seja, a data a partir da qual o veículo deverá ser novamente inspeccionado.

2.4. Validade

O certificado emitido é válido por 6 anos, período após o qual o veículo terá de ser novamente submetido a:

- Inspeção visual, válida por mais 3 anos
- Directamente submetido a um ensaio em laboratório

3. Laboratório

Por despacho de 5 de Dezembro de 2003, do Director Geral dos Transportes Terrestres publicado no DR II Série nº 295 de 23 de Dezembro, o Instituto da Soldadura e Qualidade (ISQ) foi reconhecido como entidade competente para certificar as conformidades dos equipamentos utilizados no transporte de produtos alimentares perecíveis com as normas do acordo relativo a Transportes Internacionais de produtos alimentares perecíveis e aos equipamentos especializados a utilizar neste transporte (ATP).

Os ensaios para o presente trabalho foram realizados no LABET- Laboratório de Ensaios Termodinâmicos, pertencente ao ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade. Esta entidade é a única estação acreditada em Portugal para certificações ATP. Localizado em Castelo Branco, o LABET é essencialmente constituído por dois bancos de ensaio, ou túneis, com

dimensões suficientes para albergar um semi-reboque TIR. Os túneis têm aproximadamente 45kW de potência tanto de aquecimento como de arrefecimento fornecidos através de um *chiller* bomba de calor. Em relação à ventilação, esta consegue garantir um caudal de ar de modo a conseguir uma velocidade média igual à velocidade definida no ATP, nas secções transversais do(s) veículo(s) a ensaiar.

No que respeita ao controlo de sistemas, este é feito numa sala de controlo que gere de forma autónoma todo o ensaio, parando automaticamente as máquinas assim que as condições definidas pelo ATP sejam atingidas.

3.1. Condições para validar ensaios

3.1.1. Ensaio para determinação do valor K

De seguida apresentam-se as principais condições que o veículo, laboratório e o próprio ensaio terão de cumprir de modo a que seja possível validar o ensaio. Toda a informação apresentada a partir deste ponto é baseada no ATP edição 2007.

Para esclarecimento de qualquer dúvida relacionada com o ATP, este pode ser consultado em <http://www.unece.org/trans/main/wp11/atp.html>

3.1.2. Coefficiente global de transmissão térmica - K

$$K = \frac{W}{S \cdot \Delta\theta} \quad \text{em que:}$$

K - é o coeficiente global de transmissão térmica da caixa isotérmica do veículo,

W - é a potência necessária para manter a diferença de temperatura $\Delta\theta$, ou seja a diferença entre a temperatura média exterior θ_e e a temperatura média interior θ_i para uma superfície média S, para uma temperatura média exterior constante.

S - é a área média da superfície da caixa isotérmica do veículo.

3.1.3. Área média da superfície da caixa isotérmica do veículo

$S = \sqrt{S_i \cdot S_e}$, em que:

S é a área média da superfície da caixa isotérmica do veículo.

S_i é a área da superfície interna da caixa isotérmica do veículo,

S_e é a área da superfície externa da caixa isotérmica do veículo,

3.2. Medição de temperaturas

Sendo ambas as caixas dos veículos paralelepípedicas, o processo para medição das temperaturas, segundo o ATP, é:

- A temperatura interior média é a média aritmética de 12 medidas feitas a 10 cm das paredes, nos seguintes pontos:
 - Os 8 cantos do interior da caixa;
 - Os centros das 4 superfícies com a maior área.
- A temperatura exterior média, é a média aritmética de 12 medidas feitas a 10 cm das paredes, nos seguintes pontos:
 - Os 8 cantos do exterior da caixa;
 - Os centros das 4 superfícies com a maior área.

Deste modo, a temperatura média das paredes da caixa é dada por:

$\frac{\theta_e + \theta_i}{2}$, em que:

θ_e é temperatura média da superfície exterior;

θ_i é temperatura média da superfície interior.

Ambas as temperaturas médias (interior e exterior), obtidas ao longo de um período estabilizado não inferior a 12 horas, não poderão variar mais do que $\pm 0.3^\circ\text{C}$. Estas mesmas

temperaturas não podem variar mais do que $\pm 1^{\circ}\text{C}$ nas 6 horas que antecedem o período das 12 horas.

O valor de K deverá ser obtido a partir dos valores de temperatura obtidos nas últimas 6 horas do período estabilizado. Nestas 6 horas, os valores das temperaturas (interior e exterior), não deverão diferir mais do que 0.2°C .

3.3. Procedimentos para a obtenção de K

Estes ensaios são realizados utilizando o método do aquecimento interno, isto é, o interior da caixa isotérmica do veículo é aquecido a uma temperatura pré-definida, com o auxílio de termoventiladores, os quais serão desligados após esta ser atingida. O exterior é arrefecido, também a uma temperatura pré-definida. O veículo terá de ser colocado num espaço do laboratório devidamente isolado e preparado, o túnel de ensaios.

O túnel de ensaios terá de ser mantido a uma temperatura tal, que a diferença das temperaturas deste espaço e do interior da caixa isotérmica seja $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$. A temperatura média das paredes da caixa deverá ser mantida a $+20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

Durante o ensaio, o túnel de ensaios onde se irá colocar o veículo, terá de ter uma circulação de ar constante, a uma velocidade compreendida entre 1 a 2 m/s, e a uma distância de 10 cm das paredes exteriores do veículo.

Deverão ainda ser colocados permutadores de calor, munidos de ventilação, de modo a que consigam um número de circulações de ar /hora compreendido entre 40 e 70 em relação ao volume interno da caixa isotérmica, para garantir uma diferença não superior a 2°C em 2 dos 12 pontos onde são medidas as temperaturas, aquando de um funcionamento em fase estabilizada. Após atingida a fase estabilizada, os termoventiladores são desligados.

3.4. Eficiência do grupo frigorífico

Após se ter obtido um valor para K, passa-se ao segundo ensaio necessário para certificar o veículo. Neste ensaio, pretende-se aferir se o grupo frigorífico consegue assegurar as exigências que o proprietário do veículo pretende, isto é, de acordo como tipo de género a transportar, o veículo terá de garantir uma temperatura que assegure a qualidade dos produtos transportados.

Para se dar início ao ensaio de eficiência terá de se garantir uma temperatura no túnel de $30 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$. A temperatura dentro da caixa isotérmica do veículo terá de igualar a temperatura exterior e, assim que isto se verifique, fecham-se todas as portas e portinholas da caixa isotérmica, ligando-se, de seguida, o grupo de frio na potência máxima. No caso de o veículo ser novo, deverá ainda ser colocado no interior da caixa isotérmica um aquecimento (ex: resistência eléctrica) que garanta uma potência de aquecimento igual a 35% do calor transferido pelas paredes da caixa.

Assim que a pretendida temperatura de classe seja atingida, o grupo de frio terá de garantir que esta seja mantida durante, pelo menos, um período de 12 horas consecutivas. Durante este período, as descongelações do sistema são descontadas.

Segundo o ATP, para que um grupo de frio de um determinado veículo seja considerado eficiente, terá de conseguir que a temperatura de classe seja atingida ao fim de 6 horas após ter sido ligado.

A Tabela 2, da norma NP 1524 2008, indica algumas das temperaturas máximas admissíveis para o transporte de vários alimentos.

Produtos alimentares perecíveis			Classe dos Veículos ⁽¹⁾	Distância ou tempo aquém do qual é tolerado o emprego de um veículo de transporte diferente do refrigerado ou do frigorífico	
Estado	Natureza	Temperatura máxima (°C)		Fechado sem isolamento térmico	Veículo isotérmico IR ou IN
Ultracongelado	1. Todos	- 18	CF		
Congelado ⁽²⁾	2. Gelados e gelados de natas	-20	CF		
	3. Produtos para opoterapia ⁽⁴⁾	-18	CF		
	4. Produtos da pesca e aquicultura	-18	CF		
	5. Torresmos para consumo humano	-18	CF		
	6. Peixe inteiro em salmoura para conserva	-9	BCEF		
	7. Carnes picadas e preparados de carne	-18	CF		
	8. Carnes e miudezas	-12	CF		
	9. Ovo líquido	-12	CF		
	10. Manteiga, gorduras alimentares, natas	-14	CF		
	11. Outros produtos congelados à excepção dos mencionados em 2, 3, 4, 6 e 9.	-12	CF		
	Refrigerado ⁽³⁾	12. Produtos da pesca ou da aquicultura, fresco em gelo fundente	2	ABCD	
13. Molusco e crustáceos (mortos)		2	ABCD		
14. Bacalhau salgado verde e bacalhau semi-seco		4	ABCD		
15. Bacalhau salgado seco		7	ABCD		
16. Pratos cozinhados e preparados ⁽⁵⁾ , cremes para pastelaria, pastelaria fresca e derivados de ovos		3	ABCD		
17. Carnes de ungulados e de caça maior de criação e selvagem (carcaças, meias e quartos de carcaça, carnes desmanchadas)		7	ABCD		

18. Miudezas de ungulados	3	ABCD		
19. Estômagos, bexigas e intestinos não tratados	3	ABCD		
20. Carne de aves, lagomorfos e caça menor de criação e selvagem	4	ABCD		
21. Miudezas de aves, lagomorfos e caça menor de criação e selvagem	3	ABCD		
22. Preparados de carne	4	ABCD		
23. Carnes picadas, salsichas frescas e carnes separadas mecanicamente	2	ABCD		
24. Produtos à base de carnes (com exclusão dos estabilizados por salga, fumagem secagem ou esterilização)	6	ABCD		
25. Torresmos para consumo humano	7	ABCD		
26. Leite cru ou colostro proveniente da produção primária, recolha diária ⁽⁷⁾	8	ABCD		
27. Leite cru ou colostro proveniente da produção primária, recolha não diária ⁽⁷⁾	6	ABCD		
28. Manteiga, margarina e queijo de pasta mole	6	ABCD		
29. Leite não esterilizado, pasteurizado, fermentado, natas frescas, queijo fresco e iogurte ⁽⁷⁾	4	ABCD		
30. Queijo de pasta dura	10	ABCD		
31. Ovo em casca refrigerado ⁽⁸⁾	6	ABCD		100 km ou 2 h
32. Ovo em casca não refrigerado ⁽⁶⁾			⁽⁶⁾	Todas as distâncias
33. Ovo líquido e produtos não estabilizados	4	ABCD		100 km ou 2 h
34. Gordura de origem animal não estabilizada, excluindo a manteiga ⁽⁹⁾	7	ABCD		Todas as distâncias
35. Cogumelos ⁽¹⁰⁾ , morangos ⁽⁸⁾ e framboesas ⁽⁸⁾	2	ABCD		100 km ou 2 h
36. Alperces	3	ABCD		100 km ou 2 h

37. Cerejas ⁽⁸⁾ e espinafres	4	ABCD		100 km ou 2 h
38. Espargos, pêras, abóbora menina e limões maduros	5	ABCD		Todas as distâncias
39. Pêssegos	7	ABCD		100 km ou 2 h
40. Cenouras em rama, couves-de-bruxelas, couves-flor e uvas ⁽⁸⁾	8	ABCD		Todas as distâncias
41. Feijão verde, tomates maduros e tangerinas	8	ABC		Todas as distâncias
42. Ananás, alcachofras, funcho, couves, nozes frescas e amêndoas frescas	10	ABCD		Todas as distâncias
43. Laranjas, maçãs, abacates, melões e pimentos	10	ABCD		Todas as distâncias
44. Limões verdes, bananas, pepinos, cornichons e tomates verdes ⁽¹¹⁾	12	ABCD	⁽¹¹⁾	Todas as distâncias
45. Cenouras, castanhas, nabos e cebolas ⁽¹²⁾	12	ABCD	⁽¹²⁾	Todas as distâncias
46. Batatas ⁽¹²⁾	12	ABCD	⁽¹²⁾	Todas as distâncias
47. Produtos da pesca e da aquicultura vivos ⁽¹³⁾	6	ABCD		100 km ou 2 h
48. Caracóis vivos ⁽¹³⁾	6	ABCD		100 km ou 2 h

Tabela - 2 Temperaturas máximas admissíveis no transporte em função do produto, do veículo e da duração (segundo a NP 1524 2008 (revisão))

Notas:

- Equipamentos refrigerados, frigoríficos ou caloríficos para os produtos transportados a temperatura positivos.
- Estado congelado: a temperatura do produto indicado é a temperatura máxima sem limite inferior.
- Estado refrigerado: a temperatura do produto deve ser compreendida entre a temperatura máxima indicada e a temperatura de início de congelação do produto.
- Produto técnico, não alimentar, incluído por analogia das exigências de transporte.
- Os pratos cozinhados podem, igualmente, ser transportados em recipientes que assegurem a manutenção de uma temperatura igual ou superior a + 65.° C.
- Os ovos devem ser transportados à temperatura, de preferência constante, mais adequada, para assegurar uma conservação óptima das suas propriedades higiénicas.
- O leite deve ser recepcionado no destinatário a uma temperatura igual ou inferior a 12°C.
- Devem tomar-se precauções para evitar a condensação de humidade do ar sobre estes produtos.
- O sebo e banha destinados à transformação podem ser transportados no estado líquido a temperaturas da ordem dos 50°C.
- Transporte não recomendável acima das 24 horas.
- Transporte recomendável até 15°C em veículos isotérmicos ou sem isolamento.
- Transporte recomendável até 20°C em veículos isotérmicos ou sem isolamento.
- Temperatura não prejudicial à sua viabilidade.

4. Ensaaios

Os ensaios começam com a recepção dos veículos no LABET, sendo elaborado o levantamento de todas as características das respectivas caixas isotérmicas, conforme se irá abordar mais adiante. De seguida, os veículos são colocados no túnel de ensaios e devidamente preparados, isto é, são colocados sensores de temperatura e termoventiladores, sendo estes últimos desligados após se dar início ao ensaio. São ainda instalados os permutadores atrás referidos, os quais estarão sempre em funcionamento durante o ensaio, no caso do ensaio para obtenção de K. Para o ensaio de eficiência, apenas é necessário deixar montados os sensores de temperatura, e, caso seja necessário, o aquecimento referido anteriormente.



Figura 1 - Pormenor de um sensor de temperatura colocado no exterior do veículo



Figura 2- Montagem dos sensores no interior do veículo



Figura 3 - Montagem do permutadores e dos termoventiladores no interior do veículo

Foram ensaiados dois veículos, cujas caixas isotérmicas e grupos frigoríficos tinham as seguintes características:

4.1. Veículo 1

O proprietário do veículo 1 pretende que este seja certificado como um veículo frigorífico com caixa reforçada e temperatura de classe de -20°C , ou seja, FRC. Após a devida preparação do veículo, iniciaram-se os ensaios.

4.1.1. Características da Caixa

Grupo de Frio:

Marca - Thermo King

Modelo - RD II TCI

Fluido - R404A

Relativamente à constituição da caixa, não é fácil descrever o interior dos painéis mas, em princípio, são constituídos por poliéster com fibra de vidro nas faces interiores e exteriores, e, no meio, poliuretano. Tem ainda:

- 2 Portas, sendo 1 lateral com 55 mm de espessura e 1 na traseira com 86 mm de espessura.
- Evaporador frontal com 1120 x 990 x 150 mm e secção de saída com 1040 x 50 mm, fixo ao tecto.
- 2º Evaporador com 1120 x 990 x 150 mm e secção de saída com 1040 x 50 mm, fixo ao tecto.
- 1 Orifício de drenagem na frente direita e 1 na traseira esquerda.
- Chão revestido a tinta antiderrapante.
- 1 Barra de travamento de cargas em aço galvanizado com 130 mm, rebitada a cada painel lateral a 920 mm do chão.
- 1 Rodapé em alumínio com 250 mm, rebitado a toda a volta excepto ao painel traseiro.
- 1 Rodapé em alumínio com 400 mm, rebitado ao painel traseiro.

- 2 Luzes encastradas no tecto.
- Calha em alumínio rebitada ao painel lateral esquerdo e tecto para tubagens, não encastrada.
- 1 Orifício no painel frontal com 130 mm de diâmetro.
- 2 Orifícios no painel frontal com 30 mm de diâmetro.
- 1 Orifício no painel lateral esquerdo com 30 mm de diâmetro.

