



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS



**AVALIAÇÃO DE TEMPERATURAS NO TRANSPORTE
FRIGORIFICADO URBANO DE ALIMENTOS RESFRIADOS E
CONGELADOS**

VÍTOR DE FREITAS PEREIRA

Engenheiro de Alimentos

CAMPINAS

2008



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**AVALIAÇÃO DE TEMPERATURAS NO TRANSPORTE
FRIGORIFICADO URBANO DE ALIMENTOS RESFRIADOS E
CONGELADOS**

Dissertação de mestrado apresentada
à Faculdade de Engenharia de
Alimentos da Universidade Estadual
de Campinas para obtenção do título
de Mestre em Engenharia de
Alimentos.

VÍTOR DE FREITAS PEREIRA

Engenheiro de Alimentos

Prof. Dr. Vivaldo Silveira Júnior

Orientador

CAMPINAS

2008

FICHA CATALOGRÁFICA

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

V414a Pereira, Vitor de Freitas
Avaliação de temperaturas no transporte frigorificado urbano de alimentos resfriados e congelados / Vitor de Freitas Pereira. --Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Vivaldo Silveira Júnior
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos

1. Carrocerias frigorificadas. 2. Alimentos – Transporte. 3. Cadeia do frio. 4. Instrumentação. I. Silveira Júnior, Vivaldo. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

(cars/fea)

Titulo em inglês: Evaluation of temperatures in the chilled and frozen food transport

Palavras-chave em inglês (Keywords): Refrigerated containers, Foods – Transport, Cold chain, Instrumentation

Titulação: Mestre em Engenharia Alimentos

Banca examinadora: Vivaldo Silveira Júnior

Alfredo de Almeida Vitali

Flávio Vasconcelos da Silva

Rodrigo Aparecido Jordan

Programa de Pós Graduação: Programa em Engenharia Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Dr. Alfredo de Almeida Vitali
Instituto de Tecnologia de Alimentos

Prof. Dr. Flávio Vasconcelos da Silva
FEQ – Universidade Estadual de Campinas

Dr. Rodrigo Aparecido Jordan
Thompson Tecnologia Ltda.

Prof. Dr. Vivaldo Silveira Júnior
Orientador – FEA – Universidade Estadual de Campinas

**Aos meus pais, *Sônia* e *Sylvério* e
à minha irmã *Vivian*,
dedico.**

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela bolsa de mestrado;

À FAPESP, que através da linha PIPE disponibilizou a verba necessária para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao professor Vivaldo, por acreditar no meu trabalho;

Aos membros da banca examinadora, pela contribuição e disponibilidade;

À minha família por estar sempre presente;

À Carina, pela cumplicidade;

Aos professores Bento e Lincoln, pelo suporte;

À Transfrigor e ao Dória, pela contribuição no desenvolvimento do trabalho;

Ao pessoal da Transvirtual, Sérgio, Edimar e Sandro, pela disponibilidade;

Aos amigos da pós-graduação pela ajuda e pelos momentos de descontração;

Aos meus grandes amigos, Fred, Ateu, Felipe, Marcelo e Zé, pelo apoio;

Ao pessoal do LACPA, por tornar o ambiente de trabalho agradável;

À Imera, pela ajuda durante a instrumentação;

À Testo e à Litocargo, pelo material de trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XVII
RESUMO.....	XVIII
ABSTRACT	XIX
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO GERAL	3
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
4. MATERIAL E METODOLOGIA	11
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	25
5.1. 1º DIA DE MONITORAÇÃO:	27
5.2. 2º DIA DE MONITORAÇÃO:	40
5.3. 3º DIA DE MONITORAÇÃO:	52
5.4. 4º DIA DE MONITORAÇÃO:	61
5.5. 5º DIA DE MONITORAÇÃO:	68
5.6. 6º DIA DE MONITORAÇÃO:	76
5.7. 7º DIA DE MONITORAÇÃO:	83
5.8. RETOMADAS DE TEMPERATURA PELO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO.....	88
5.9. TESTE DE VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DE PRODUTOS	100
6. CONCLUSÕES.....	107
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	111
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
9. ANEXOS	117
9.1. FIXAÇÃO DOS SENSORES NA CARROCERIA FRIGORIFICADA	117
9.2. 1º DIA DE MONITORAÇÃO:	120
9.3. 2º DIA DE MONITORAÇÃO:	125
9.4. 3º DIA DE MONITORAÇÃO:	130
9.5. 4º DIA DE MONITORAÇÃO:	135
9.6. 5º DIA DE MONITORAÇÃO:	140
9.7. 6º DIA DE MONITORAÇÃO:	145
9.8. 7º DIA DE MONITORAÇÃO:	149

LISTA DE ABREVIATURAS

Cp1 = Sensor de temperatura no compartimento de congelados, próximo à porta - nº1

Cp2 = Sensor de temperatura no compartimento de congelados, próximo à porta - nº2

Cs1 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de congelados - nº1

Cs2 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de congelados - nº2

Cs3 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de congelados - nº3

Cs4 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de congelados - nº4

Cs5 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de congelados - nº5

Cs6 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de congelados - nº6

Cs7 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de congelados - nº7

Cs8 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de congelados - nº8

DG = Momento de degelo automático por gás quente.

Ent = Período de ocorrência de uma determinada entrega de produtos.

E1-1 = *Data-logger* Externo nº1, canal 1. Sensor de temperatura da superfície lateral esquerda externa da carroceria.

E1-2 = *Data-logger* Externo nº1, canal 2. Sensor de temperatura do piso do lado externo da carroceria.

E1-3 = *Data-logger* Externo nº1, canal 3. Sensor de temperatura do piso do lado externo da carroceria.

E1-4 = *Data-logger* Externo nº1, canal 4. Sensor de temperatura da superfície lateral esquerda externa da carroceria.

E2-1 = *Data-logger* Externo nº2, canal 1. Sensor de temperatura do teto do lado externo da carroceria.

E2-2 = *Data-logger* Externo nº2, canal 2. Sensor de temperatura da superfície traseira do lado externo da carroceria.

E2-3 = *Data-logger* Externo nº2, canal 3. Sensor de temperatura da superfície traseira do lado externo da carroceria.

E2-4 = *Data-logger* Externo nº2, canal 4. Sensor de temperatura do teto do lado externo da carroceria.

Ev Ins1 = Sensor de temperatura próximo à saída do ar de insuflamento - nº1

Ev Ins2 = Sensor de temperatura próximo à saída do ar de insuflamento - nº2

Ev Ret1 = Sensor de temperatura próximo ao evaporador (ar de retorno) - nº1

Ev Ret2 = Sensor de temperatura próximo ao evaporador (ar de retorno) - nº2

I1-1 = *Data-logger* Interno nº1, canal 1. Sensor de temperatura do produto resfriado, embalagem primária.

I1-2 = *Data-logger* Interno nº1, canal 2. Sensor de temperatura do produto resfriado, embalagem secundária.

I1-3 = *Data-logger* Interno nº1, canal 3. Sensor de temperatura do produto resfriado, embalagem primária.

I1-4 = *Data-logger* Interno nº1, canal 4. Sensor de temperatura que acusa os momentos de abertura da porta de resfriados.

I2-1 = *Data-logger* Interno nº2, canal 1. Sensor de temperatura do produto congelado, embalagem primária.

I2-2 = *Data-logger* Interno nº2, canal 2. Sensor de temperatura do produto congelado, embalagem primária.

I2-4 = *Data-logger* Interno nº2, canal 4. Sensor de temperatura que acusa os momentos de abertura da porta de congelados.

M = Momento de parada do motor do caminhão.

Rp1 = Sensor de temperatura no compartimento de resfriados, próximo à porta - nº1

Rp2 = Sensor de temperatura no compartimento de resfriados, próximo à porta - nº2

Rp3 = Sensor de temperatura no compartimento de resfriados, próximo à porta - nº3

Rs1 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de resfriados - nº1

Rs2 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de resfriados - nº2

Rs3 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de resfriados - nº3

Rs4 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de resfriados - nº4

Rs5 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de resfriados - nº5

Rs6 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de resfriados - nº6

Rs7 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de resfriados - nº7

Rs8 = Sensor de temperatura na superfície interna do compartimento de resfriados - nº8

S1-1 = *Data-logger* Sistema nº1, canal 1. Sensor de temperatura do ar de resfriamento antes da passagem pelo condensador (ar frio).