4.1.2. Dimensões

Dimensões Interiores (mm)	(mm)				Média (mm)	Média (m)	Área (m ²)	Area média (m ²)	
Comprimento: (L)	7201	7199	7192	7192	7196	7,196	76,0513465	80,7519374	
Largura: (l)	2469	2471	2477	2475	2473	2,473			
Altura: (h)	2093	2094	2089	2093	2092,25	2,09225			
Dimensões Exteriores (mm)	(mm)				Média	Média (m)	Área (m ²)		
Comprimento: (L)	7396	7400	7398	7402	7399	7,399	85,743063		
Largura: (l)	2595	2590	2595	2594	2593,5	2,5935			
Altura: (h)	2372	2368	2370	2370	2370	2,37			
Espessura Porta trás (mm)	86mm								

Tabela 3 - Dimensões da caixa isotérmica do veículo 1

4.1.3. Tratamento de Dados

1.1.1.1. *Ensaio K*

O ensaio K começa quando as temperaturas definidas no ATP, tanto para o interior como para o exterior, são atingidas. Para o presente ensaio foram recolhidos dados a cada 5 minutos, até à sua conclusão. No laboratório a conclusão deste ensaio é definida pelo sistema de controlo, ou seja, o sistema “sabe” o momento a partir do qual as condições estão estabilizadas e a partir daí regista os dados durante 12 horas, durante as quais, as condições definidas no ATP terão de ser mantidas. As últimas 6 horas do ensaio serão as mais importantes, visto que o ATP estipula que os dados obtidos nesse período de tempo sejam utilizados para a obtenção do valor de K.

No entanto, para se fazer a análise de resultados teve de se proceder de outro modo. Após a recepção da lista de dados recolhidos, o primeiro passo foi marcar o ponto onde se dá início ao ensaio, e, para isso, contam-se 12 horas para trás em relação ao último dado registado.

Após a marcação do início de ensaio na tabela de registo de dados, pode começar-se o seu tratamento. Em primeiro lugar, irá ser verificado se o ensaio cumpre todas as condições definidas no ATP, para obtenção do coeficiente K.

O registo de dados pode ser consultado no anexo I

1.1.1.2. Condições de temperatura a verificar

A temperatura média das paredes interiores registada nas últimas 12 horas não deve variar mais do que $\pm 0.3^\circ\text{C}$. Como se pode ver pelo gráfico 1 esta condição é claramente cumprida.

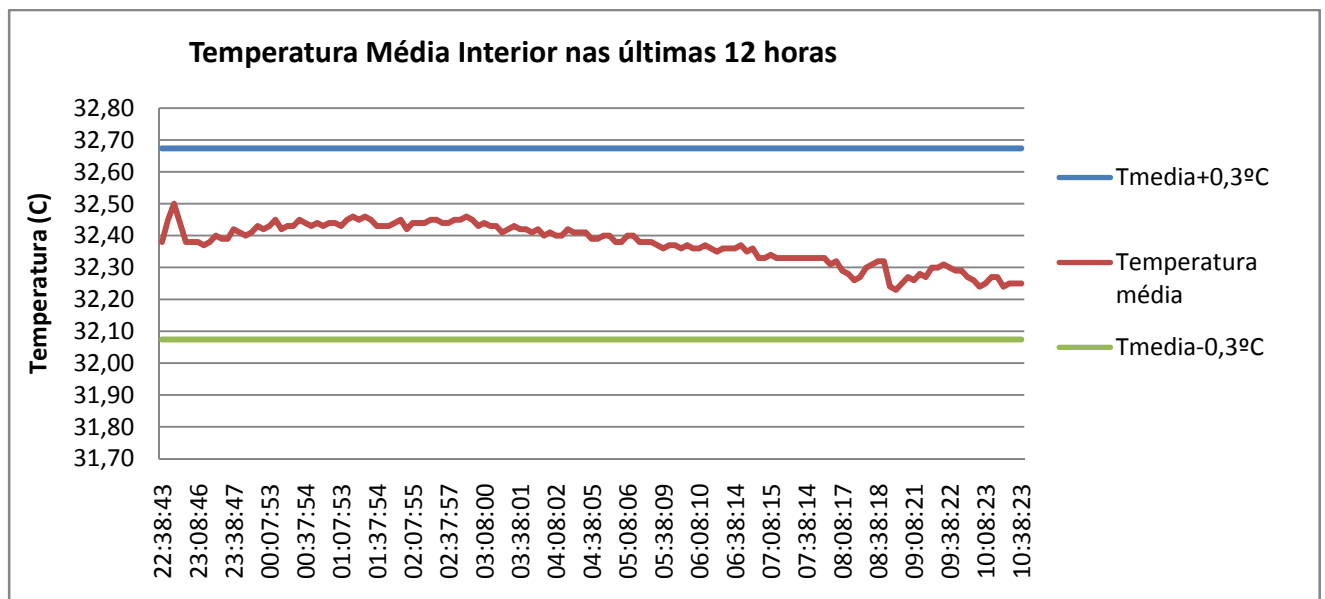


Gráfico 1 - temperatura média interior nas últimas 12 horas

A temperatura média das paredes exteriores registada nas últimas 12 horas não deve variar mais do que $\pm 0.3^\circ\text{C}$. O gráfico 2 demonstra que esta condição é claramente cumprida.

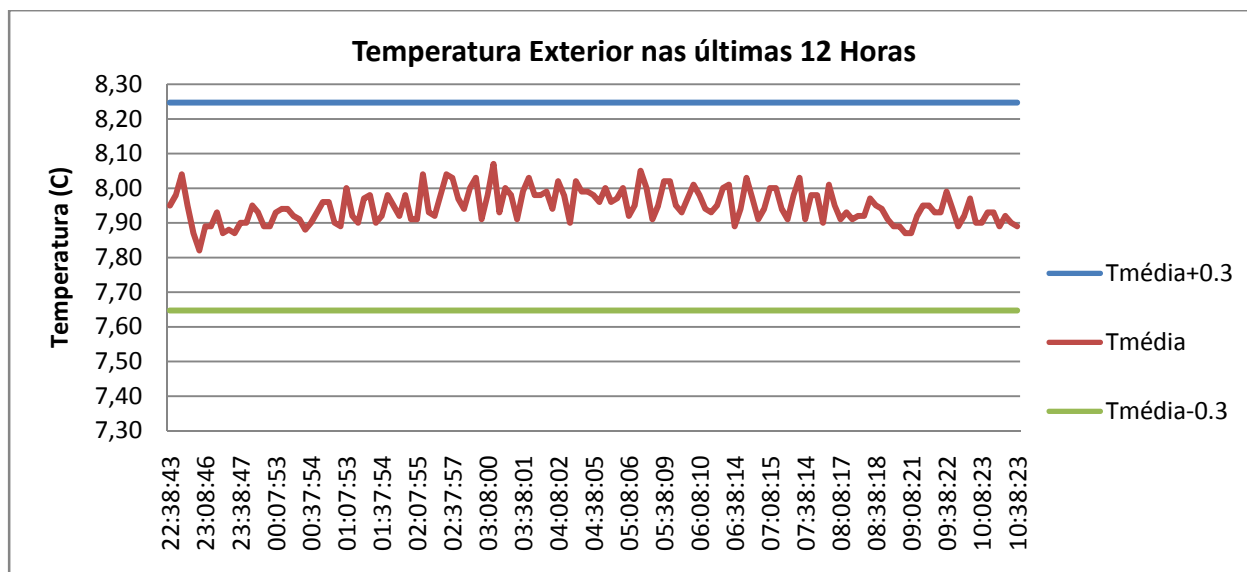


Gráfico 2 - Temperatura exterior nas últimas 12 horas

A diferença entre registos da capacidade térmica medidos no período estacionário (últimas 12 horas), durante dois períodos de 3 horas, separados por não menos de um período de 6 horas, deverá ser inferior a 3%. Para fazer esta verificação procedeu-se do seguinte modo: seleccionaram-se os valores de potências das primeiras 3 horas das últimas 12 horas, e calculou-se uma média. De seguida seleccionaram-se os valores das últimas 3 horas do mesmo período de 12 horas e calculou-se uma média. A partir dos dois valores obtidos calculou-se a percentagem de erro entre os dois valores.

	Últimas 12 horas	
	Primeiras 3 horas	Últimas 3 horas
P(W)	747.37	749.82

Tabela 4 - Análise e comparação de valores de potencia recolhidos em dois períodos das ultimas 12 horas

Assim:

$$\left(1 - \frac{747.37}{749.2}\right) \times 100 = 0.327, \quad \text{como } 0.327 < 3\%$$

Verifica-se que esta condição também está cumprida.

As temperaturas médias interiores registadas nas últimas 6 horas não devem diferir mais do que 0.2°C, ou seja, não devem variar mais do que $\pm 0.1^\circ\text{C}$ em relação aos valores médios registados. Como se pode verificar pelo gráfico 3 esta condição é cumprida.

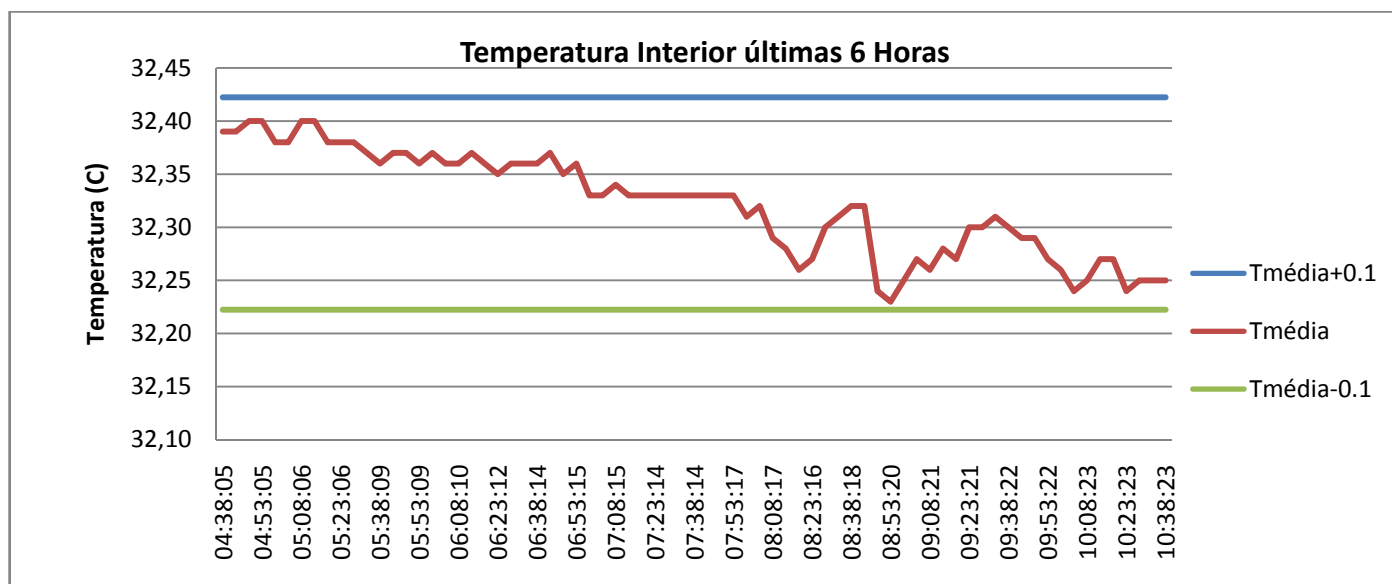


Gráfico 3 - temperatura interior nas ultimas 6 horas

As temperaturas médias exteriores registadas nas últimas 6 horas não devem diferir mais do que 0.2°C, ou seja, não devem variar mais do que $\pm 0.1^\circ\text{C}$ em relação aos valores médios registados. O Gráfico 4 demonstra que esta condição é cumprida.

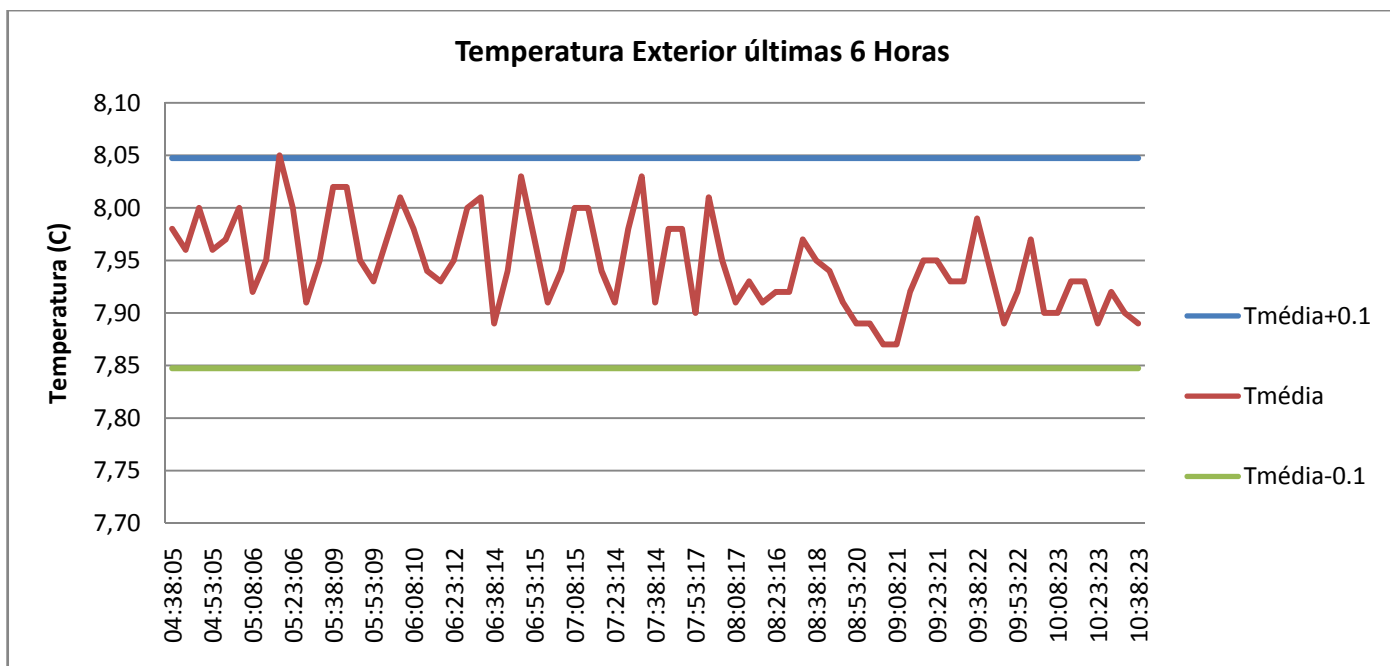


Gráfico 4 - Temperatura exterior nas ultimas 6 horas

O gráfico 5 mostra as variações da potência dos permutadores em função da temperatura interior e exterior. Pode ver-se o momento em que o sistema entra numa fase estabilizada pois a potência apresenta-se a um valor constante, assim como as temperaturas.

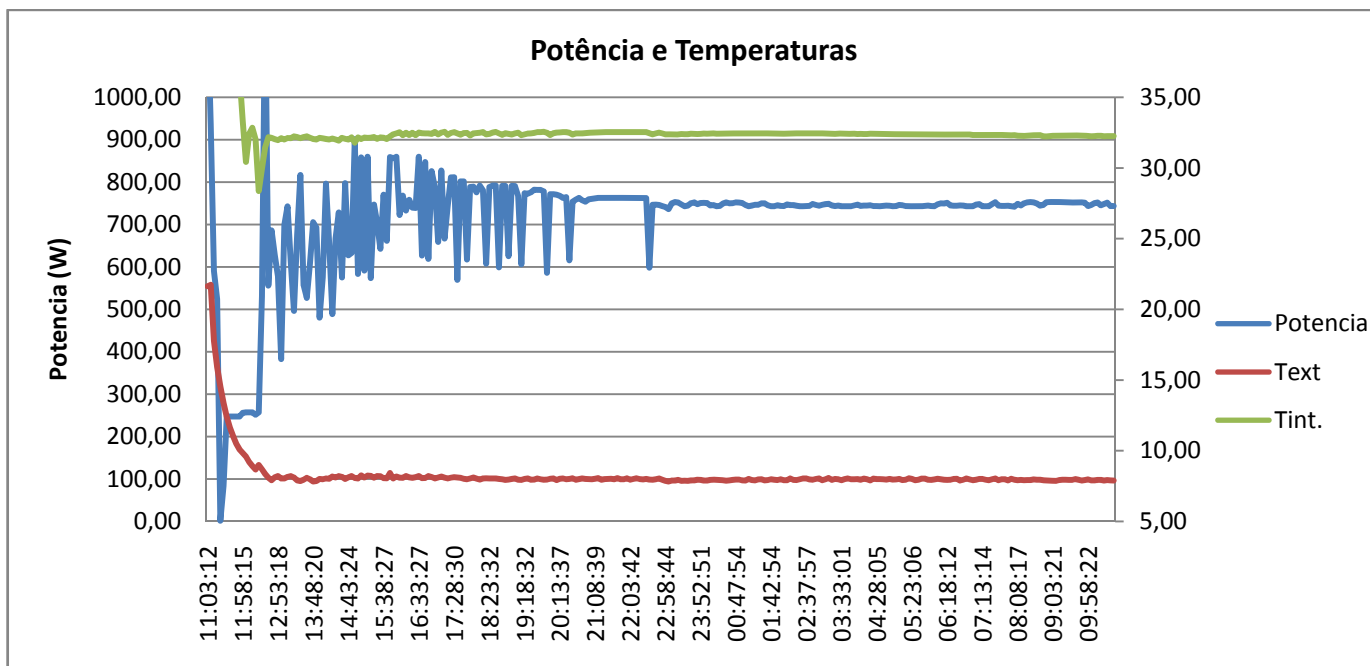


Gráfico 5 - Gráfico de potência e temperaturas

Ultimas 12H			Ultimas 6H		
	Exterior	Interior		Exterior	Interior
Tmédia	7,95	32,37	Tmédia	7,95	32,32
Tmédia+0,3	8,25	32,67	Tmédia+0,1	8,05	32,42
Tmédia-0,3	7,65	32,07	Tmédia-0,1	7,85	32,22
Tmax	8,07	32,50	Tmax	8,05	32,40
Tmin	7,82	32,23	Tmin	7,87	32,23
ΔT	0,25	0,27	ΔT	0,18	0,17
ATP	±0,3	±0,3	ATP	0,20	0,20

Tabela 5 - Registo dos valores principais que validam o ensaio

1.1.1.3. Condições Gerais para validar a obtenção do valor K

São quatro as condições que devem ser cumpridas para validar a obtenção do valor K, designadamente:

- Após estabilizado o ensaio, a diferença de temperaturas não deverá ultrapassar $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Fazendo a média das temperaturas registadas nas últimas 12 horas, obtêm-se os seguintes valores:

$$\bar{T}_{int} - \bar{T}_{ext} = 32,37 - 7,95 = 24,43^\circ\text{C}, \text{ logo, } 23 < 24,43 < 27$$

Como se pode verificar esta condição está garantida.

- A média entre a temperatura interior e exterior, em todo o período das últimas 12 horas, terá de estar compreendida entre $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$, condição que se verifica seguidamente:

$$\frac{T_{int} + T_{ext}}{2} = 20,16^\circ\text{C}, \text{ logo, } 19,5 < 20,16 < 20,5$$

Confirma-se que esta condição também está cumprida.

- A diferença máxima entre temperaturas registadas em 2 dos 12 sensores colocados no interior da caixa isotérmica não, poderá ultrapassar os 2°C . Esta diferença no

registo de dados (anexo I), denominada por heterogeneidade, é a diferença entre o sensor que registou a maior temperatura e o sensor que registou a menor temperatura. O valor máximo recolhido para a heterogeneidade da temperatura interior, foi de 0.76 °C , claramente inferior a 2°C.

- Como no ponto anterior, o mesmo se passa para os sensores colocados no exterior da caixa isotérmica. O valor máximo para a heterogeneidade exterior é de 1.22°C, valor este que também é inferior a 2°C.

	°C
T Média Paredes	20.16
ATP	20+-0.5
Te-Ti	24.43
ATP	25+-2
Diferença máxima de Ti	0.76
Diferença máxima de Te	1.22

Tabela 6 - Comparação entre valores obtidos e os estipulados no ATP

Por último, as temperaturas médias (interior e exterior) medidas pelos sensores, devem ser registadas não menos do que 4 vezes por hora. Para este ensaio, como se pode constatar pela tabela constante do anexo I, o registo de dados foi feito sensivelmente a cada 5 minutos.

Verificadas todas as condições, pode proceder-se à obtenção do valor de K. Como foi dito em pontos anteriores, o valor de K obtêm-se a partir dos dados registados nas últimas 6 horas do ensaio, através da fórmula abaixo indicada e já explicada no ponto 3.1.2. A tabela 7 apresenta os dados que irão ser utilizados na fórmula, todos eles resultantes de valores médios obtidos nas últimas 6 horas do ensaio.

$$K = \frac{W}{S \cdot \Delta\theta}$$

Potencia (W)	T. Interior(°C)	T. Exterior (°C)	ΔT (°C)
746.98	7.95	32.32	24.37

Tabela 7 - Dados para a obtenção do valor K

Substituindo estes valores na equação tem-se que:

$$K = \frac{746.98}{80,75 \times 24.37} = 0.380 \text{ Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$$

Sendo o valor de K inferior a $0.40 \text{ Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$ pode dizer-se que se trata de um equipamento isotérmico reforçado - R.

4.1.4. Eficiência

À semelhança do ensaio para a obtenção do valor de K, no ensaio de eficiência actua-se de um modo semelhante. Depois de preparado o veículo procede-se ao aquecimento do interior da caixa isotérmica, bem como ao aquecimento do túnel de ensaios, ambos a 30°C . Assim que as temperaturas atingem os valores pretendidos, fecham-se todas as portas e portinholas da caixa isotérmica e liga-se o grupo de frio na potência máxima.

1.1.1.4. Condições a serem verificadas de modo a validar o ensaio de eficiência

Contrariamente ao ensaio K, o ensaio de eficiência apenas requer que as condições referidas no ponto anterior sejam garantidas e que se faça um registo das temperaturas médias (interior e exterior) a cada 30 minutos. Para o presente caso foram registadas sensivelmente a cada 2 minutos. As tabelas com o registo dos dados do ensaio de eficiência encontram-se no anexo I.

1.1.1.5. Início do ensaio

O ensaio de eficiência começa assim que a temperatura interior começa a diminuir, condição que é registada automaticamente pelo sistema de controlo do laboratório. Contudo, para o tratamento de dados feito em folha de cálculo, é necessário ir ver em que ponto a temperatura começa a diminuir, marcando-se então o início do ensaio. A tabela 8 representa um excerto da tabela apresentada no anexo I, onde se pode ver uma linha verde que representa o ponto de início da contagem do tempo para o ensaio.

Horas	T Ext.	T Int.
16:01:43	29,91	30,03
16:03:43	29,91	30,04
16:05:43	30,04	28,86
16:07:43	30,15	27,44
16:09:43	30,22	26,00
16:11:45	30,39	24,70

Tabela 8 - marcação do início do ensaio

Após feita a marcação do início do ensaio, pode proceder-se à verificação da eficiência.

De acordo com o ATP, um grupo de frio de um veículo frigorífico para ser considerado eficiente, terá de garantir duas condições:

- Para uma temperatura exterior não inferior a 15°C, o grupo de frio terá de conseguir baixar a temperatura interior até à temperatura de classe (previamente aquecida até igualar a temperatura exterior) em pelo menos 6 horas;
- Após ter atingido a temperatura de classe, o grupo de frio deverá mantê-la pelo menos durante 12 horas consecutivas (os períodos de descongelação são descontados).

O gráfico 6 mostra o início do ensaio no tempo, 0.00 horas, e uma temperatura de cerca de 30°C. Mostra também uma linha a vermelho que representa a temperatura de classe pretendida, -20°C. Uma análise mais cuidada mostra que o sistema atinge a temperatura de classe passadas cerca de 5.7 horas, o que valida o primeiro ponto das condições mencionadas anteriormente.

Em relação à segunda condição, em primeiro lugar observam-se os períodos de descongelação. São claramente visíveis 3 descongelações, sendo que uma delas é substancialmente superior às outras duas, podendo mesmo dizer-se que as duas primeiras descongelações são desprezáveis face à última descongelação, pelo que apenas se irá descontar o 3º período de descongelação.

Assim, tem-se que:

- Período de descongelação [16.3 – 18.2]h, isto é, 1.9 horas;

- Período a partir do momento em que é atingida a temperatura de classe, até ao final do ensaio [5.67 – 19.1]h, ou seja, 13.4 horas;

Deste modo, o período a considerar será: $13.4 - 1.9 = 11.5 \cong 12$ horas .

Cumprida esta condição resta fazer uma breve análise da potência frigorífica.

Obtém-se a potência frigorífica P para uma determinada diferença de temperaturas através da fórmula:

$$P = K \times S \times \Delta T, \text{ em que:}$$

- P é a potência frigorífica;

- K é o coeficiente $K \text{ Wm}^{-2}\text{°C}^{-1}$;

- S é a área média da caixa isotérmica m^2 ;

ΔT é a diferença entre a temperatura média exterior (T_e) e a temperatura média interior (T_i).

Para seleccionar os dados a utilizar no cálculo da potência, procedeu-se do seguinte modo:

- A partir dos dados da tabela que se apresenta no anexo I, procede-se ao cálculo da temperatura média interior e da temperatura média exterior.
- Apenas se vão considerar os dados a partir do momento em que a temperatura de classe é atingida dado que a potência máxima será atingida para a diferença máxima de temperaturas.

Assim, tem se que:

$S \text{ (m}^2\text{)}$	$\Delta \bar{T} \text{ (°C)}$	$K \text{ (Wm}^{-2}\text{°C}^{-1}\text{)}$
80.75	50.92	0.380

Tabela 9 - Dados para obtenção do valor médio da potência

O valor de K a ser utilizado será o valor obtido no ensaio de K .

Substituindo os valores na formula, tem-se que:

$$P = 0.380 \times 80.75 \times 50.92 = 1562.451 \text{ W}$$

Analisando o gráfico 6, pode ver-se claramente o aumento da potência com o aumento da diferença de temperaturas (interior e exterior), ou seja, com a diminuição da temperatura interior. Pode também constatar-se que a potência estabiliza a partir do momento em que a temperatura de classe é atingida, salvo nos períodos de descongelação, onde claramente há uma diminuição da potência frigorífica.

Apresentam-se ainda, na Tabela 10, os valores da potência para várias temperaturas interiores para uma temperatura exterior de 30°C.

0°C	-10°C	-20°C
945 W	1260 W	1575 W

Tabela 10 - Valores de potência para vários valores de temperatura exterior

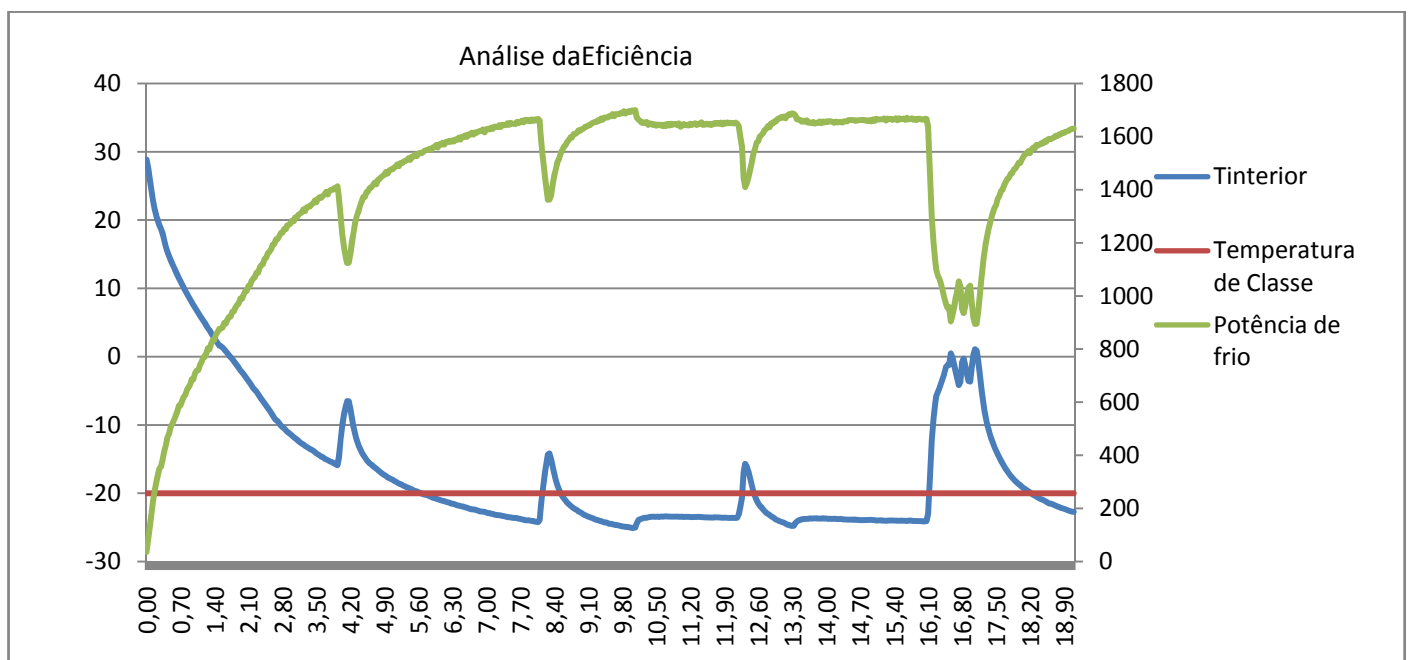


Gráfico 6 – Eficiência, potencia, temperatura interior e temperatura de classe

Tendo em conta que o ensaio de eficiência se pode dar como aprovado, considera-se que o veículo pode ser dado como pertencente à classe C, logo, a sua certificação, tendo em conta o ensaio K e o ensaio de eficiência, será FRC.

4.2. Veículo 2

Pretende-se que o segundo veículo a ser ensaiado cumpra as condições necessárias para ser qualificado como FNA, ou seja, frigorífico com caixa isotérmica normal, com uma temperatura de classe compreendida entre os 0°C e os 12°C.

4.2.1. Características da caixa

Grupo de Frio:

Marca - Thermo King

Modelo - TS 500 50

Fluido - R404A

Relativamente á constituição da caixa não é fácil descrever o interior dos painéis mas, em princípio, são constituídos por poliéster com fibra de vidro nas faces interiores e exteriores, e, no meio, poliuretano. Tem 1 traseira com 88 mm de espessura. Tem ainda:

- 1 Evaporador frontal com 1220 x 630 x 330 mm e secção de saída com 1215 x 120 mm, fixo ao painel frontal por 4 pernos de travessia total;
- 1 Caixa de passagem do evaporador no painel frontal com 1230 x 350 mm, a 2100 mm do chão;
- 2 Orifícios de drenagem na frente;
- Chão revestido a alumínio antiderrapante aparafusado e soldado;
- 1 Friso de protecção em alumínio com 200 mm, rebitado a toda a volta a 1500 mm do chão;
- 2 Barras de travamento de cargas, em aço galvanizado com 70 mm, rebitadas ao tecto a 280 mm em cada painel lateral;
- 2 Barras de travamento de cargas em aço galvanizado com 70 mm, rebitadas ao tecto a 900 mm de cada painel lateral;

- 1 Rodapé em alumínio com 220 mm, rebitado a toda a volta;

- 2 Luzes encastradas no tecto.

Os ensaios procedem-se de um modo idêntico aos do veículo anterior, pelo que só se apresentam os resultados finais do ensaio e algumas das condições mais importantes a cumprir.

4.2.2. Dimensões

Dimensões Interiores	(mm)	Média (mm)	Média (m)	Área (m ²)	Área Média (m ²)
Comprimento: (L)	7311 7299 7297 7312	7304,75	7,30	85,22	89,66
Largura: (l)	2477 2480 2482 2483	2480,50	2,48		
Altura: (h)	2503 2505 2501 2503	2503,00	2,50		
Dimensões Exteriores	(mm)	Média (mm)	Média (m)	Área (m ²)	
Comprimento: (L)	7504 7505 7500 7502	7502,75	7,50	94,34	
Largura: (l)	2595 2595 2593 2593	2594,00	2,59		
Altura: (h)	2745 2742 2744 2745	2744,00	2,74		

Tabela 11 - Dimensões da caixa isotérmica do veículo 2

4.2.3. Ensaio K

Os gráficos 7, 8, 9 e 10, demonstram que as condições de temperatura estipuladas são cumpridas durante todo o ensaio. As restantes condições a cumprir apenas se apresentam na tabela 12, tendo em conta que são idênticas à do ensaio anterior.