S1-2 = *Data-logger* Sistema nº1, canal 2. Sensor de temperatura do ar de resfriamento depois da passagem pelo condensador (ar aquecido).

S1-3 = *Data-logger* Sistema nº1, canal 3. Sensor de temperatura na superfície externa da tubulação de saída de refrigerante do condensador.

S1-4 = *Data-logger* Sistema nº1, canal 4. Sensor de temperatura na superfície externa da tubulação após a válvula de expansão.

S2-1 = *Data-logger* Sistema nº2, canal 1. Sensor de temperatura da superfície frontal externa da carroceria.

S2-2 = *Data-logger* Sistema nº2, canal 2. Sensor de temperatura da superfície lateral direita externa da carroceria.

S2-3 = *Data-logger* Sistema nº2, canal 3. Sensor de temperatura da superfície da linha de sucção do compressor acoplado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Perda de qualidade do produto na distribuição (Fonte: HEAP, KIERSTAN & FORD, 1998. p.56).....	1
Figura 2 Esquematização da circulação do ar no interior da carroceria frigorificada (Fonte: ASHRAE, 2002, p.29.3).....	7
Figura 3 Sistema de refrigeração da carroceria frigorificada (Fonte: ASHRAE, 2002, p.29.5) .	9
Figura 4 Disposição das prateleiras dentro da carroceria.....	13
Figura 5 Sensores internos de temperatura nas superfícies laterais, na frontal e sobre o evaporador.	17
Figura 6 Sensores internos de temperatura nas superfícies onde se encontram as duas portas da carroceria.	17
Figura 7 Sensores internos de temperatura na superfície frontal, no teto e sobre o evaporador.	18
Figura 8 Sensores externos de temperatura na superfície lateral esquerda, no teto e na superfície traseira.....	18
Figura 9 Sensores externos de temperatura na superfície lateral direita, no piso e na superfície frontal.	19
Figura 10 Sistema de refrigeração usado no caminhão com carroceria frigorificada (figura cedida pela empresa Transfrigor)	20
Figura 11 Histórico das temperaturas com a abertura de portas no 1º dia de monitoramento ..	29
Figura 12 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 1º dia de monitoramento.....	32
Figura 13 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 1º dia de monitoramento	32
Figura 14 Histórico das temperaturas internas do compartimento de resfriados no 1º dia de monitoramento.....	33
Figura 15 Histórico das temperaturas internas do compartimento de congelados no 1º dia de monitoramento.....	35
Figura 16 Histórico das temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento no 1º dia de monitoramento.....	37
Figura 17 Histórico das temperaturas externas do teto, da lateral esquerda, do piso e da traseira da carroceria no 1º dia de monitoramento	38
Figura 18 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 1º dia de monitoramento	39
Figura 19 Histórico das temperaturas com a abertura de portas no 2º dia de monitoramento ..	40
Figura 20 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 2º dia de monitoramento.....	43
Figura 21 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 2º dia de monitoramento	44
Figura 22 Histórico das temperaturas internas do compartimento de resfriados no 2º dia de monitoramento.....	44
Figura 23 Histórico das temperaturas internas do compartimento de congelados no 2º dia de monitoramento.....	47
Figura 24 Histórico das temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento no 2º dia de monitoramento.....	49
Figura 25 Histórico das temperaturas externas do teto, da lateral esquerda, do piso e da traseira da carroceria no 2º dia de monitoramento	50
Figura 26 Temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 2º dia de monitoramento	51

Figura 27 Histórico das temperaturas com a abertura de portas no 3º dia de monitoramento ..	52
Figura 28 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 3º dia de monitoramento.....	54
Figura 29 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 3º dia de monitoramento	55
Figura 30 Histórico das temperaturas internas do compartimento de resfriados 3ºdia	55
Figura 31 Histórico das temperaturas internas do compartimento de congelados 3ºdia	57
Figura 32 Histórico das temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento 3ºdia.....	59
Figura 33 Histórico das temperaturas externas do teto, da lateral esquerda, do piso e da traseira da carroceria 3ºdia.	60
Figura 34 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria 3ºdia	61
Figura 35 Histórico das temperaturas com a abertura de portas no 4º dia de monitoramento ..	62
Figura 36 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 4º dia de monitoramento.....	63
Figura 37 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 4º dia de monitoramento.	63
Figura 38 Histórico das temperaturas internas do compartimento de resfriados 4ºdia	64
Figura 39 Histórico das temperaturas internas do compartimento de congelados 4ºdia	65
Figura 40 Histórico das temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento 4ºdia.....	66
Figura 41 Histórico das temperaturas externas do teto, da lateral esquerda, do piso e da traseira da carroceria 4ºdia.	67
Figura 42 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria 4ºdia	67
Figura 43 Histórico das temperaturas com a abertura de portas 5ºdia	68
Figura 44 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 5ºdia.....	69
Figura 45 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 5º dia de monitoramento.	70
Figura 46 Histórico das temperaturas internas do compartimento de resfriados 5ºdia	70
Figura 47 Histórico das temperaturas internas do compartimento de congelados 5ºdia	72
Figura 48 Histórico das temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento 5ºdia.....	73
Figura 49 Histórico das temperaturas externas do teto, da lateral esquerda, do piso e da traseira da carroceria 5ºdia	74
Figura 50 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria 5ºdia	75
Figura 51 Histórico das temperaturas com a abertura de portas 6ºdia	76
Figura 52 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 6ºdia.....	77
Figura 53 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração 6ºdia.....	77
Figura 54 Histórico das temperaturas internas do compartimento de resfriados no 6º dia de monitoramento.....	78
Figura 55 Histórico das temperaturas internas do compartimento de congelados no 6º dia de monitoramento.....	78
Figura 56 Histórico das temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento no 6º dia de monitoramento.....	80
Figura 57 Histórico das temperaturas externas do teto, da lateral esquerda, do piso e da traseira da carroceria 6ºdia.	81
Figura 58 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria 6ºdia	82
Figura 59 Histórico das temperaturas com a abertura de portas no 7º dia de monitoramento ..	83
Figura 60 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 7ºdia.....	83

Figura 61 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração 7º dia.....	84
Figura 62 Histórico das temperaturas internas do compartimento de resfriados 7º dia	84
Figura 63 Histórico das temperaturas internas do compartimento de congelados 7º dia	85
Figura 64 Histórico das temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento no 7º dia de monitoramento.....	86
Figura 65 Histórico das temperaturas externas do teto, da lateral esquerda, do piso e da traseira da carroceria 7º dia	86
Figura 66 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria 7º dia	87
Figura 67 Médias das variações de temperatura entre a chegada ao centro de distribuição e o início do dia, registrada pelos sensores de ambos os compartimentos em todos os dias monitorados.	88
Figura 68 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 1 - Compartimento de resfriados	91
Figura 69 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 1 - Compartimento de congelados	91
Figura 70 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 2 - Compartimento de resfriados	92
Figura 71 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 2 - Compartimento de congelados	92
Figura 72 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 3 - Compartimento de resfriados	93
Figura 73 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 3 - Compartimento de congelados	93
Figura 74 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 4 - Compartimento de resfriados	94
Figura 75 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 4 - Compartimento de congelados	94
Figura 76 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 5 - Compartimento de resfriados	95
Figura 77 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 5 - Compartimento de congelados	95
Figura 78 Histórico das temperaturas dos produtos resfriados no primeiro dia de teste.....	102
Figura 79 Histórico das temperaturas dos produtos congelados no primeiro dia de teste.....	102
Figura 80 Histórico das temperaturas dos produtos resfriados no segundo dia de teste	103
Figura 81 Histórico das temperaturas dos produtos congelados no segundo dia de teste	103
Figura 82 Histórico das temperaturas dos produtos resfriados no terceiro dia de teste	104
Figura 83 Histórico das temperaturas dos produtos congelados no terceiro dia de teste	104
Figura 84 Fixação de sensores no condensador do sistema de refrigeração	117
Figura 85 Vista do compressor elétrico-semi-hermético.....	117
Figura 86 Fixação dos termopares E1-1 e E1-4 na superfície externa da carroceria	118
Figura 87 Fixação dos sensores externos E1-2 e E1-3 no piso da carroceria.....	118
Figura 88 Fixação, na superfície do evaporador, dos sensores EvIns1 e EvIns2 e do sensor EvRet1 na superfície frontal da carroceria.	119
Figura 89 Fixação dos sensores RP1, RS4, RS8 e do data-logger I1, no compartimento de resfriados.	119
Figura 90 Histórico da abertura de portas no 1º dia de monitoramento.	120
Figura 91 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 1º dia de monitoramento.....	120
Figura 92 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 1º dia de monitoramento	120
Figura 93 Histórico da temperatura na linha de sucção do compressor acoplado no 1º dia de monitoramento.....	120