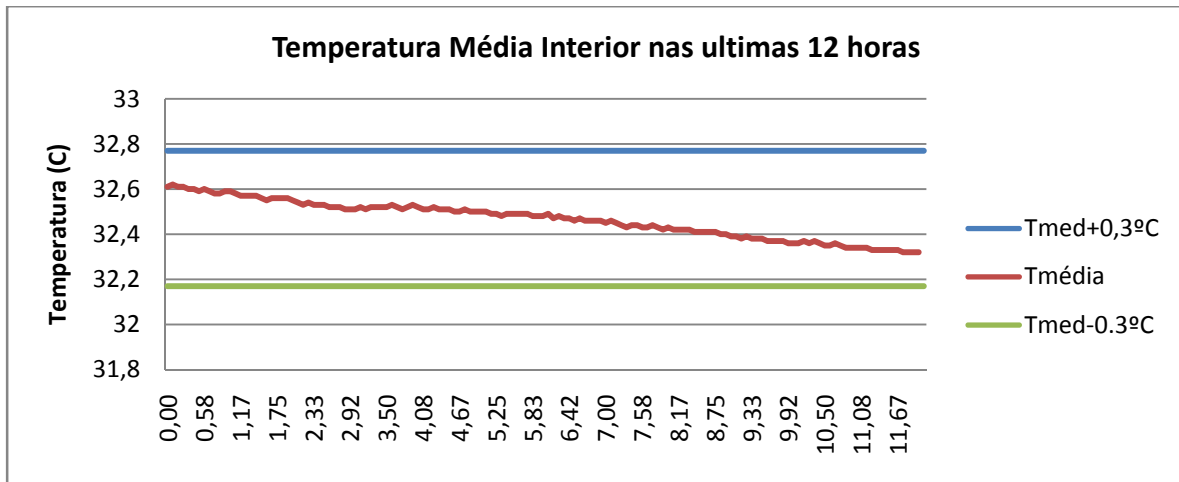


Gráfico 7 - temperatura média interior nas últimas 12 horas

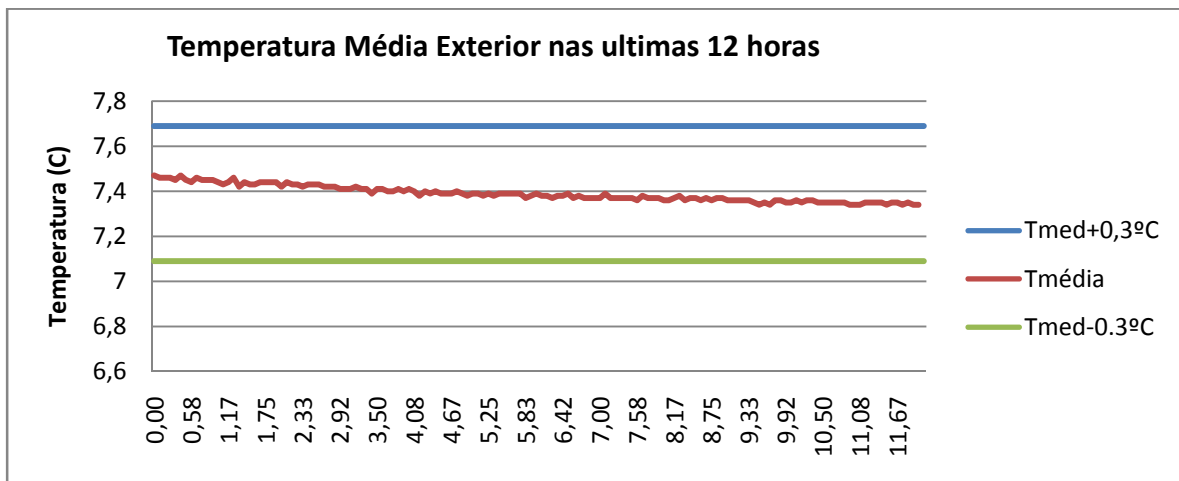


Gráfico 8 - Temperatura média exterior nas últimas 12 horas

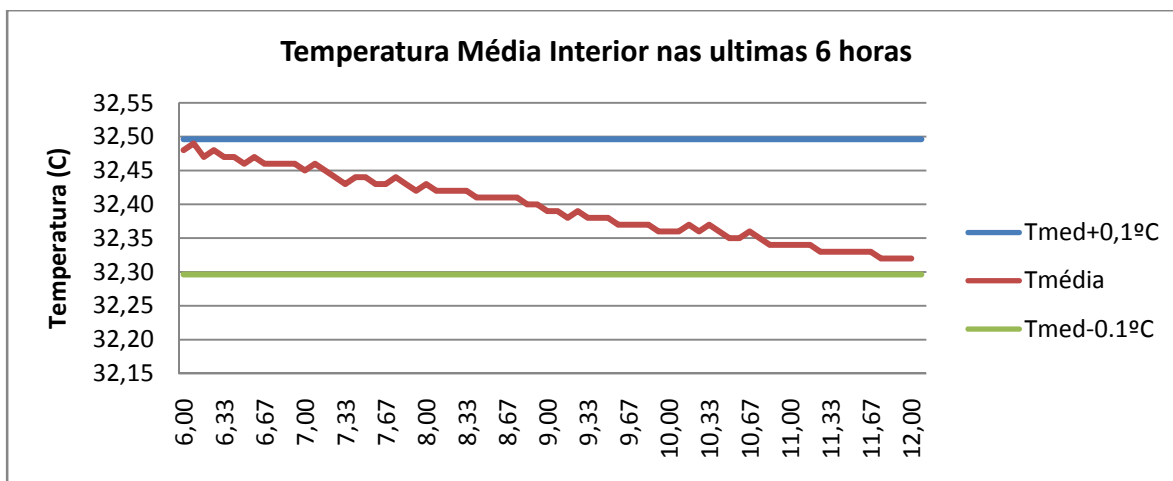


Gráfico 9- Temperatura média interior nas últimas 6 horas

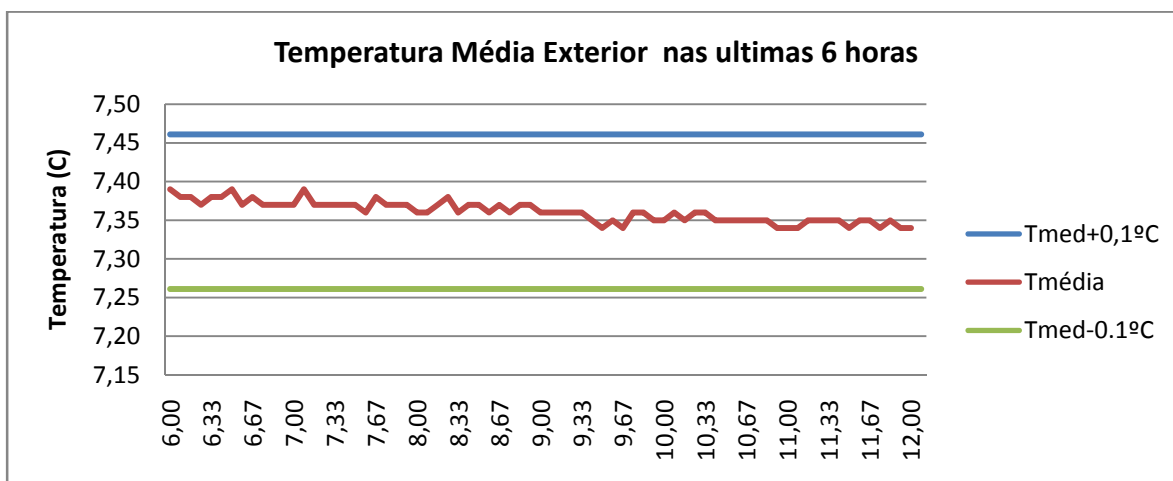


Gráfico 10 - temperatura média exterior nas últimas 6 horas

	Ultimas 12H		Ultimas 6H		
	Exterior	Interior		Exterior	Interior
T média	7,39	32,47	T média	7,36	32,40
T média+0,3	7,69	32,77	T média+0,1	7,46	32,50
T média-0,3	7,09	32,17	T média-0,1	7,26	32,30
T max	7,47	32,62	T max	7,39	32,49
T min	7,34	32,33	T min	7,34	32,32
ΔT	0,13	0,29	ΔT	0,05	0,17
ATP	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	ATP	0,20	0,20

Tabela 12 - Registo dos valores principais que validam o ensaio

Verificadas as condições, procedeu-se à obtenção do valor de K, sendo o valor obtido de $0.419 \text{ Wm}^{-2}\text{°C}^{-1}$, valor superior a $0.4 \text{ Wm}^{-2}\text{°C}^{-1}$ pelo que se considera uma caixa isotérmica normal – N.

4.2.4. Eficiência

De acordo com o já referido, o ensaio de eficiência é idêntico ao realizado para o veículo 1, pelo que para o veículo 2 apenas serão apresentados os resultados. Como se pode verificar pela análise do gráfico 11, a temperatura de classe, 0°C , é atingida ao fim cerca de 1.5 horas, o que claramente está dentro das exigências do ATP.

Este ensaio prolongou-se por mais tempo devido ao facto de, antes de serem atingidas as 12 horas definidas pelo ATP, o horário de funcionamento do LABET ter chegado ao fim, e, quando tal acontece, os ensaios decorrem durante toda a noite só sendo parados no dia seguinte, de manhã.

Pela análise do gráfico 11, pode verificar-se que o sistema consegue manter uma temperatura inferior a 0°C durante um período claramente superior a 12 horas.

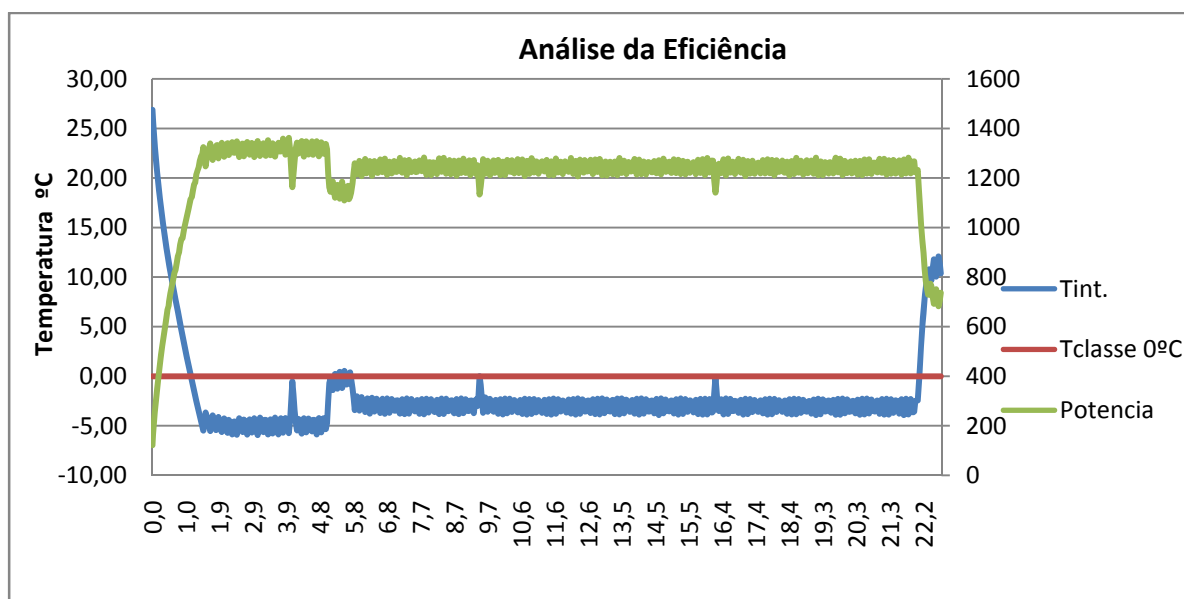


Gráfico 11 - Eficiência, potencia, temperatura interior e temperatura de classe

4.2.5. Potência

Apenas se calculou o valor de potência para uma temperatura exterior de 30°C e uma temperatura interior de 0°C.

De acordo com as equações do ponto 1.1.1.5:

$$P = 0.419 \times 89.66 \times 30^\circ\text{C}$$

$$P=1127\text{W}$$

Posto isto, pode dizer-se que o veículo cumpre os requisitos para pertencer à classe A, logo, tendo em conta o ensaio K, é classificado como FNA.

5. Certificação

5.1. Documentação

São 3 os documentos que, perante a lei, são obrigatórios possuir no veículo:

- Certificado com os resultados do ensaio;
- Chapa de identificação, resistente à corrosão e ao fogo, com as seguintes indicações e características:
 - Inscrição “ATP” e “APROVADO PARA O TRANSPORTE DE PRODUTOS ALIMENTARES PERECÍVEIS”
 - Número da aprovação;
 - Numero Identificação do Equipamento;
 - Marca de identificação ATP;
 - Dimensões mínimas da placa: 160 X 100 mm;
 - As letras «ATP» e as da marca de identificação devem ter 20 mm de altura;
 - As restantes letras e algarismos não devem ter menos de 5mm de altura.
- Marcas de identificação para serem afixadas nos equipamentos especializados, feitas de material autocolante, a colocar na parte exterior do equipamento, em ambos os lados, nos cantos superiores, perto da frente. As marcas de identificação são constituídas por letras maiúsculas, em cor azul-escuro sobre fundo branco, não

devendo a altura das letras ser inferior a 100mm, e, para os termos de validade, não inferior a 50 mm.

No entanto, a norma estipula NP 1524 2008 (revisão) que estas marcas devem, caso sejam nacionais, obedecer às seguintes características:

5.1.1. Cor

- Fundo: amarelo, pantone 116 (em computador, cor RGB – vermelho 255; verde 204; azul 0);
- Barra vertical: verde pantone 3415 (em computador, cor RGB – vermelho 0; verde 128; azul 0);
- Barra vertical: vermelho pantone 485 (em computador, cor RGB – vermelho 255; verde 0; azul 0).

5.1.2. Letra:

- Tipo: Swiss 721 Bklk BT;
- Cor: azul pantone 294 (em computador, cor RGB – vermelho 0; verde 0; azul 128).

5.1.3. Dimensões:

Equipamento inferior a 3.5t:

- Mancha: A4 (297mm X 210mm);
- Letras classe do equipamento: altura 50mm;
- Letras data do termo de validade: altura 25mm;
- Largura da área amarela: 246mm;
- Largura da área verde: 21,5mm;
- Largura da área vermelha: 29,5mm;
- Texto centrado na área mancha amarela, sendo a distância superior, intermédia e inferior iguais.

Equipamento igual ou superior a 3,5t:

- Mancha A3: 420mm X 297mm;
- Letras classe do equipamento: altura 100mm;
- Letras data do termo de validade: altura 50mm;
- Largura da área amarela: 348mm;
- Largura da área verde: 30,5mm;
- Largura da área vermelha: 41,5mm;
- Texto centrado na área mancha amarela, sendo a distância superior, intermédia e inferior iguais;
- Não é permitida a inserção de qualquer outro dado além da classe e data.

Encontram-se, em anexo, modelos dos certificados que deverão acompanhar sempre o veículo. São baseados no ATP, NP-1524 2008 (revisão) e no Anexo 1 do despacho nº 25 013/2003 (2.a série) da Direcção-Geral de Transportes e Terrestres - Ministério das Obras Publicas.

6. Simulação em *floworks*

O *floworks* é uma poderosa ferramenta informática, é um *add-in* do *Solidworks*.

O *floworks* lida com toda a parte de análise termodinâmica em sólidos, líquidos e gases, bem como escoamentos de fluidos, baseando-se na teoria dos elementos finitos.

A simulação que se apresenta de seguida irá ter em conta várias simplificações, dado que, para a complexidade do problema em estudo, os tempos de cálculo iriam ser incomportáveis. Ir-se-á simular parte do ensaio do 1º veículo, a obtenção do valor de K.

6.1. Criação de um modelo para simular

Após várias tentativas com o intuito de simular o sistema túnel de ensaios/ caixa isotérmica, chegou-se à conclusão que a melhor maneira de representar este sistema seria com dois paralelepípedos concêntricos, um para definir o túnel de ensaios e o outro para definir a caixa isotérmica do veículo.

6.1.1. Caixa isotérmica

Optou-se por simplificar a caixa isotérmica ao máximo. Assim, portas, portinholas e outras características específicas desta caixa (descritas no ponto 4.1.2) foram omitidas, de modo a obter um modelo relativamente simples que facilite o processamento dos cálculos.

6.1.2. Túnel de ensaios

Do mesmo modo, para o túnel de ensaios, optou-se por simplificar ao máximo, assim todos os acessórios e equipamentos que se encontrem nas paredes tecto e chão do túnel foram omitidos para facilitar o processamento de dados.

Assim, o túnel irá ser representado por um paralelepípedo que contém um outro no seu interior, distanciando de cada face de 750 mm. O paralelepípedo interior, de agora em diante definido como caixa isotérmica, tem as medidas exactas da caixa real (veículo 1) tanto interiores como exteriores.

Nas Figuras 4 e 5 pode observar-se o modelo utilizado. Considerou-se ainda, que o túnel define também as fronteiras do volume de controlo deste modelo, representado na Figura 4 pelo traço a cheio. A transparência do túnel apenas serve para facilitar a visualização do seu interior, visto que, na realidade, este tem paredes com 10 mm de espessura, que foram consideradas adiabáticas, logo não haverá trocas de calor entre elas e o resto do modelo.

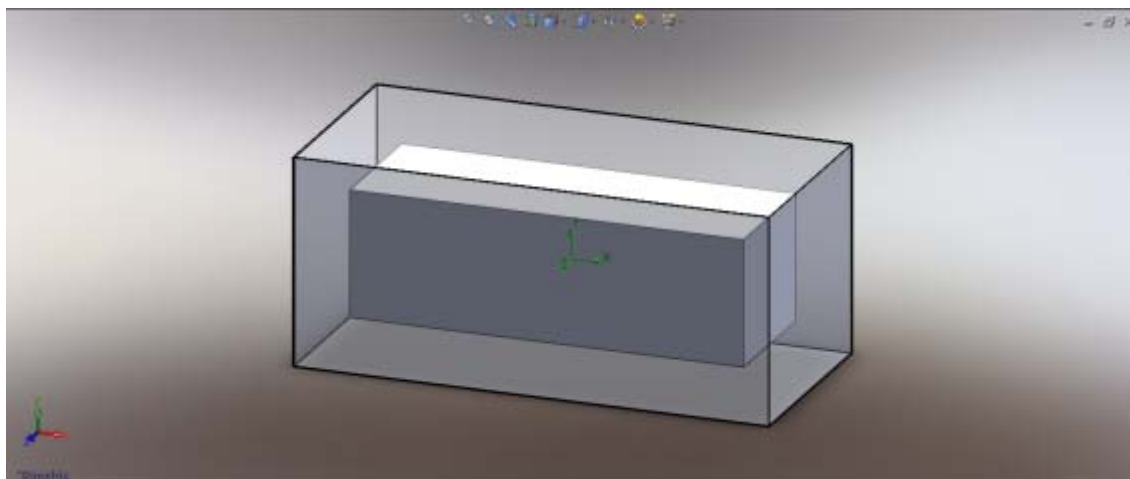


Figura 4 - Sistema túnel de ensaios/caixa isotérmica

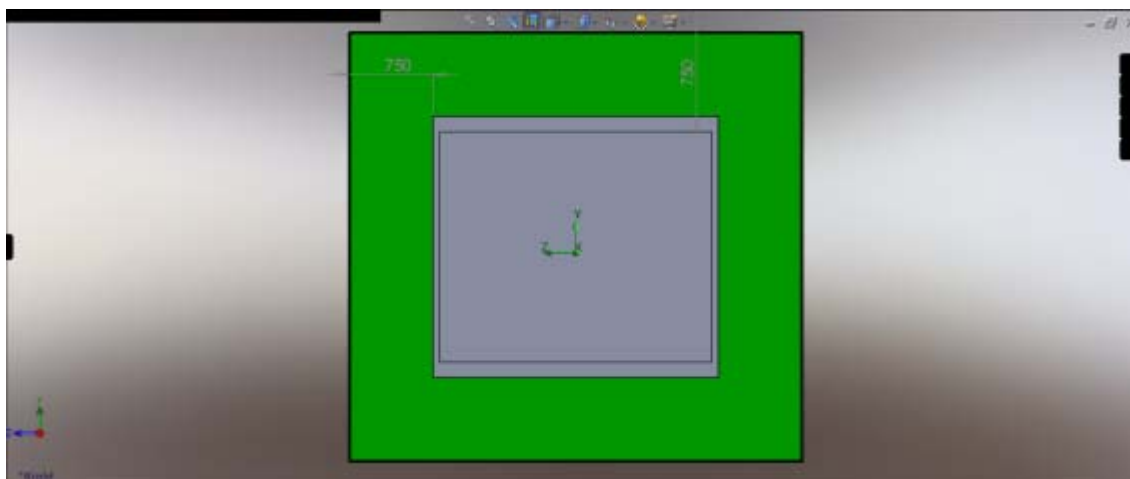


Figura 5- Vista lateral distâncias entre túnel de ensaios e caixa isotérmica

Depois de definido o modelo, foi necessário definir o equipamento que se encontra dentro da caixa isotérmica. Para o caso em estudo apenas se considerou os dois permutadores, semelhantes aos referidos anteriormente.

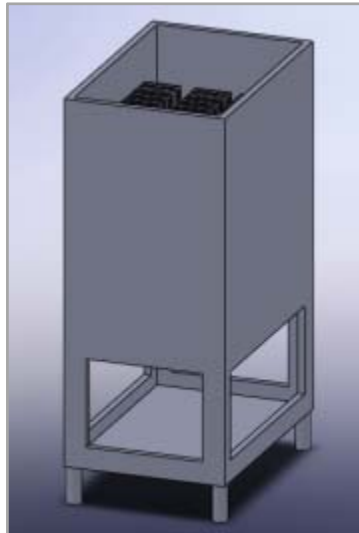


Figura 6 - Modelo escolhido para simular o permutador

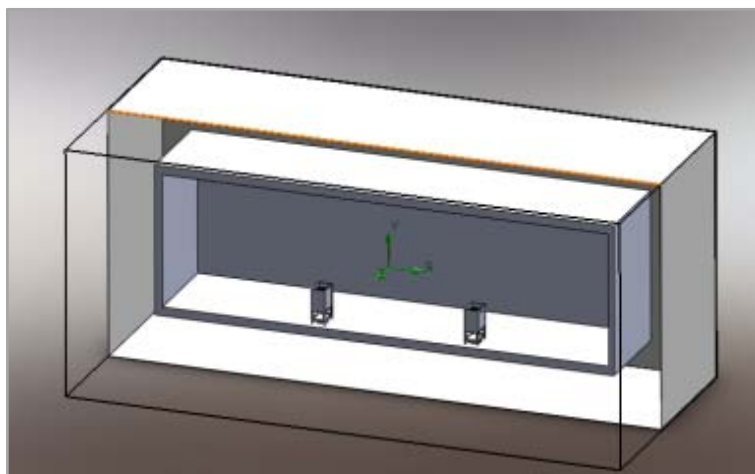


Figura 7 - Corte segundo o plano frontal mostrando os permutadores de calor

Depois de definido o modelo a analisar, foi necessário começar a definir o caso em estudo, sendo para isso necessário inserir dados no programa que tentem reproduzir ao máximo as condições exigidas no ATP.

6.2. Input Data

6.2.1. Tipo de análise

Neste menu, inserem-se os dados que caracterizam o tipo de problema em estudo, o tipo de variáveis em jogo (temperatura, radiação..., etc.), tipo de análise (interna ou externa) e o

tipo de regime (estacionário ou não estacionário). Considerou-se que todo este processo irá ser estacionário, ou seja, não dependerá do tempo.

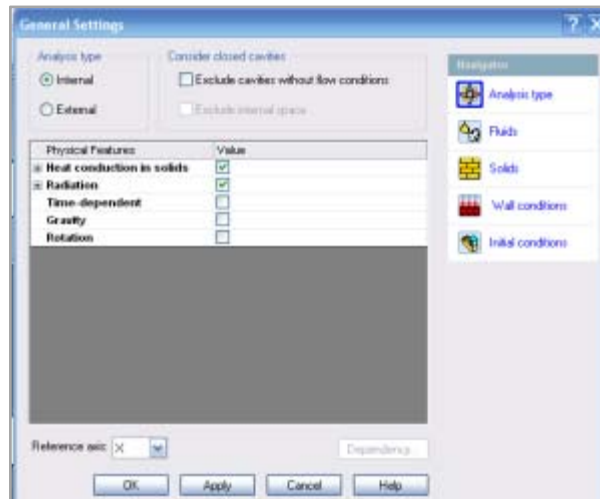


Figura 8 - Menu "General settings"

6.2.2. Fluidos

Neste menu escolhem-se todos os fluidos que vão entrar no problema. O presente caso apenas lida com escoamentos de ar, logo, o fluido a escolher irá ser o ar.



Figura 9 - Menu "General settings"

6.2.3. Sólidos

Neste menu pode ou não escolher-se o sólido principal que vai entrar no problema. Contudo, é mais fácil definir os vários sólidos que constituem este sistema num outro menu, que se apresentará mais adiante.

6.2.4. Condições das paredes

Este menu apenas serve para dar condições iniciais ao estado termodinâmico das paredes. É um ponto de partida para se dar início aos cálculos iterativos que o processador irá efectuar.

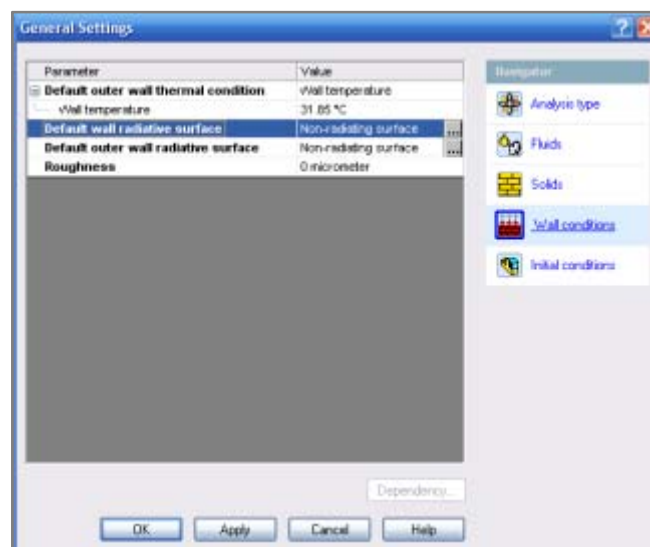


Figura 10 - Menu "General settings"

6.2.5. Condições iniciais

Como no ponto anterior, este menu apenas serve como um ponto de início para os cálculos do processador. Quanto mais próximos os valores inseridos forem dos valores espectáveis, mais rápido irá ser o cálculo.

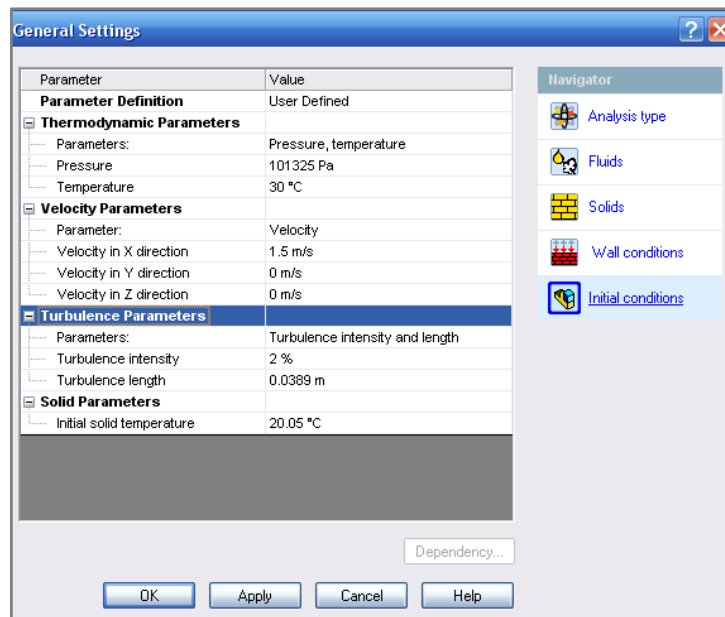


Figura 11 - Menu "General settings"

6.3. Domínio Computacional

Neste menu irá definir-se o volume de controlo. No presente caso, este é representado pelos limites do túnel de ensaios. Na figura 12 pode ver-se, a traço azul, o volume de controlo escolhido.

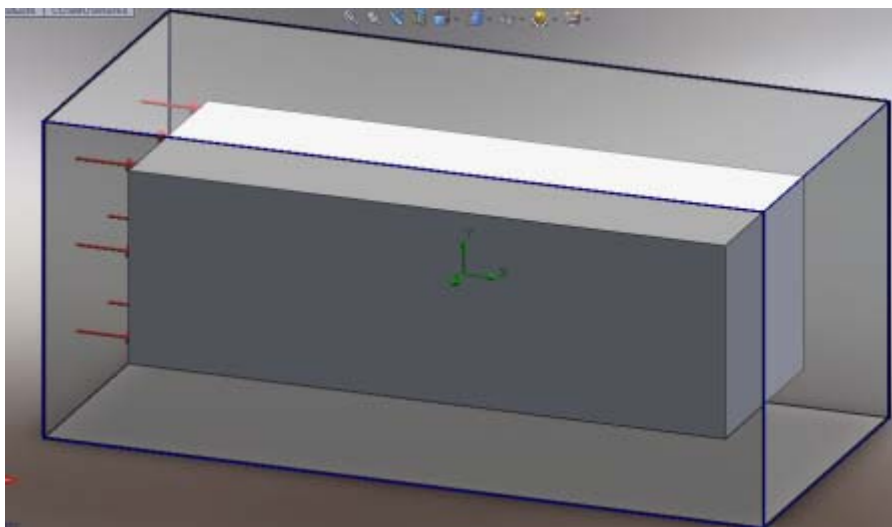


Figura 12- Domínio Computacional

6.4. Subdomínios (fluid sub-domains)

O presente problema é definido por dois escoamentos, sendo o primeiro escoamento exterior à caixa isotérmica, limitado pelo volume de controlo e pelas paredes externas da caixa isotérmica; logo torna-se assim necessário definir um subdomínio para poder analisar o que se passa dentro da caixa isotérmica. Para isso utiliza-se o menu *fluid sub-domain* onde para além de definir este domínio no espaço, também se pode definir, de um modo geral, as condições iniciais do fluido que ele contém (temperaturas, velocidades, turbulências,... etc). Considerou-se que a temperatura inicial do ar dentro deste subdomínio era 32°C. A explicação para esta escolha irá ser dada mais adiante. Na Figura 13 pode ver-se, a tracejado, o subdomínio que irá representar o volume de controlo do interior da caixa isotérmica.

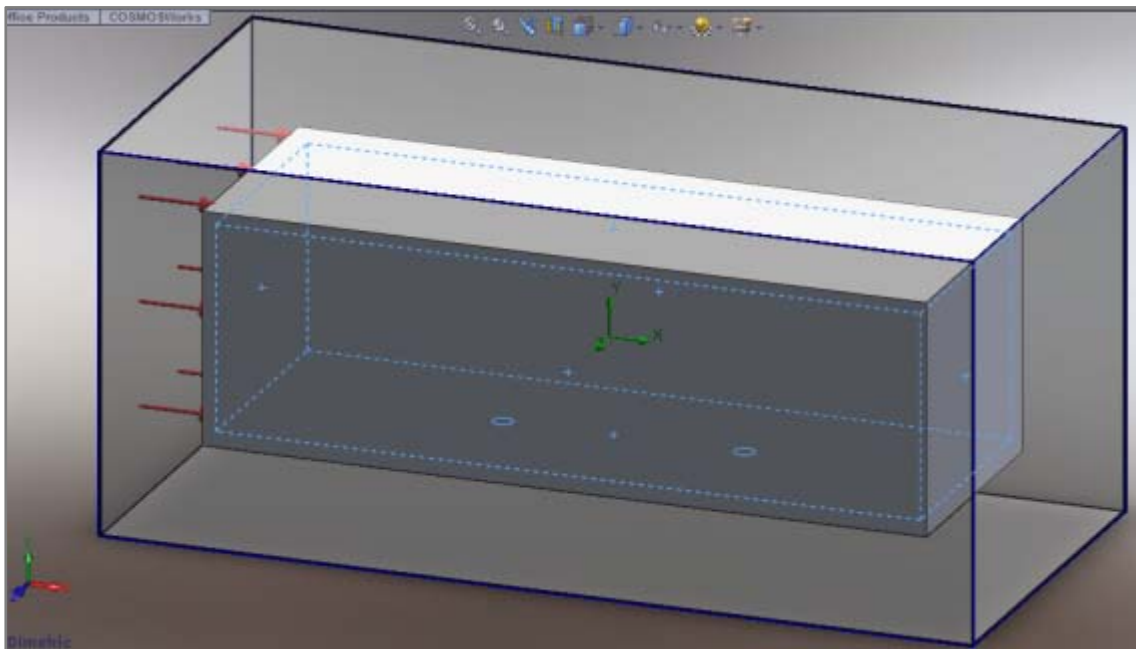


Figura 13 - Subdomínio, o interior da caixa isotérmica

6.5. Materiais sólidos (*Solid Materials*)

Este menu serve para definir todas as partes sólidas do caso em estudo, tais como os materiais constituintes da caixa isotérmica, permutadores de calor, etc. A Figura 14 mostra todos os sólidos que entram em jogo nesta simulação e a Figura 14 mostra a definição, a título de exemplo, de um dos sólidos, neste caso o escolhido foi o poliuretano, material

constituente de toda a caixa isotérmica. Uma vez que só é conhecido o material da caixa isotérmica ensaiada, poliuretano, as suas características tiveram de ser investigadas e assumiram-se valores que podem ou não ser próximos dos da caixa isotérmica. As propriedades utilizadas foram consultadas em diversas fontes Santos, **F.M. Gonçalves (2008)**, Instalações Frigoríficas e ASHRAE)

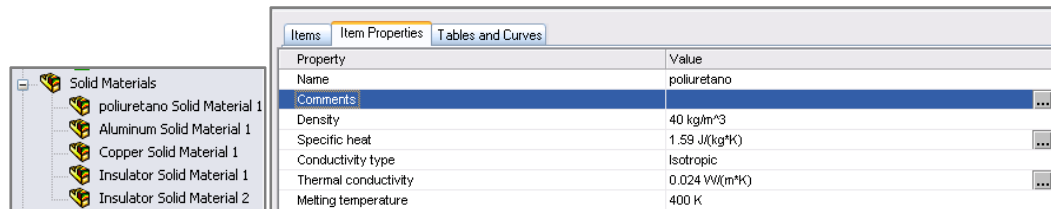


Figura 14 - Definição de sólidos e suas características

6.6. Condições Fronteira (*Boundary Conditions*)

Este ponto é de extrema importância, pois é aqui que se vai tentar definir, o mais pormenorizadamente possível, as condições estipuladas no ATP. Deste modo irão definir-se as seguintes condições:

6.6.1. Escoamento do ar no túnel de ensaio

De acordo com o ATP, a velocidade do ar dentro do túnel de ensaio deve estar compreendida entre 1 e 2 ms⁻¹, a 10 cm das paredes exteriores da caixa isotérmica. Para definir esta velocidade no software, foi necessário definir uma área imaginária, dado que, se fosse considerada a área transversal do túnel, a velocidade iria ser demasiado elevada, porque a área transversal da caixa isotérmica ocupa grande parte do espaço do túnel.