Figura 94 Sensores RS7 e RS8 no 1º dia de monitoramento.....	121
Figura 95 Sensores RS5 e RS6 no 1º dia de monitoramento.....	121
Figura 96 Sensores RS3 e RS4 no 1º dia de monitoramento.....	121
Figura 97 Sensores RS1 e RS2 no 1º dia de monitoramento.....	121
Figura 98 Sensores RP1 a RP3 no 1º dia de monitoramento.....	122
Figura 99 Histórico das temperaturas do ar de retorno no 1º dia de monitoramento.	122
Figura 100 Histórico das temperaturas do ar de insuflamento no 1º dia de monitoramento...	122
Figura 101 Sensores CS7 e CS8 no 1º dia de monitoramento.....	122
Figura 102 Sensores CS5 e CS6 no 1º dia de monitoramento.....	123
Figura 103 Sensores CS3 e CS4 no 1º dia de monitoramento.....	123
Figura 104 Sensores CS1 e CS2 no 1º dia de monitoramento.....	123
Figura 105 Sensores CP1 e CP2 no 1º dia de monitoramento.....	123
Figura 106 Histórico das temperaturas externas da lateral esquerda e do piso da carroceria no 1º dia de monitoramento.....	124
Figura 107 Histórico das temperaturas externas do teto e da traseira da carroceria no 1º dia de monitoramento.....	124
Figura 108 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 1º dia de monitoramento.....	124
Figura 109 Histórico das temperaturas com a abertura de portas no 2º dia de monitoramento	125
Figura 110 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 2º dia de monitoramento. .	125
Figura 111 Temperatura na linha de sucção do compressor acoplado no 2º dia de monitoramento.....	125
Figura 112 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 2º dia de monitoramento.	125
Figura 113 Sensores RS7 e RS8 no 2º dia de monitoramento.....	126
Figura 114 Sensores RS5 e RS6 no 2º dia de monitoramento.....	126
Figura 115 Sensores RS3 e RS4 no 2º dia de monitoramento.....	126
Figura 116 Sensores RS1 e RS2 no 2º dia de monitoramento.....	126
Figura 117 Sensores RP1 a RP3 no 2º dia de monitoramento.....	127
Figura 118 Histórico das temperaturas do ar de retorno no 2º dia de monitoramento.	127
Figura 119 Histórico das temperaturas do ar de insuflamento no 2º dia de monitoramento...	127
Figura 120 Sensores CS7 e CS8 no 2º dia de monitoramento.....	127
Figura 121 Sensores CS5 e CS6 no 2º dia de monitoramento.....	128
Figura 122 Sensores CS3 e CS4 no 2º dia de monitoramento.....	128
Figura 123 Sensores CS1 e CS2 no 2º dia de monitoramento.....	128
Figura 124 Sensores CP1 e CP2 no 2º dia de monitoramento.....	128
Figura 125 Histórico das temperaturas externas da lateral esquerda e do piso da carroceria no 2º dia de monitoramento.	129
Figura 126 Histórico das temperaturas externas do teto e da traseira da carroceria no 2º dia de monitoramento.....	129
Figura 127 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 2º dia de monitoramento.....	129
Figura 128 Histórico das temperaturas com a aberturas de portas no 3º dia de monitoramento	130
Figura 129 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 3º dia de monitoramento. .	130

Figura 130 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 3º dia de monitoramento	130
Figura 131 Temperatura na linha de sucção do compressor acoplado no 3º dia de monitoramento.....	130
Figura 132 Sensores RS7 e RS8 no 3º dia de monitoramento.....	131
Figura 133 Sensores RS5 e RS6 no 3º dia de monitoramento.....	131
Figura 134 Sensores RS1 e RS4 no 3º dia de monitoramento.....	131
Figura 135 Sensores RP1 a RP3 no 3º dia de monitoramento.....	131
Figura 136 Histórico das temperaturas do ar de retorno no 3º dia de monitoramento.	132
Figura 137 Histórico das temperaturas do ar de insuflamento no 3º dia de monitoramento...	132
Figura 138 Sensores CS5 e CS7 no 3º dia de monitoramento.....	132
Figura 139 Sensores CS3 e CS4 no 3º dia de monitoramento.....	132
Figura 140 Sensores CS1 e CS2 no 3º dia de monitoramento.....	133
Figura 141 Sensores CP1 e CP2 no 3º dia de monitoramento.....	133
Figura 142 Histórico das temperaturas externas da lateral esquerda e do piso da carroceria no 3º dia de monitoramento.	133
Figura 143 Histórico das temperaturas externas do teto e da traseira da carroceria no 3º dia de monitoramento.....	133
Figura 144 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 3º dia de monitoramento.	134
Figura 145 Histórico das temperaturas com a aberturas de portas no 4º dia de monitoramento	135
Figura 146 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 4º dia de monitoramento. .	135
Figura 147 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 4º dia de monitoramento.	135
Figura 148 Temperatura na linha de sucção do compressor acoplado no 4º dia de monitoramento.....	135
Figura 149 Sensores RS7 e RS8 no 4º dia de monitoramento.....	136
Figura 150 Sensores RS3 e RS4 no 4º dia de monitoramento.....	136
Figura 151 Sensores RS1 e RS2 no 4º dia de monitoramento.....	136
Figura 152 Sensores RP1 a RP3 no 4º dia de monitoramento.....	136
Figura 153 Histórico das temperaturas do ar de retorno no 4º dia de monitoramento.	137
Figura 154 Histórico das temperaturas do ar de insuflamento no 4º dia de monitoramento...	137
Figura 155 Sensores CS7 e CS8 no 4º dia de monitoramento.....	137
Figura 156 Sensores CS5 e CS6 no 4º dia de monitoramento.....	137
Figura 157 Sensores CS3 e CS4 no 4º dia de monitoramento.....	138
Figura 158 Sensores CS1 e CS2 no 4º dia de monitoramento.....	138
Figura 159 Sensores CP1 e CP2 no 4º dia de monitoramento.....	138
Figura 160 Histórico das temperaturas externas da lateral esquerda e do piso da carroceria no 4º dia de monitoramento.	138
Figura 161 Histórico das temperaturas externas do teto e da traseira da carroceria no 4º dia de monitoramento.....	139
Figura 162 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 4º dia de monitoramento.....	139
Figura 163 Histórico das temperaturas com a aberturas de portas no 5º dia de monitoramento	140
Figura 164 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 5º dia de monitoramento. .	140

Figura 165 Temperatura na linha de sucção do compressor acoplado no 5° dia de monitoramento.....	140
Figura 166 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 5° dia de monitoramento.	140
Figura 167 Sensores RS7 e RS8 no 5° dia de monitoramento.....	141
Figura 168 Sensores RS3 a RS5 no 5° dia de monitoramento.....	141
Figura 169 Sensores RS1 e RS2 no 5° dia de monitoramento.....	141
Figura 170 Sensores RP1 a RP3 no 5° dia de monitoramento.....	141
Figura 171 Histórico das temperaturas do ar de retorno no 5° dia de monitoramento.	142
Figura 172 Histórico das temperaturas do ar de insuflamento no 5° dia de monitoramento...	142
Figura 173 Sensores CS7 e CS8 no 5° dia de monitoramento.....	142
Figura 174 Sensores CS3 a CS5 no 5° dia de monitoramento.....	142
Figura 175 Sensores CS1 e CS2 no 5° dia de monitoramento.....	143
Figura 176 Sensores CP1 e CP2 no 5° dia de monitoramento.....	143
Figura 177 Histórico das temperaturas externas da lateral esquerda e do piso da carroceria no 5° dia de monitoramento.	143
Figura 178 Histórico das temperaturas externas do teto e da traseira da carroceria no 5° dia de monitoramento.....	143
Figura 179 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 5° dia de monitoramento.	144
Figura 180 Histórico das temperaturas com a aberturas de portas no 6° dia de monitoramento	145
Figura 181 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 6° dia de monitoramento. .	145
Figura 182 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 6° dia de monitoramento	145
Figura 183 Temperatura na linha de sucção do compressor acoplado no 6° dia de monitoramento.....	145
Figura 184 Sensores RS5, RS7 e RS8 no 6° dia de monitoramento.....	146
Figura 185 Sensores RS1 a RS4 no 6° dia de monitoramento.....	146
Figura 186 Sensores RP1 a RP3 no 6° dia de monitoramento.....	146
Figura 187 Histórico das temperaturas do ar de retorno no 6° dia de monitoramento.	146
Figura 188 Histórico das temperaturas do ar de insuflamento no 6° dia de monitoramento...	147
Figura 189 Sensores CS5 a CS8 no 6° dia de monitoramento.....	147
Figura 190 Sensores CS1 a CS4 no 6° dia de monitoramento.....	147
Figura 191 Sensores CP1 e CP2 no 6° dia de monitoramento.....	147
Figura 192 Histórico das temperaturas externas da lateral esquerda e do piso da carroceria no 6° dia de monitoramento.....	148
Figura 193 Histórico das temperaturas externas do teto e da traseira da carroceria no 6° dia de monitoramento.....	148
Figura 194 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 6° dia de monitoramento.....	148
Figura 195 Histórico das temperaturas com a aberturas de portas no 7° dia de monitoramento	149
Figura 196 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 7° dia de monitoramento..	149
Figura 197 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 7° dia de monitoramento	149