Área exterior da caixa isotérmica

A partir dos dados da caixa isotérmica, descritos no Tabela 3, tem-se que:

$$\text{Área transversal}_{\text{exterior}} = l \times H = 2.5935 \times 2.37 = 6.147\text{m}^2$$

Área transversal do túnel

Sabendo que as paredes do túnel distam de 750mm das paredes exteriores da caixa isotérmica, tem-se que:

$$\begin{aligned}\dot{A}rea_{trans.tunel} &= [(2 \times 0.75) + l] \times [(2 \times 0.75) + H] \\ &= [(2 \times 0.75) + 2.5935] \times [(2 \times 0.75) + 2.37] = 15.842m^2\end{aligned}$$

Área útil

Define-se por área útil a área onde realmente irá haver escoamento de ar, logo, esta área será definida pela diferença entre a área transversal do túnel e a área exterior da caixa isotérmica. É na área útil que a velocidade do escoamento terá de estar compreendida entre 1 e 2 ms⁻¹, tendo-se optado por escolher o valor médio ou seja 1.5 ms⁻¹:

$$\begin{aligned}\dot{A}rea_{util} &= \dot{A}rea_{trans.tunel} - \dot{A}rea_{transversal exterior} \\ &= 15.842 - 6.147 = 9.695m^2\end{aligned}$$

Sabendo a velocidade e a área, podemos determinar um caudal volúmico \dot{V}_1 :

$$\dot{V}_1 = 1.5 \times 9.695 = 14.5433m^3s^{-1}$$

No entanto, o escoamento em *software* é definido como uma velocidade originada pela área do túnel. Se se definisse esta velocidade como 1.5 ms⁻¹, esta iria ser muito maior devido ao facto de a secção por onde realmente se dá o escoamento ser menor, logo terá de se calcular uma velocidade que seja menor que 1,5 ms⁻¹ mas que, quando se dê o estreitamento da secção, aumente para valores próximos de 1.5 ms⁻¹. Irá então definir-se um novo caudal volúmico $\dot{V} = \dot{V}_1$ e uma nova velocidade v . Esta velocidade será a velocidade a inserir como primeira condição fronteira. Logo,

$$\dot{V} = \dot{V}_1 = 14.543 = v \times \dot{A}rea_{trans.tunel} = v \times 15.842$$

$$v = \frac{14.543}{15.842} = 0.9 \text{ms}^{-1}$$

Assim a velocidade a inserir no programa será 0.9ms^{-1} .

Terá ainda de se definir o sentido e a direcção da velocidade. Considerou-se o sentido positivo e a direcção do eixo xx.

As propriedades termodinâmicas deste escoamento serão a temperatura e a pressão. Para a temperatura utilizou-se os valores usados no túnel de ensaio, cerca de 7 a 8°C. A pressão será a pressão atmosférica.

Na Figura 15 pode ver-se como são inseridos os dados calculados anteriormente, e a Figura 16 mostra os vectores velocidade representados por setas a vermelho.

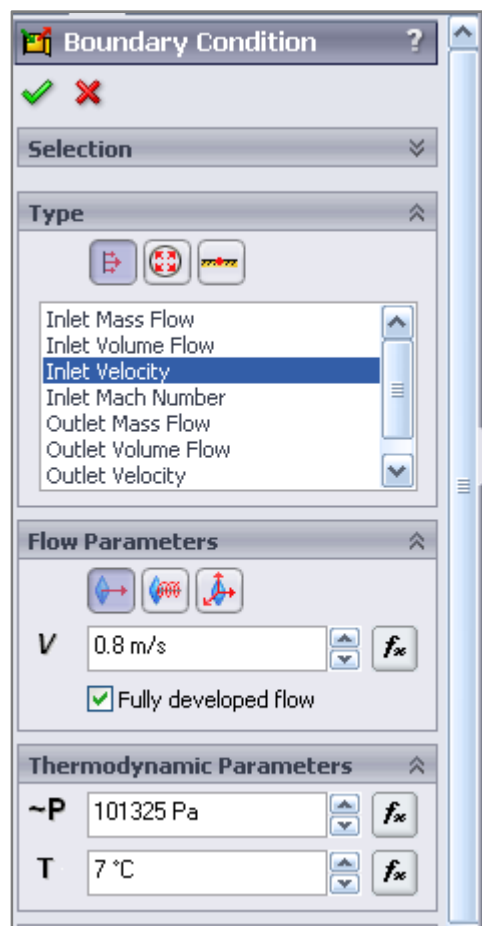


Figura 15 - Inserção de dados

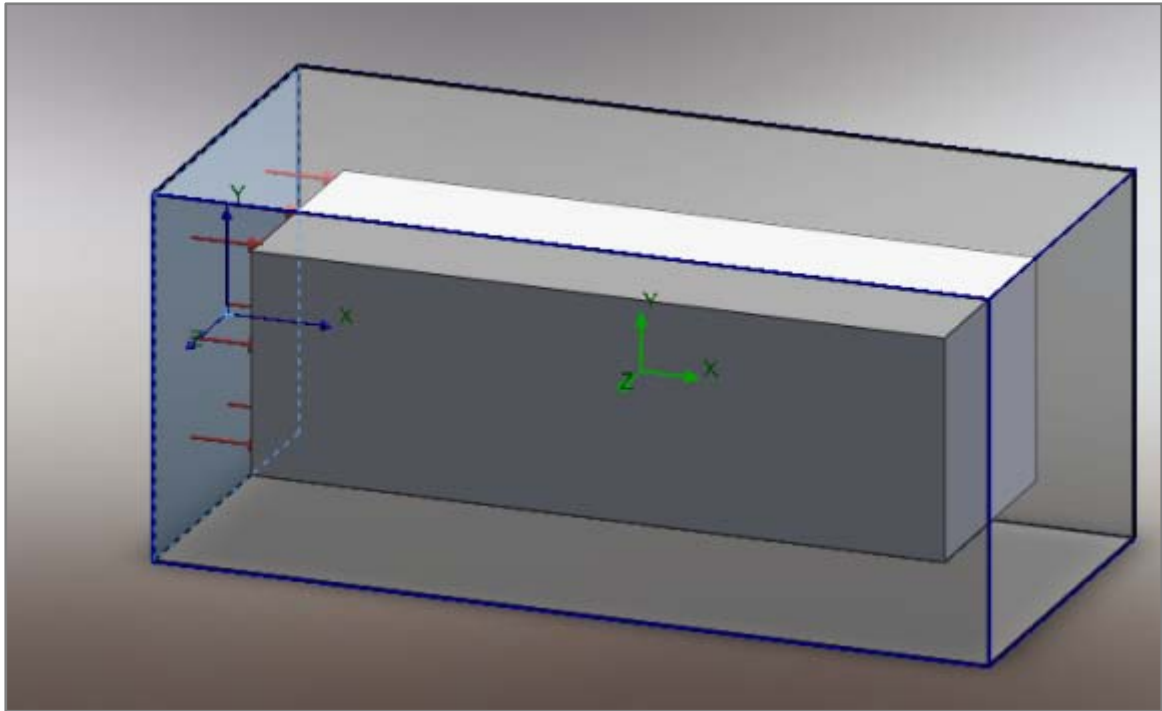


Figura 16 - Vectores Velocidade

6.6.2. Pressão Ambiente (Environment Pressure)

Esta condição serve apenas para que o escoamento criado no ponto anterior se possa dar, isto é, se não houver uma diferença de pressões, não pode haver escoamento de ar. Assim, definiu-se que na secção oposta àquela que origina a velocidade (ver ponto anterior) haverá uma depressão de modo a que se possa dar um escoamento. Pode ver-se na figura 17 o valor utilizado para criar a depressão. Apesar de estes valores serem iguais, tanto no ponto anterior como neste, esta condição tem de ser criada para que o *software* defina o escoamento.

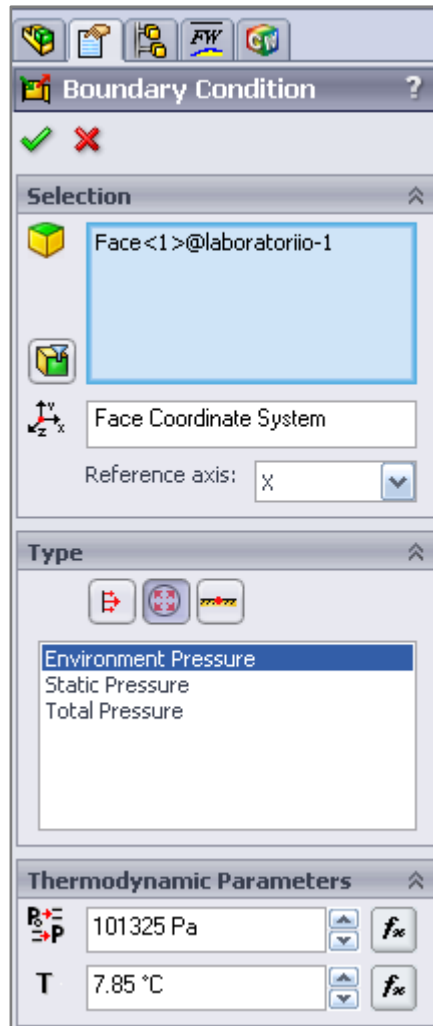


Figura 17 - Inserção de dados

6.6.3. Condições fronteira dos permutadores

As quatro condições fronteira que se seguem, vão definir o escoamento dos 2 permutadores de calor. O escoamento em cada um dos permutadores é definido do mesmo modo do escoamento do ponto anterior.

De acordo com o estipulado no ATP, os permutadores têm de garantir 40 a 70 circulações de ar por hora, isto em relação ao volume interno da caixa isotérmica. Cada permutador é munido de um ventilador, que é definido no *software* como um disco de 180 mm de diâmetro, representado a azul na Figura 19.

O cálculo do caudal de cada ventilador foi feito da seguinte forma:

Volume interno da caixa isotérmica V_i

$$V_i = L_i \times l_i \times H_i = 7.196 \times 2.473 \times 2.092 = 37.23m^3$$

Sabendo que o número de circulações de ar tem de estar compreendido entre 40 e 70, considerou-se o valor médio, ou seja, 55 circulações hora. Torna-se então necessário definir o caudal volúmico que os dois ventiladores terão de garantir - \dot{V} .

$$\dot{V} = CRH \times V_i = 55 \times 37.23 = 2044.8m^3h^{-1}$$

Visto que temos dois permutadores, o caudal será:

$$\frac{2044.8}{2} = 1022.4m^3h^{-1}$$

Como o software só aceita entradas no Sistema Internacional, tem-se que:

$$\frac{1022.4}{3600} = 0.284m^3s^{-1}$$

Este será o valor que cada permutador terá de garantir e será o valor a ser inserido no *software*.

Resta então definir o vector que define o caudal. Este terá origem nos discos que simulam os ventiladores, a azul na Figura 19, direcção segundo o eixo principal dos yy e sentido positivo (figura 18). Ter em conta que em relação ao referencial do ventilador o eixo é o dos xx.

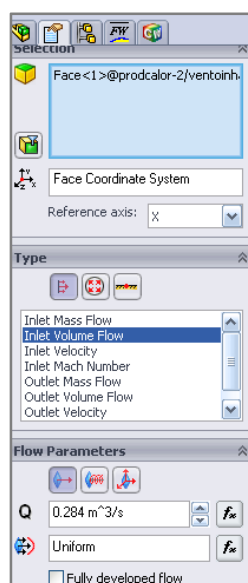


Figura 18 - Inserção de dados

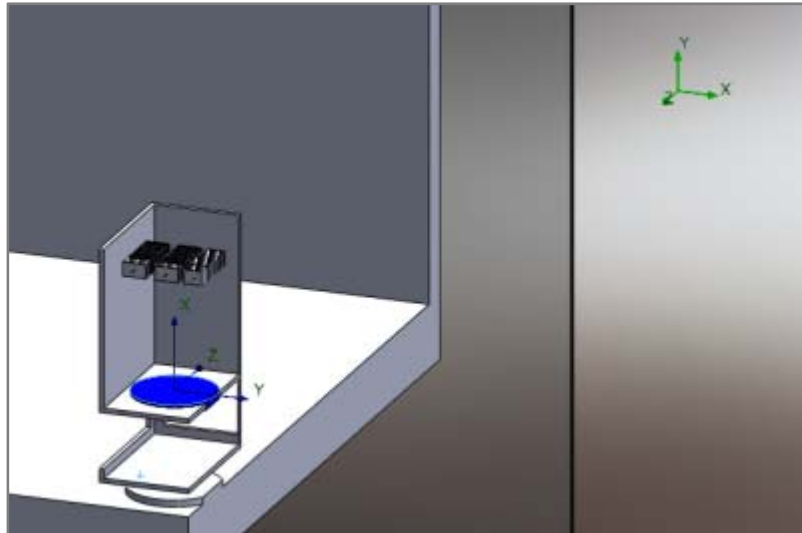


Figura 19 - Pormenor do permutador, e a azul a definição da secção de escoamento

Como no ponto anterior, para que se dê o escoamento, terá de se definir uma depressão no lado oposto do disco, sendo essa a segunda condição fronteira para definir o escoamento que atravessa o permutador. Na Figura 20 podemos ver os valores considerados. A figura 21 mostra o referencial para a área onde se vai exercer a pressão, sendo esta área delimitada pela circunferência a cinzento.

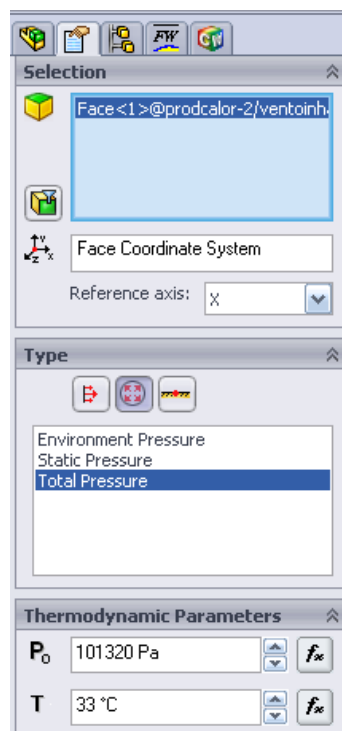


Figura 20 - Inserção de dados

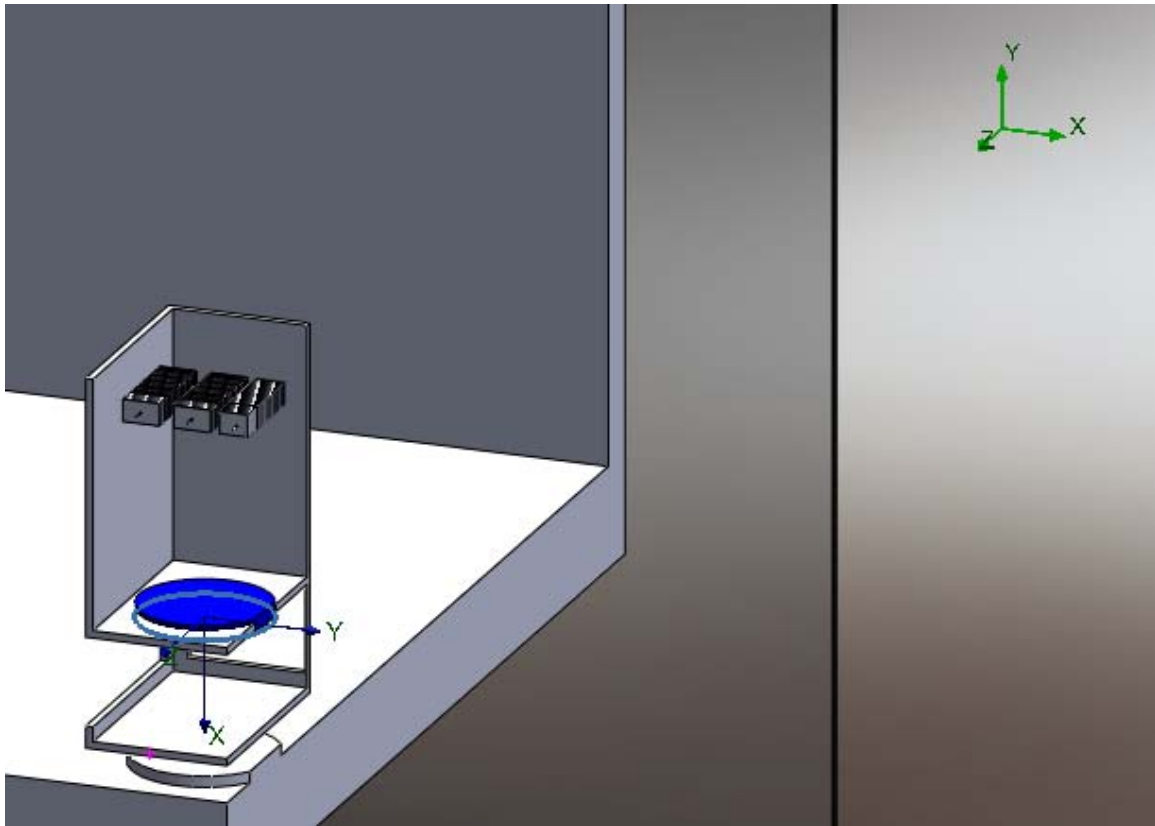


Figura 21 - Pormenor do permutador, entrada do escoamento pela circunferência a cinzento e saída pelo disco a azul

Uma vez que os permutadores são iguais, o processo para definir o segundo permutador é, em tudo, idêntico.

Estão assim definidas todas as condições fronteira que definem este problema.

6.7. Resistências eléctricas

Resta agora definir a potência necessária aos permutadores. Sabendo que a temperatura exterior terá de rondar os 7-8°C e que a diferença de temperaturas entre o interior da caixa isotérmica e o túnel de ensaios tem de ser, segundo o ATP, de $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$, temos que a temperatura interior da caixa T_i dada por:

$$T_i = 7 + 25 = 32^\circ\text{C}$$

Esta será a temperatura interior a utilizar para definir a temperatura que deverá ser atingida no interior da caixa isotérmica. É um valor médio, que será medido em 11 pontos, situados nos pontos que o ATP define para a colocação dos sensores de temperatura. O processo para registar as temperaturas exteriores será o mesmo, como se irá ver mais adiante.

É agora fundamental definir a potência necessária para que se consiga manter esta diferença de temperatura.

$Q = U \times S \times \Delta T$, em que:

Q - Carga térmica através das paredes, tecto e pavimento (W);

U - Coeficiente de Transmissão de Calor da parede considerada ($Wm^{-2}C^{-1}$);

S - Superfície da parede considerada (m^2);

ΔT - Diferença de temperatura entre as duas faces da parede considerada ($^{\circ}C$).

O coeficiente de Transmissão de Calor U, será dado por:

$U = \frac{1}{R}$ onde $R = \frac{1}{h_i} + \sum \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}$ em que:

$\frac{1}{h_i}$ - Resistência térmica de convecção na superfície interna (m^2C^{-1}), sendo $h_i = 15$
 $Wm^{-2}C^{-1}$

$\sum \frac{e}{\lambda}$ - Somatório das resistências térmicas de condução das diferentes faces que constituem a caixa isotérmica (m^2C^{-1}) sendo:

E - Espessura de parede (m);

λ - Condutividade térmica das paredes da caixa isotérmica ($Wm^{-1}C^{-1}$);

$\frac{1}{h_e}$: Resistência térmica de convecção na superfície externa (m^2C^{-1}), sendo $h_e = 30$
 $Wm^{-2}C^{-1}$.

De acordo com o exposto, o cálculo da potência irá ser feito por fases, isto é, agrupam-se faces com espessuras iguais e calcula-se o valor Q correspondente. No final somam-se todas as parcelas para obter o total.

Lados

A área média (A_l) das duas faces laterais da caixa isotérmica é dada por:

$A_l = 2 \times (H \times L)$ sendo que,

$$H = \frac{H_{Int} + H_{Ext}}{2} = \frac{2.09225 + 2.37}{2} = 2.331m^2$$

$$L = \frac{L_{Int} + L_{Ext}}{2} = \frac{7.196 + 7.399}{2} = 7.298m^2$$

Assim, a área das faces laterais será:

$$A_l = 2 \times (2.331 \times 7.298) = 32.563m^2$$

De acordo com o referido na Tabela 3, sabe-se que:

Espessura das faces laterais (e_l) = 0.060m

$$\lambda = 0.024Wm^{-1}{}^{\circ}C^{-1}$$

$$Q_l = 32.563 \times \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{0.060}{0.024} + \frac{1}{30}} \times (32 - 7) = 317W$$

Temos assim definido o calor dissipado pelas faces laterais. O cálculo para as outras faces realiza-se do mesmo modo, pelo que só se vai apresentar uma tabela com todos os valores para todas as faces.

	FACES			
	Lados (L X H)	Frente (l X H)	Porta (l X H)	Topos (l X L)
Área (m ²)	32.563	5.904	5.904	36.972
e (m)	0.060	0.117	0.086	0.139
λ (Wm ⁻¹ °C ⁻¹)	0.024	0.024	0.024	0.024
ΔT (°C)	25	25	25	25
Q (W)	317	30	40	157

Tabela 13 - Dados para o cálculo da transferência de calor em cada parede da caixa isotérmica

Assim, a potência necessária para as resistências dos permutadores será:

$$Q = 317 + 30 + 40 + 157 = 544W$$

Contudo, para garantir que os permutadores cumprissem com a sua função definiu-se esta potencia como sendo de 600W, no *software*.

Para definir esta potência no *software*, optou-se por considerar que seria um volume a gerar calor em vez de uma área. Isto deve-se ao facto de as alhetas terem cada uma 6 faces, logo a quantidade de faces a escolher seria muito elevada, fazendo com que o tempo de cálculo fosse muito grande. Assim, considerou-se que cada alheta em volume libertava uma determinada quantidade de calor e que no seu total, ou seja, todas as alhetas dos dois permutadores libertam os referidos 600W. Na figura 22 podem ver-se a azul as alhetas, e na figura 23 a inserção de dados para definir as suas condições termodinâmicas.

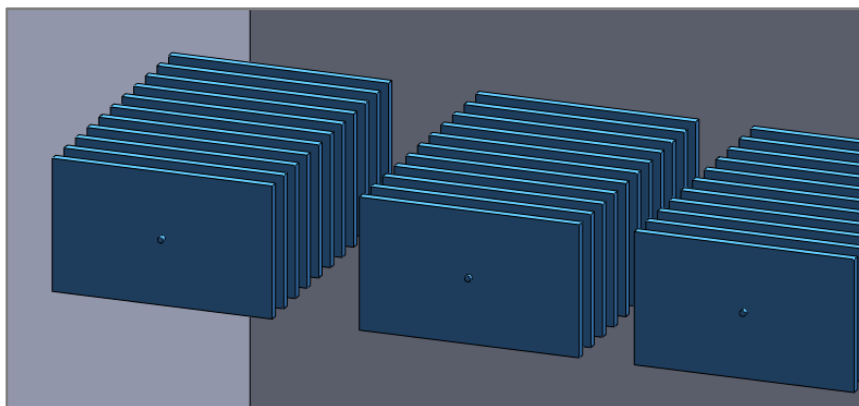


Figura 22 - Pormenor das alhetas dos permutadores

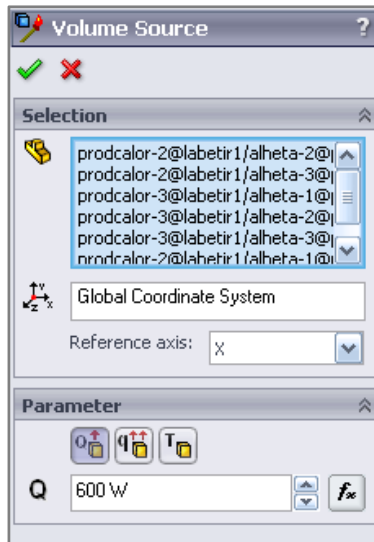


Figura 23 - Inserção de dados

Estão assim definidas todas as principais condições exigidas pelo ATP. Resta agora, antes de se dar início aos cálculos, definir objectivos, isto é, o *software* chega a um resultado final através de inúmeras iterações até que um determinado valor desconhecido convirja num valor exacto. Se dermos a informação que pretendemos obter ao *software*, este irá focar-se nessa informação e “saberá” o que esta à “procura”. Assim, poder-se-á dizer que quantos mais objectivos se definirem, mais fácil será para o *software* chegar aos resultados finais.

Foram definidos dois objectivos (*goals*):

- Temperatura média do ar;
- Fluxo médio de calor.

Note-se que os valores considerados dos objectivos definidos, apenas servem para facilitar o cálculo, mais adiante irá fazer-se a análise de resultados.

6.8. Processamento

O processamento de dados é dividido em duas partes distintas:

- Criação da malha;
- Processo de cálculo

6.8.1. Criação da malha

A malha, é uma forma de o software dividir o problema em estudo em inúmeros volumes muito pequenos, que serão analisados um a um e inter-ligados de modo a obter-se um resultado. A Figura 24 mostra, a azul, a malha definida pelo *software*

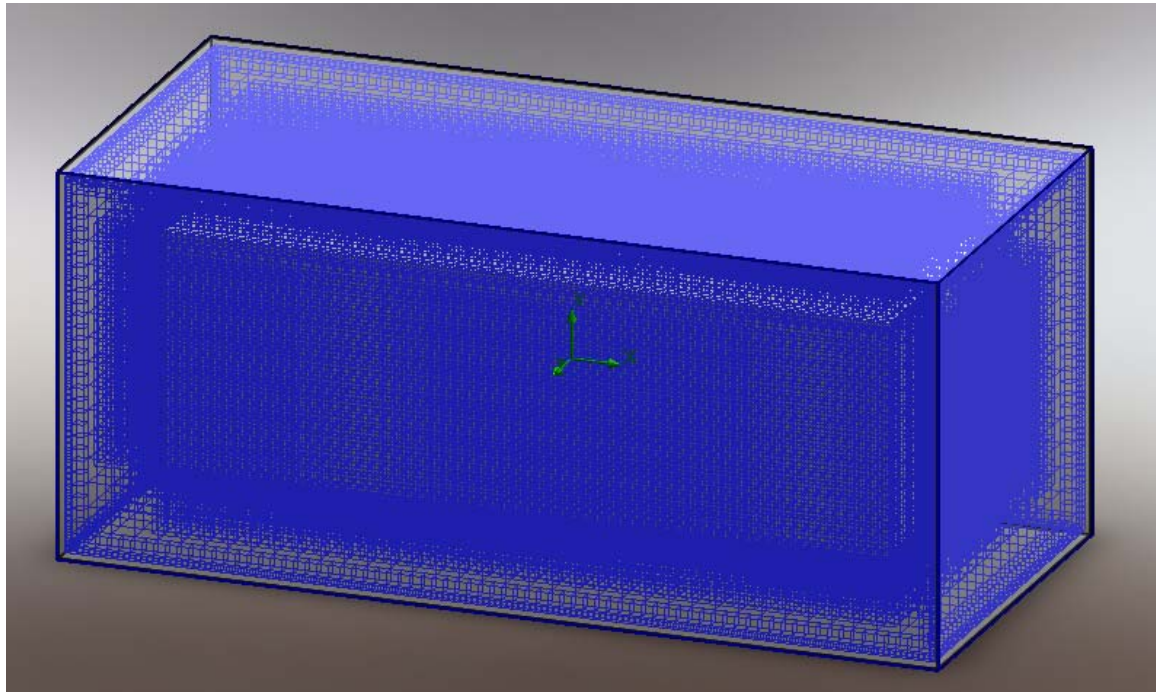


Figura 24 - Malha definida pelo software

6.8.2. Processo de cálculo

Após a malha estar concluída dá-se início ao processo de cálculo. Este irá estender-se até que os objectivos descritos anteriormente convirjam em valores fixos. Após o processo de cálculo estar concluído, procede-se à análise de resultados.

6.9. Análise de resultados

6.9.1. Distribuição de velocidades

Os primeiros dados que serão analisados serão as velocidades de escoamento no túnel de ensaio. Foram analisados perfis de velocidades em dois planos distintos. O primeiro plano será colocado a 100 mm, paralelamente à face lateral da caixa; o segundo plano será colocado a 100 mm, paralelamente ao topo da caixa. Em ambas as figuras que se seguem (figura 25 e 26) podem observar-se as distribuições de velocidades dentro do túnel em torno da caixa

isotérmica. A distribuição é relativamente uniforme e compreendida entre os valores estipulados pelo ATP.

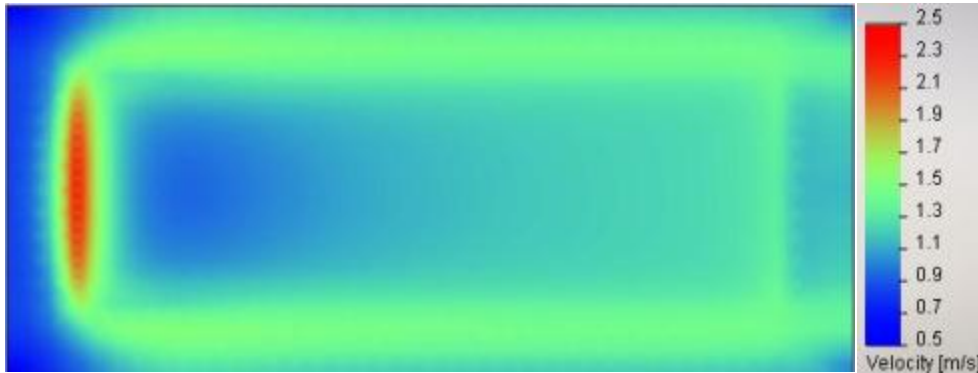


Figura 25 - Distribuição de velocidades na parede lateral

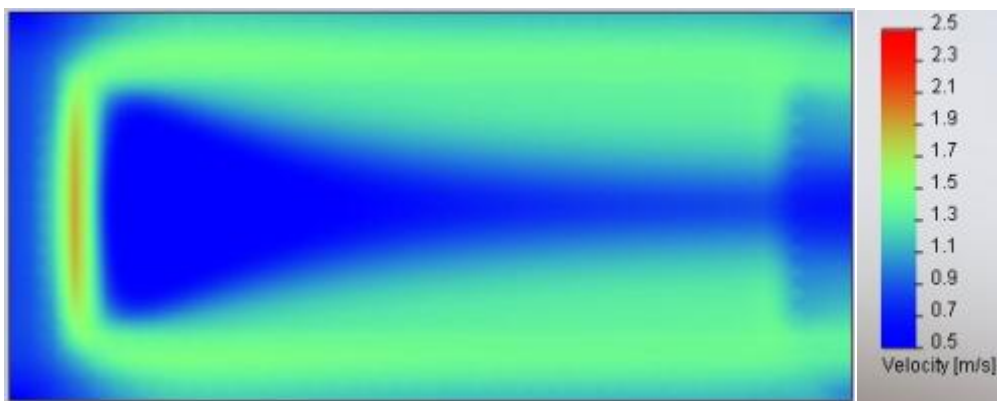


Figura 26 - Distribuição de velocidades no tecto (topo)

Já para o interior da caixa irá apenas analisar-se a distribuição de ar realizada pelos permutadores. É importante que esta seja a mais ampla possível de modo a que o ar se distribua uniformemente pelo interior da caixa. A Figura 27 mostra algumas das linhas da trajectória do fluxo de ar onde se pode ver que praticamente todo o interior da caixa recebe ar recirculado pelos permutadores, o que está nos conformes do ATP.