Figura 198 Temperatura na linha de sucção do compressor acoplado no 7º dia de monitoramento.....	149
Figura 199 Sensores RS5, RS7 e RS8 no 7º dia de monitoramento.....	150
Figura 200 Sensores RS1, RS2 e RS4 no 7º dia de monitoramento.....	150
Figura 201 Sensores RP1 a RP3 no 7º dia de monitoramento.....	150
Figura 202 Histórico das temperaturas do ar de retorno no 7º dia de monitoramento.	150
Figura 203 Histórico das temperaturas do ar de insuflamento no 7º dia de monitoramento...	151
Figura 204 Sensores CS7 e CS8 no 7º dia de monitoramento.....	151
Figura 205 Sensores CS5 e CS6 no 7º dia de monitoramento.....	151
Figura 206 Sensores CS3 e CS4 no 7º dia de monitoramento.....	151
Figura 207 Sensores CS1 e CS2 no 7º dia de monitoramento.....	152
Figura 208 Sensores CP1 e CP2 no 7º dia de monitoramento.....	152
Figura 209 Histórico das temperaturas externas da lateral esquerda e do piso da carroceria no 7º dia de monitoramento.....	152
Figura 210 Histórico das temperaturas externas do teto e da traseira da carroceria no 7º dia de monitoramento.....	152
Figura 211 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 7º dia de monitoramento.....	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Retomada de temperatura pelo sistema de refrigeração nos 3 primeiros eventos.	96
Tabela 2 Retomada de temperatura pelo sistema de refrigeração nos 2 últimos eventos.	97
Tabela 3 Valores de $\Delta T/\Delta t$ para cada sensor interno.....	99
Tabela 4 Máximas temperaturas verificadas e temperaturas finais nos produtos nos 3 dias de teste.....	105

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi monitorar as condições operacionais de temperaturas e pressões do sistema de refrigeração e do transporte frigorificado urbano de alimentos resfriados e congelados durante as entregas dos produtos e avaliar a influência das aberturas das portas da carroceria nas alterações das temperaturas internas dos ambientes frigorificados, bem como das temperaturas de produtos-teste. Para isso, instrumentou-se uma carroceria frigorificada de caminhão com diversos sensores de temperatura e de pressão, os quais foram instalados em pontos específicos no sistema de refrigeração e nas superfícies internas e externas da carroceria.

Após a realização das monitorações, foi verificado que as práticas adotadas pelos operadores de transporte juntamente com as aberturas de portas durante as entregas resultaram na elevação da temperatura interna da carroceria acima dos valores recomendados para a conservação adequada dos produtos transportados, sendo observado o caso em que a temperatura do ar de retorno permaneceu 48 minutos acima de 0 °C, quando registrou-se um máximo de 6,1 °C. Constatou-se também que o aumento do número de entregas no dia e, conseqüentemente, o aumento de abertura de portas, provoca um efeito acumulativo de aumento da temperatura interna, principalmente no compartimento de resfriados, uma vez que a capacidade do sistema de refrigeração não foi suficiente para suprir esta demanda térmica.

Foram registrados também aumentos nas temperaturas superficiais dos produtos refrigerados que podem ter contribuído para a perda da qualidade sensorial e nutricional dos alimentos.

Concluiu-se que o sistema de refrigeração atualmente utilizado na distribuição de alimentos refrigerados e congelados sob condições tropicais apresenta limitações quanto à manutenção da temperatura interna da carroceria durante a rotina real de distribuição, já que não possui capacidade instantânea suficiente para retomar a temperatura adequada entre as entregas.

Palavras-chave: Carroceria frigorificada; Transporte de alimentos; Cadeia do frio; Instrumentação, Alimentos resfriados e congelados.

ABSTRACT

The objective of this work was to monitor the transport of chilled and frozen foods during their deliveries and to evaluate the influence of the door openings in the alteration of the internal temperature of the refrigerated environment, as well as the temperature of products.

To do that, many temperature and pressure sensors were used in a refrigerated container and they were installed in specific points of the refrigeration system unit and in the internal and external surfaces of the truck container.

After the accomplishment of the monitoring tests, it was verified that the door openings during the deliveries resulted in a disturbance that raised the internal temperature of the refrigerated container above of the values recommended for adequate conservation and health of the carried products.

Moreover, increasing the number of deliveries in the day promoted an accumulating increase effect in the internal temperature, mainly in the chilled food compartment of the container.

Increases in the superficial temperatures of the cooled products were also registered. These increases might have contributed for the sensorial and nutritional loss in the quality of the products.

The refrigeration system unit currently used in the chilled and frozen food distribution under tropical conditions presented serious limitations on the maintenance of the container internal temperature during the real routine of distribution, since it does not possess enough instantaneous capacity to retake the set-point temperature between the deliveries.

Key words: Refrigerated container; Food transport; Cold chain; Instrumentation; Chilled and frozen foods.

1. INTRODUÇÃO

A cadeia do frio engloba os procedimentos de conservação realizados desde o resfriamento/congelamento do produto na indústria até seu armazenamento pelos consumidores finais em seus domicílios, envolvendo inclusive os transportes refrigerados entre os estabelecimentos.

Para a manutenção da qualidade do produto comercializado, esta cadeia não pode ser rompida, pois as velocidades das reações químicas, bioquímicas e microbiológicas são relacionadas diretamente com a temperatura e influenciam a sanidade e a qualidade nutricional e sensorial dos produtos refrigerados. Portanto, manter uma cadeia do frio operando com temperaturas corretas desde o produtor até o consumidor final é essencial (IIR, 2004).

O uso de temperaturas extremamente baixas em somente alguns momentos da distribuição não resolve o problema da exposição anterior do produto a altas temperaturas. A perda de qualidade do produto é cumulativa e irreversível, ilustrada na Figura 1, o que ressalta a necessidade de se manter a temperatura adequada do produto transportado ao longo de toda a cadeia do frio (HEAP, KIERSTAN & FORD, 1998).

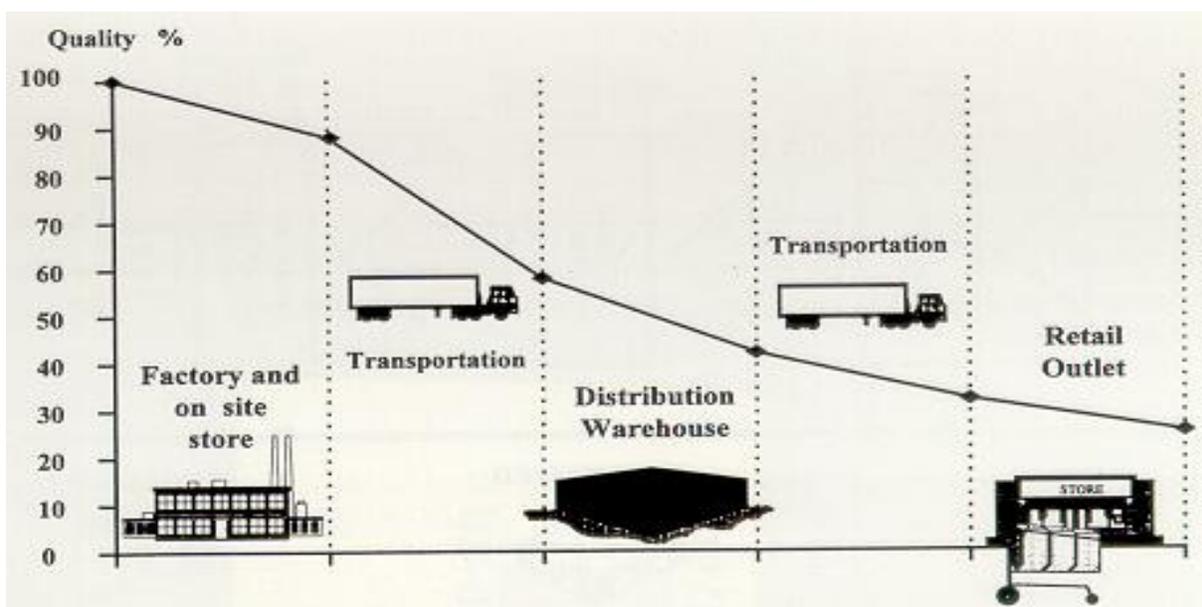


Figura 1 Perda de qualidade do produto na distribuição (Fonte: HEAP, KIERSTAN & FORD, 1998. p.56)

Analisando-se a Figura 1, referente à perda de qualidade que o produto refrigerado está sujeito ao longo de sua distribuição, desde o produtor até o varejista, percebe-se que as etapas de transporte são responsáveis por considerável perda da qualidade total do produto. O transporte desde o produtor até o centro de distribuição provoca uma perda de aproximadamente 30 % da qualidade total do produto e o transporte desde o centro de distribuição até o varejista provoca a perda de outros 10 %.

O pré-resfriamento dos produtos alimentícios antes de transportá-los é prática fundamental e deve ser feita logo após a colheita/abate para se assegurar uma maior vida de prateleira dos produtos (ASHBY et al., 1987). Produtos resfriados são particularmente sensíveis às variações de temperatura, as quais podem permitir o crescimento microbiano se a temperatura de estocagem atingir apenas alguns graus acima de 0 °C (COMMERE, 2003). A redução da temperatura para congelar o produto a ser transportado promove uma maior estabilidade microbiológica do mesmo, uma vez que a água que estava na forma líquida disponível ao crescimento microbiano passa ao estado sólido (SPIESS, 1974) reduzindo a atividade de água do produto.

É senso comum que durante o transporte de alimentos resfriados e congelados, quanto mais longo for o deslocamento, maior deverá ser o cuidado para evitar o rompimento da cadeia do frio. Infelizmente, tem-se a idéia de que o inverso é verdadeiro, ou seja, se os deslocamentos são curtos durante as entregas destes produtos não existe a necessidade de se preocupar tanto com o rompimento da cadeia do frio. Este raciocínio faz com que os deslocamentos curtos sejam os mais críticos para a manutenção da cadeia do frio (HEAP, 2006).

Vários problemas encontrados hoje para a manutenção da cadeia do frio poderiam ser resolvidos se as pessoas envolvidas nesta cadeia entendessem a importância de cada um deles para a preservação da qualidade dos produtos resfriados e congelados. Para isto, devem ser ministrados cursos de treinamento com o intuito de aperfeiçoar estas pessoas para que elas possam trabalhar melhor com a cadeia do frio (HEAP, 2006). O transporte realizado por caminhões com carrocerias frigorificadas para distribuição dos produtos resfriados e congelados, da forma como é feito atualmente, promove um rompimento da cadeia do frio. Isto ocorre devido à falta de padronização dos procedimentos de transporte e à falta de conscientização dos funcionários, que descarregam os produtos de forma incorreta.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliação da influência das aberturas das portas da carroceria na alteração da temperatura interna do ambiente frigorificado, bem como da temperatura de produtos-teste no transporte urbano de alimentos resfriados e congelados, durante as entregas dos produtos.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Monitoração da alteração da temperatura interna do ambiente frigorificado nas condições operacionais de transporte de produtos congelados e resfriados, com o veículo comercial em trânsito e durante as entregas urbanas.
- Monitoração das alterações de temperatura de produtos-teste (resfriados e congelados) durante o transporte.
- Avaliação das condições operacionais do ambiente frigorificado e do sistema de refrigeração, sob aberturas de portas nas entregas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os produtos a serem transportados devem ter suas temperaturas reduzidas antes de entrarem na carroceria (HEAP, 2006), pois o sistema de refrigeração da carroceria utilizada para o transporte de alimentos resfriados e congelados não é dimensionado para reduzir a temperatura destes produtos (IIR, 2006).

O sistema de refrigeração de carrocerias é dimensionado para somente manter a temperatura baixa dos produtos transportados, de modo que, para ser utilizado com o intuito de reduzir a temperatura do produto durante o transporte, o sistema de refrigeração precisaria ter uma capacidade muito maior do que a normalmente empregada (MERCANTILA, 1989).

Antes de iniciar o carregamento dos produtos, deve-se verificar se o sistema de refrigeração da carroceria está funcionando adequadamente e se não há a necessidade de se realizar um degelo da serpentina. A carroceria deverá ser pré-resfriada antes do início do carregamento por um período suficiente para que a temperatura interna esteja uniforme à temperatura de transporte (IIR, 1976)

Segundo a NBR 14701 (ABNT, 2001), o transporte de produtos alimentícios entre diferentes câmaras frigoríficas deve ser feito por equipamento capaz de manter a temperatura do produto no valor desejado. Obrigatoriamente, deve-se reduzir e estabilizar a temperatura interna da carroceria por pelo menos 15 minutos antes da entrada do produto alimentício, além de se utilizar instrumentos para registro contínuo da temperatura do ar interno e indicação desta temperatura durante o transporte. O aumento da temperatura da superfície do produto alimentício congelado até $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ pode ser tolerado, desde que a temperatura do centro térmico continue a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, de modo que a redução da temperatura superficial deve ser feita rapidamente. Segundo BAPTISTA (2005), a norma NBR 14701 regula, mas não resolve todos os problemas encontrados no transporte frigorificado de alimentos.

Os momentos de carregamento e descarregamento dos produtos resfriados e congelados podem ser os mais críticos para o rompimento da cadeia do frio se estas etapas não forem realizadas rapidamente (IIR, 2006).

Cada abertura de porta da carroceria durante as entregas provoca a troca de ar refrigerado por ar quente e úmido do ambiente externo (IIR, 1986). As portas da carroceria devem ficar abertas somente o necessário, sendo fechadas o mais rápido possível. Isso evita a

entrada excessiva de umidade, diminuindo a sobrecarga do equipamento de refrigeração (HIRA, 2001).

A abertura de portas durante os descarregamentos é uma etapa importante do transporte, pois a carga térmica proveniente da entrada de ar quente do ambiente externo provoca a elevação da temperatura do ar do interior da carroceria e dos produtos transportados. O equipamento de refrigeração não possui capacidade instantânea suficiente para retirar esta carga térmica entre uma abertura e outra, durante as entregas. É essencial, assim, que a entrada de ar do ambiente externo seja evitada ao máximo, reduzindo-se o tempo e o número de abertura das portas e utilizando-se cortinas plásticas que dificultem a entrada de ar quente e úmido proveniente do ambiente externo, mas, ao mesmo tempo, facilitem a entrada de luz para o ambiente interno durante o descarregamento (TRESSLER, 1968).

Quando aberturas de porta são freqüentes, há formação de gelo no evaporador, reduzindo o desempenho do sistema de refrigeração, aumentando a necessidade de degelos, especialmente em ambientes com umidade relativa alta (ESTRADA-FLORES & EDDY, 2006).

O controle da umidade do ar no espaço refrigerado deve ser feito de acordo com o produto transportado. No caso de verduras frescas, a umidade deve ser mantida alta para evitar a perda de peso do produto e preservar a sua qualidade, usando-se, para isso, serpentinas com elevadas áreas de troca de calor e reduzida diferença de temperatura entre o ar e o refrigerante. Já no caso de carnes, a umidade deve ser mantida baixa para evitar a formação de névoa e gotejamento de água sobre o produto, através do uso de serpentinas com pequena área de troca de calor e elevada diferença de temperatura entre o ar e o refrigerante (STOECKER & JABARDO, 2002).