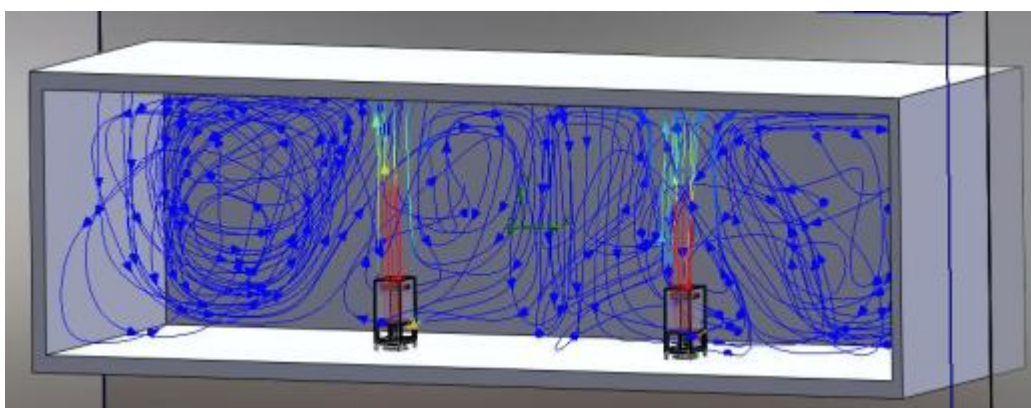


Figura 27 - Distribuição do ar pelos ventiladores no interior da caixa isotérmica

6.9.2. Temperaturas

O ATP é bastante exigente no que toca às temperaturas. Irão ser apresentados seguidamente dados referentes às paredes da caixa isotérmica. Dado que as paredes com maior área e com menor espessura são as laterais, o estudo recairá sobre elas, pois é através destas que se perde a maior quantidade de calor. Esta análise irá dividir-se em duas partes, a análise das paredes internas e a das paredes externas

1.1.1.6. *Paredes internas*

A distribuição de temperaturas numa das paredes laterais, é apresentada pela Figura 28. Pode constatar-se que a distribuição das temperaturas na parede é relativamente uniforme. Como definido anteriormente, a temperatura no interior da caixa foi calculada em cerca de 32°C e a imagem revela que a distribuição de temperaturas da parede não se desvia muito deste valor.

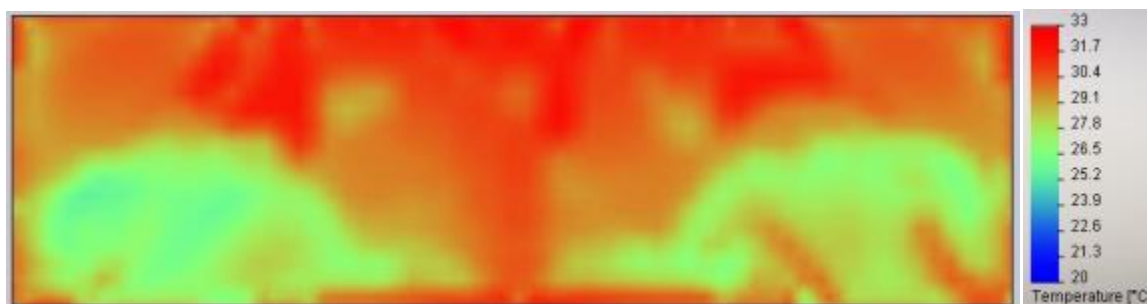


Figura 28 - Distribuição de temperaturas na parede lateral interior

1.1.1.7. Paredes externas

À semelhança do ponto anterior, a análise da distribuição temperaturas para as paredes externas foi feita para uma das faces laterais da caixa isotérmica. Na Figura 29 pode ver-se a distribuição das temperaturas na parede exterior. A distribuição de temperaturas é praticamente uniforme, contudo está ligeiramente acima dos 7°C calculados anteriormente. Esta situação estava prevista, uma vez que esta distribuição foi obtida sobre a face externa e não a 100 mm da face como está previsto no ATP. Se for criado um plano paralelo a 100 mm da referida face, obtêm-se a distribuição da Figura 30. Aí pode ver-se que a temperatura do ar se mantém praticamente constante ao longo do túnel, devendo-se isto ao facto do caudal de ar, que está circular no túnel, ser muito elevado, e daí, ter uma inércia térmica muito elevada, não sendo por isso influenciado pelas perdas de calor provenientes das paredes externas da caixa isotérmica.

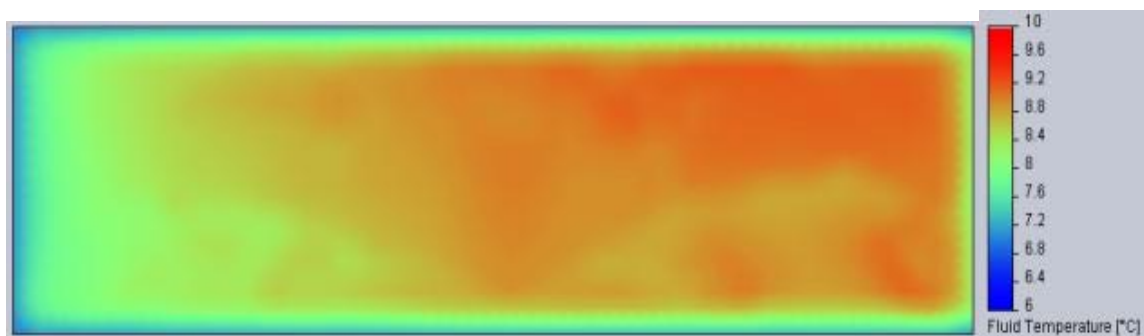


Figura 29 - Distribuição de temperaturas na parede lateral exterior

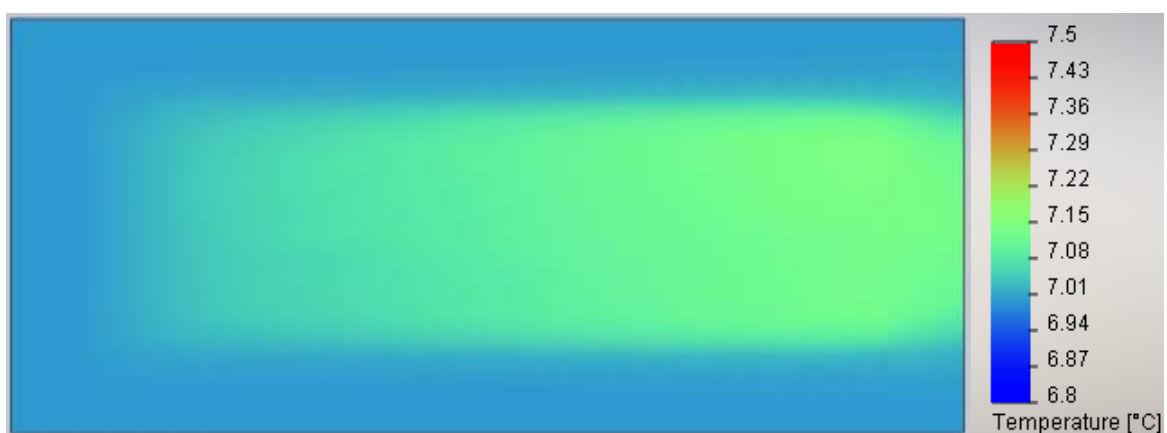


Figura 30 - Distribuição das temperaturas do ar a 100mm da parede lateral exterior

6.10. Recolha de dados simulando os sensores colocados no ensaio realizado no LABET

Os sensores foram simulados através de pontos colocados em sítios chave, os quais serão os definidos no ponto 1.6. Foram, no seu total, colocados 11 pontos no exterior da caixa e 11 no seu interior. Estes vão registar essencialmente a temperatura interior, a temperatura exterior, e por fim, o fluxo de calor por m^2 , tanto das paredes externas como das internas. Os dados recolhidos pelos pontos são apresentados na Tabela 14. A Figura 31 mostra a colocação destes pontos dentro da caixa. Os pontos são representados por cruzes pretas e foram colocados nos quatro cantos da caixa e nos centros das paredes com maior área.

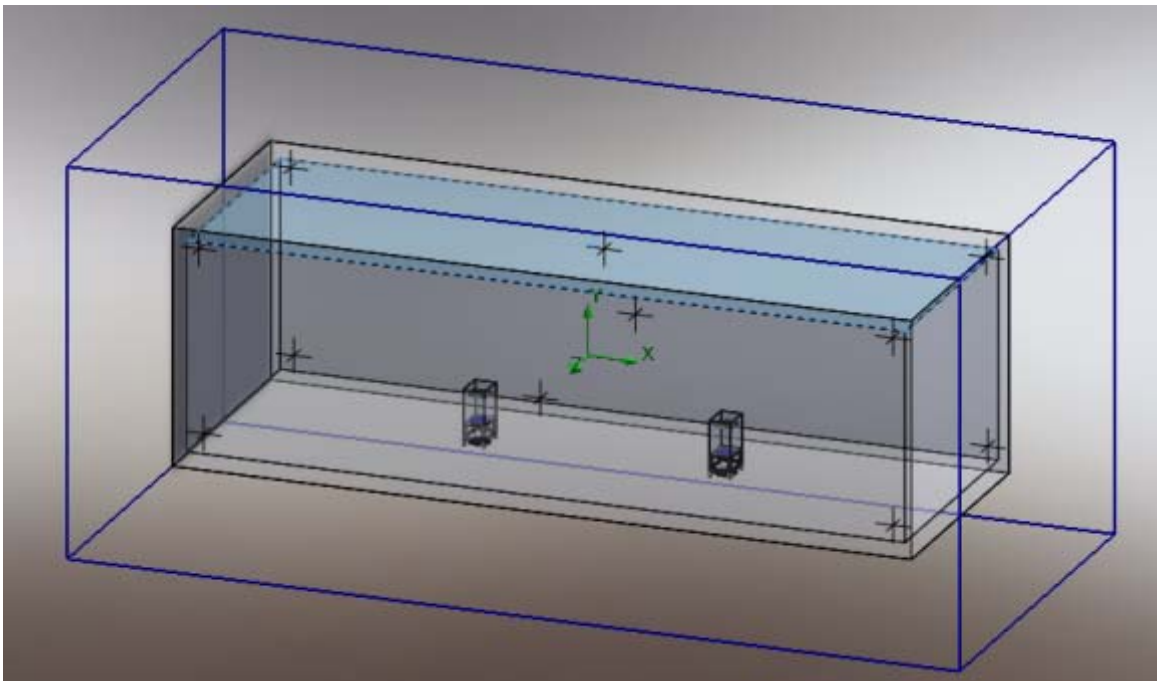


Figura 31 - Colocação dos pontos de recolha de dados

	Interior Caixa		Exterior caixa	
	Fluid Temperature [°C]	Surface Heat Flux [W/m ²]	Fluid Temperature [°C]	Surface Heat Flux [W/m ²]
	29,09	9,43	7,29	2,21
	28,99	8,64	7,27	2,12
	30,76	8,65	8,98	8,64
	30,33	9,78	7,39	1,38
	30,07	9,47	7,52	1,84
	29,38	9,39	7,19	1,29
	29,58	9,01	7,16	1,93
	30,68	8,62	8,99	8,66
	28,73	9,21	7,21	1,59
	28,10	8,07	7,44	3,85
	32,03	4,08	8,42	4,08
Média	29,79	8,58	7,71	3,42

Tabela 14 - Dados recolhidos pelos pontos que simulam os sensores

	Fluid Temperature [°C]	Surface Heat Flux [W/m ²]
Média int. e ext.	18,75	6,00
K [W/(m ² °C)]	0,320	

Tabela 15 - Valores finais obtidos para fluxo de calor e temperaturas. Valor de K obtido

O valor de K é obtido através do quociente entre os valores médios do fluxo de calor por m² (γ) e os valores médios da temperatura do fluido em contacto com as paredes (internas e externas). Assim, tem-se que:

$$K = \frac{\gamma}{\Delta T} = 0.320 \text{ Wm}^{-1}\text{°C}^{-1}$$

Obtido o valor de K, pode dar-se por concluída a análise em *floworks*, restando ainda fazer um comparativo entre os resultados obtidos e os resultados do laboratório.

7. Conclusões

Os veículos analisados neste trabalho, de acordo os ensaios realizados no LABET, foram respectivamente classificados como FRC e FNA como se confirma através da análise e tratamento de dados apresentados.

Como já referido anteriormente, Portugal não obriga a que os veículos que operem apenas em território nacional sejam certificados, desde que cumpram com as características mencionadas no despacho nº 20 448/2005 (2ª série) da Direcção-Geral de Viação (Ministério da Administração Interna). Contudo, caso Portugal venha a adoptar o ATP para a sua legislação, terão de ser tomadas medidas que visem o aumento da capacidade da certificação de veículos. Uma das hipóteses a considerar será os ensaios simulados informaticamente.

O ensaio que se realizou informaticamente diz respeito à determinação do valor K do 1º veículo para posterior comparação com os valores obtidos em laboratório. É necessário ter em conta que, dado que se simplificou a caixa isotérmica em análise, é de esperar que o valor de K obtido com recurso ao software seja inferior ao valor de K obtido em laboratório. Contudo, com computadores mais poderosos, é possível definir praticamente todas as características das caixas isotérmicas num modelo informático, sem que os tempos de cálculo sejam muito afectados, o que não é possível num computador portátil, onde esta simulação foi realizada. Os tempos de cálculo para o ensaio apresentado rondaram as 2 horas, o que, quando comparadas com um mínimo de 18 horas que demora um ensaio K em laboratório, demonstram que a simulação informática poderá a vir ser mais proveitosa, pelo menos em termos de tempo.

O problema da simulação informática está na dificuldade em se conseguir uma aproximação ao máximo das condições reais, tanto do túnel de ensaio como do veículo a ser ensaiado. Outro problema será simular o ensaio de eficiência, dado que este depende do tempo, ou seja, é não estacionário o que implica a necessidade de computadores com uma maior capacidade de processamento devido aos tempos de cálculo serem muito superiores aos de um ensaio estacionário.

Analisando os valores de K obtidos na Tabela 16, pode ver-se que são relativamente próximos um do outro, sendo o valor obtido pelo *software*, inferior ao obtido no

laboratório, o que era espectável. Mesmo com a simplificação e com um valor de λ assumido, tendo em conta que não se conhecia o valor exacto, os resultados do *software* tem uma margem de erro de cerca de 15.8%, em relação ao valor real em obtido no laboratório, o que, para a complexidade do problema em estudo, e tendo em conta as simplificações realizadas, pode ser considerado um erro pequeno.

	Laboratório	Software
K [W/(m ² °C)]	0.380	0.320

Tabela 16 - Comparação de valores de K obtidos

$$Erro (\%) = \left(1 - \frac{0.320}{0.380}\right) \times 100 = 15.8\%$$

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, pode concluir-se que o uso de ferramentas informáticas para simular ensaios ATP poderá vir a ser uma solução viável para a problemática apresentada, reduzindo não só os custos para as empresas de transportes, mas também os tempos de ensaios.

8 Bibliografia

AGREEMENT ON THE INTERNATIONAL CARRIAGE OF PERISHABLE FOODSTUFFS AND ON THE SPECIAL EQUIPMENT TO BE USED FOR SUCH CARRIAGE (ATP) -2007 (<http://www.unece.org/trans/main/wp11/atp.html>)

ASHRAE Handbook 2002 – Refrigeration (SI)

ASHRAE Fundamentals Handbook (2001)

Commère, Bernard. la Maîtrise de la chaîne du froid pour l'hygiène et la qualité des aliments. Bulletin de l'IIF – n° 2003-2

Despacho n° 20 448/2005 (2.a série). Direcção-Geral de Viação. MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO INTERNA

Despacho n° 25 013/2003 (2.a série), Direcção-Geral de Transportes Terrestres, MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E HABITAÇÃO

Guerra, António M. Matos. Apontamentos da unidade curricular de Refrigeração: Balanço Térmico de instalações Frigoríficas;

Santos, F.M. Gonçalves (2008). Instalações Frigoríficas, Edição de Fevereiro de 2008, Lisboa;

Norma Portuguesa NP 1524-2008 (Revisão). Transportes terrestres de produtos perecíveis. Características, classificação e utilização (2008). Instituto Português de Soldadura e Qualidade (IPQ)

9 Anexo I

Dados recolhidos durante os ensaios realizados no LABET

10 Anexo II

Classificação e Certificação do veículo 1

11 Anexo III

Classificação e Certificação do veículo 2