A formação de gelo no evaporador dificulta a troca de calor entre a superfície da serpentina e o ar a ser circulado, não permitindo o seu resfriamento até o nível desejado de temperatura, podendo inclusive bloquear totalmente a sua passagem pela serpentina. Desta forma os degelos são mais freqüentes, provocando oscilações na temperatura interna da câmara (NEVES, 2004).

Segundo ASHRAE (2002), uma circulação inadequada do ar de resfriamento é um dos fatores que contribuem para um funcionamento ineficiente do sistema de refrigeração, pois a

manutenção da temperatura do produto no valor desejado não é realizada adequadamente, devido à troca de calor deficiente entre o produto e o ar refrigerado.

A circulação de ar deve promover temperaturas uniformes no interior da carroceria durante o transporte, de modo que a diferença máxima de temperatura entre quaisquer pontos na corrente de ar seja de 3 °C (IIR, 1986).

Para a circulação correta do ar no interior da carroceria, utilizam-se canaletas no piso para favorecer a passagem de ar sob os produtos durante o seu retorno ao evaporador (GODDARD, 1974).

A Figura 2 ilustra a circulação correta do ar no interior da carroceria, o qual atravessa todo o comprimento da carroceria, retornando ao evaporador pelas canaletas do piso passando sob os produtos, além de passar entre as mercadorias transportadas e pelas laterais.

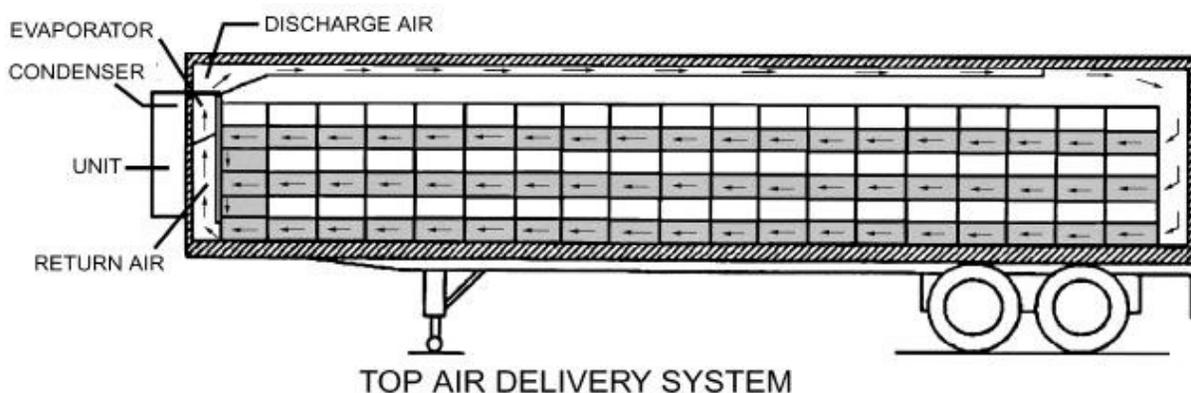


Figura 2 Esquematização da circulação do ar no interior da carroceria refrigerada (Fonte: ASHRAE, 2002, p.29.3)

Devido à passagem de tubos pela parede frontal da carroceria, existe uma entrada de carga térmica proveniente do ambiente externo pelos acessos disponíveis nesta região, sendo necessário o uso de isolantes nestes pontos, como a espuma de poliuretano (SCRINE, 1982).

Durante o carregamento/descarregamento dos produtos na carroceria, o sistema de refrigeração deve estar desligado, pois isto diminui o gasto de combustível, a troca de ar e evita uma maior necessidade de degelos (HIRA, 2001).

Produtos que precisam permanecer a temperaturas inferiores a 2 °C devem ser transportados por caminhões refrigerados que possuam sistema de refrigeração, operando

continuamente. Porém, durante as viagens, costuma-se reduzir o custo do transporte através da parada do sistema de refrigeração, prática que pode ser crítica para a manutenção da cadeia do frio (HEAP, 2006).

No sistema convencional de refrigeração, o compressor possui a função de elevar a temperatura e a pressão do vapor de refrigerante proveniente do evaporador para que ele possa trocar calor ao passar pelo condensador (DOSSAT, 1980). Para uso em carrocerias frigorificadas, o compressor é acionado pela rotação do eixo do motor do caminhão. Como a capacidade de refrigeração varia de acordo com o funcionamento deste compressor, uma variação na rotação do motor influenciará na capacidade de refrigeração. Assim, quanto maior for a aceleração do veículo, maior será a capacidade do compressor e, conseqüentemente, maior será a capacidade do sistema de refrigeração. Porém, durante os congestionamentos corriqueiros do trânsito de veículos nas grandes cidades, o compressor não funciona na sua máxima capacidade de modo que o sistema de refrigeração opera com sua capacidade reduzida.

A Figura 3 ilustra a disposição dos equipamentos que compõem o sistema de refrigeração de carrocerias frigorificadas. Nela é possível visualizar o local onde se encontra o compressor acoplado ao motor do caminhão.

Por deficiências no dimensionamento da carroceria e do sistema de refrigeração, já que possui dependência da rotação do motor do caminhão para a manutenção da temperatura interna, o equipamento de refrigeração convencional dimensionado para retirar uma determinada carga térmica não é suficiente para suprir a necessidade de refrigeração instantaneamente, ou seja, o processo dinâmico não é eficiente. Assim, durante momentos de elevada demanda térmica, como ocorre durante a abertura das portas da carroceria, o sistema é insuficiente para a recuperação rápida da condição ideal de transporte.

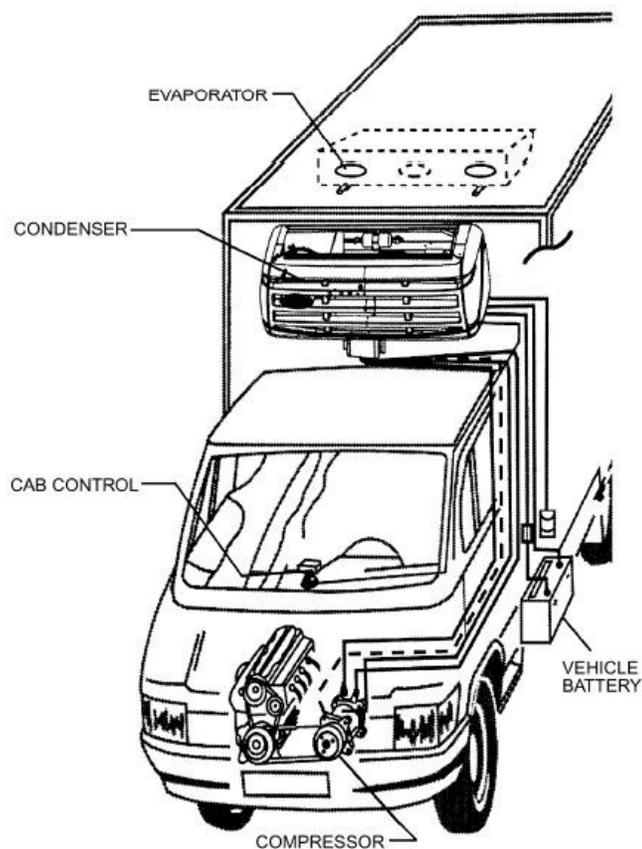


Figura 3 Sistema de refrigeração da carroceria frigorificada (Fonte: ASHRAE, 2002, p.29.5)

O equipamento de refrigeração exige um tempo para restabelecer as condições normais de conservação após sofrer uma perturbação. Entretanto, este tempo nem sempre é curto, de modo que, após o descarregamento de parte dos produtos, devido à troca de calor com o ar externo, os demais produtos permanecem no interior da carroceria por períodos longos a uma temperatura muito acima daquela necessária para uma conservação adequada.

MEDEROS (1996) realizou a instrumentação de uma carroceria frigorificada estática para avaliar a utilização deste equipamento no armazenamento de produtos agrícolas. Verificou-se em uma das etapas de seu trabalho experimental que, internamente, as paredes, o teto e o piso da carroceria não apresentaram variações de temperatura maiores que 2 °C durante os momentos de maior incidência solar. A autora concluiu que a carroceria pode ser exposta a radiações solares durante o seu uso, devido ao fato de o aumento da temperatura das superfícies internas da carroceria não ser significativo.

BOGH-SORENSEN (2002) detectou alterações na qualidade e na vida de prateleira de produtos congelados submetidos a ambientes onde havia oscilação de temperatura, indicando que, para uma melhor conservação dos produtos, a temperatura deve permanecer sempre baixa, sem grandes variações.

PEAO (1998) estudou as inércias térmicas das temperaturas internas de uma carroceria frigorificada estática dotada de um sistema de refrigeração com acionamento elétrico, quando simulada a abertura das portas da carroceria. Em um dos experimentos, no qual se realizou a abertura da porta traseira da carroceria por 10 minutos durante o dia, ele verificou que o sistema de refrigeração não foi suficiente para retomar rapidamente as condições iniciais de conservação. Os resultados mostraram que a temperatura do ar de retorno atingiu valores de até 10 °C, ou seja, a diferença entre a temperatura máxima atingida e o valor desejado (-18 °C) chegou a valores próximos a 30 °C, o que fez com que o sistema necessitasse de quase 32 minutos para reduzir a temperatura interna até o valor padrão (-18 °C) após o fechamento da porta. O autor não chegou a estudar o efeito da movimentação da carroceria sobre a temperatura interna, o que simularia o transporte propriamente dito.

A literatura consultada confirma a necessidade de se verificar o grau de perturbação no ambiente refrigerado de carrocerias frigorificadas durante o transporte de produtos resfriados/congelados, analisando-se a carroceria em movimento e as práticas operacionais adotadas ao longo do processo de distribuição. Sendo assim, este trabalho visou compreender o transporte destes produtos durante o processo de distribuição nos centros urbanos, avaliando a influência das aberturas das portas da carroceria na alteração da temperatura interna do ambiente frigorificado. A seguir serão descritos os métodos utilizados e os resultados obtidos após as monitorações das entregas dos produtos nos estabelecimentos comerciais.

4. MATERIAL E METODOLOGIA

As etapas realizadas, acompanhadas dos materiais utilizados, são discriminadas a seguir:

1) *Instrumentação do sistema de refrigeração e dos ambientes interno e externo da carroceria frigorificada*

Para o levantamento, em campo, das condições operacionais reais do transporte frigorificado de produtos resfriados e congelados, contou-se com a colaboração de uma empresa de grande porte fabricante de alimentos que possui fábricas em várias regiões do país, além de um centro de distribuição no estado de São Paulo.

O caminhão utilizado na monitoração pertence à frota de transporte da empresa produtora dos alimentos e a carroceria frigorificada, que já estava instalada no caminhão, foi especialmente preparada utilizando-se os seguintes equipamentos e materiais adquiridos:

- 25 sensores de temperatura instalados nas superfícies internas da carroceria, sendo 11 destinados para o compartimento de resfriados e 14 para o de congelados;
- 10 sensores de temperatura para instalação nas superfícies externas da carroceria;
- 2 sensores de temperatura para acusar o momento de abertura das portas dos compartimentos, sendo 1 instalado no compartimento de resfriados e 1 no de congelados, próximos às portas dos respectivos ambientes;
- 5 sensores de temperatura e 3 de pressão para a monitoração do sistema de refrigeração;
- 5 sensores de temperatura para monitoração da temperatura superficial dos produtos, sendo 3 para resfriados e 2 para congelados;
- 7 sistemas de aquisição e armazenamento de dados (*data-logger*).

O caminhão utilizado durante a monitoração foi da marca Volkswagen, modelo 8150 movido a diesel (143 cv), dotado de uma carroceria da Litocargo tipo “3/4” com dois compartimentos e uma divisória fixa, pintada externamente na cor branca. Um compartimento era destinado para os produtos resfriados e outro para os congelados. As dimensões da carroceria foram as seguintes:

- Lado externo:
 - Comprimento: 5,00 m;
 - Altura: 2,21 m;
 - Largura: 2,26 m.

- Lado interno:
 - Compartimento de produtos resfriados:
 - Comprimento: 2,40 m;
 - Altura: 2,01 m;
 - Largura: 2,10 m.
 - Compartimento de produtos congelados:
 - Comprimento: 2,37 m;
 - Altura: 2,01 m;
 - Largura: 2,10 m.

- Dimensões das portas da carroceria:
 - Porta entre o ambiente externo e o compartimento de produtos resfriados:
 - Altura: 1,90 m;
 - Largura: 0,90 m.
 - Porta entre o compartimento de produtos resfriados e o de congelados:
 - Altura: 1,80 m;
 - Largura: 0,80 m.

A carroceria possuía prateleiras internas fixadas nas duas superfícies laterais de ambos os compartimentos para a acomodação dos produtos transportados, as quais promoviam a separação dos produtos em três níveis, sendo o primeiro sobre o próprio piso da carroceria e os demais sobre prateleiras fixadas a alturas distintas. A Figura 4 ilustra a disposição das prateleiras dentro da carroceria.

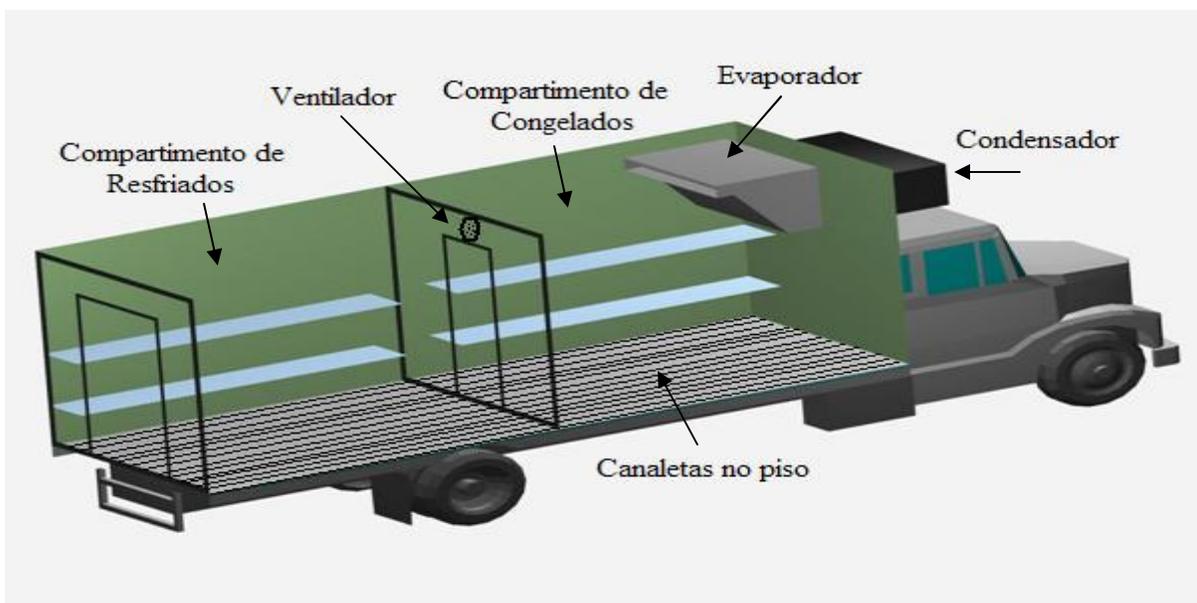


Figura 4 Disposição das prateleiras dentro da carroceria

A carroceria possuía piso com canaletas para facilitar o retorno do ar ao evaporador e um ventilador disposto sobre a porta interna da carroceria, na divisão entre os dois compartimentos. O ventilador possuía um raio interno de 4,5 cm e tinha a função de promover a circulação de ar do ambiente de produtos congelados para o de produtos resfriados.

O equipamento de refrigeração instalado na carroceria foi da marca Transfrigor, modelo TF6.4-RB MAXi (3,3 kW) e utilizava o refrigerante R404A (2,8 kg). O funcionamento deste sistema de refrigeração foi possível através do uso de um compressor acoplado ao motor do caminhão, de modo que a capacidade frigorífica da unidade variou de acordo com a variação da rotação do motor do caminhão. Maiores rotações implicaram maiores capacidades frigoríficas. Um sensor para medir a variação da rotação deste compressor foi instalado na carroceria, porém devido às constantes falhas mecânicas desse instrumento, o mesmo teve que ser retirado, inviabilizando a obtenção dessas medidas.

A ISO 1496-2 (1996) apresenta especificações e testes com carrocerias frigorificadas e foi utilizada como subsídio para a instrumentação da carroceria usada nas monitorações, auxiliando na disposição dos sensores de temperatura nas superfícies da carroceria. Ela define a disposição dos sensores de temperatura no ambiente interno da carroceria da seguinte forma:

- Na parte traseira da carroceria, deve ser instalado um sensor em cada um dos quatro cantos (quatro sensores);
- Na parte dianteira da carroceria, deve ser instalado um sensor em cada um dos quatro cantos (quatro sensores);
- Na região central da carroceria, devem ser instalados:
 - Um sensor na parede lateral esquerda;
 - Um sensor na parede lateral direita;
 - Um sensor no teto;
 - Um sensor no piso.
- No evaporador, devem ser instalados:
 - Dois sensores para medida do ar de insuflamento;
 - Dois sensores para medida do ar de retorno.

Porém estas informações são para carrocerias com apenas um compartimento. No caso deste trabalho de monitoração, foi utilizada uma carroceria com dois compartimentos e foi necessário adaptar a disposição dos sensores definida pela ISO 1496-2 (1996) para esta carroceria. A instalação utilizada foi a seguinte:

- Na parte traseira da carroceria, foi instalado um sensor em cada um dos quatro cantos (quatro sensores);
- Na parte dianteira da carroceria, foi instalado um sensor em cada um dos quatro cantos (quatro sensores);
- Na região central de cada um dos dois compartimentos da carroceria, foram instalados:
 - Um sensor na parede lateral esquerda;
 - Um sensor na parede lateral direita;
 - Um sensor no teto;
 - Um sensor próximo ao piso.
- No evaporador, foram instalados:
 - Dois sensores para medida do ar de insuflamento;
 - Dois sensores para medida do ar de retorno.

No ambiente interno da carroceria foram instalados 25 sensores de temperatura sem fio com capacidade para armazenar os dados de temperaturas, dispostos nas superfícies da carroceria e na entrada e saída de ar do evaporador. Da Figura 5 a Figura 7 verificam-se os pontos de instalação destes sensores em ambos os compartimentos da carroceria com os seus respectivos códigos de identificação, os quais facilitarão posteriormente a análise das figuras com os resultados das monitorações. O significado de cada código está identificado na lista de abreviaturas.

No compartimento de produtos resfriados foram utilizados 11 sensores de temperatura da marca Testo, modelo T-175-H1, os quais foram sensores do tipo NTC e possuíam capacidade de armazenamento de até 3700 dados, podendo operar dentro da faixa de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Os sensores foram distribuídos da seguinte maneira:

- Seis foram instalados sobre as paredes laterais (RS1 a RS5 e RS7);
- Um foi colocado na divisória da carroceria, próximo ao piso (RS6);
- Um foi colocado no teto (RS8);
- Três foram posicionados próximos à porta de acesso ao ambiente externo (RP1 a RP3).

O NTC (negative temperature coefficient) é um termistor, material semiconductor de eletricidade, cuja resistência diminui com o aumento da temperatura. Ele é adequado para a utilização em situações onde se deseja detectar pequenas oscilações de temperatura, uma vez que a razão entre sua variação de resistência em relação a sua variação de temperatura é grande (SIGHIERI & NISHINARI, 1998). A composição química do termistor inclui óxidos de cobre, cobalto, manganês, níquel e titânio (ISMAIL, 2003).

Um termopar do tipo K foi instalado próximo à porta de acesso ao ambiente externo (I1-4) com o intuito de acusar os momentos de abertura da porta durante as entregas dos produtos nos estabelecimentos comerciais. Quando a porta era aberta, a massa de ar quente proveniente do ambiente externo, ao entrar em contato com o elemento sensor do termopar, provocava um aumento brusco de temperatura no mesmo. Neste momento, o termopar enviava um sinal para um *data-logger* (I1) instalado na superfície interna do compartimento, ao qual estava conectado. O *data-logger* associava o momento da aquisição do sinal com o horário, proporcionando, desta forma, a análise gráfica posterior dos momentos das aberturas. O *data-*

logger utilizado era da marca Testo, modelo T-177-T4, com 4 canais e capacidade para armazenar 48000 valores.

O termopar tipo K é de uso genérico e possui baixo custo. A faixa de utilização deste sensor vai de -250 °C a 1260 °C, apresentando uma sensibilidade de aproximadamente 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, sendo composto pelas ligas (+)Cromel (90 %Ni e 10 %Cr) e (-)Alumel (95 %Ni, 2 %Mn, 1 %Si e 2 %Al) (ASTM, 1974). Os termopares tipo K da Testo empregados neste trabalho possuíam faixa de utilização de -50 °C a 250 °C.

No compartimento de congelados foram instalados 14 sensores de temperatura da marca Testo, sendo 11 do modelo T-175-H2, os quais foram sensores do tipo NTC e possuíam capacidade de armazenamento de até 16000 dados, podendo operar dentro da faixa de -20 °C a +70 °C, e 3 do modelo T-175-H1 (CP1, CS6 e EvRet2). Os sensores foram instalados da seguinte maneira:

- Seis foram instalados sobre as paredes laterais (CS1 a CS5 e CS7);
- Um foi colocado na divisória da carroceria, próximo ao piso (CS6);
- Um foi instalado no teto (CS8);
- Dois foram colocados próximos à porta de acesso ao compartimento de resfriados (CP1 e CP2);
- Quatro foram utilizados para monitorar o ar próximo ao evaporador, sendo dois para o ar de retorno (EvRet1 e EvRet2) e dois para o ar de insuflamento (EvIns1 e EvIns2).

Um termopar do tipo K também foi instalado próximo à porta interna com o intuito de acusar os momentos de abertura da porta (I2-4) durante as entregas dos produtos. O termopar estava conectado a outro data-logger (I2), do mesmo modelo do que foi utilizado no compartimento de resfriados.

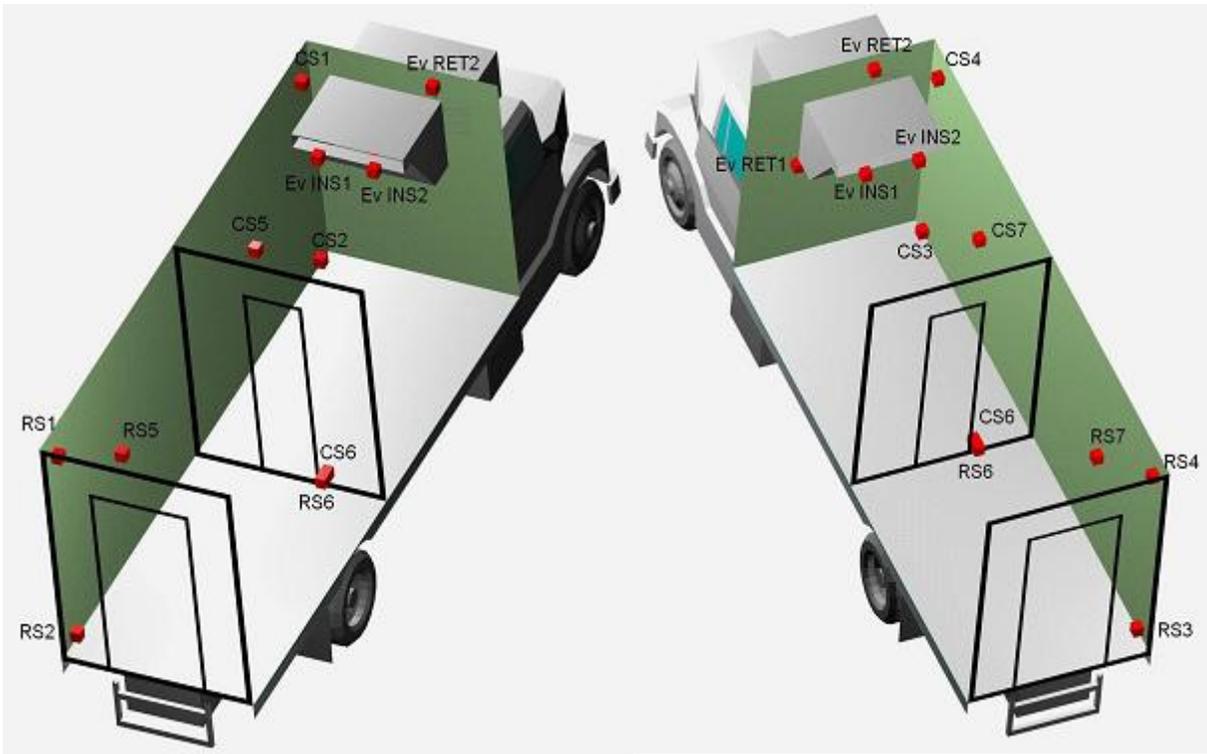


Figura 5 Sensores internos de temperatura nas superfícies laterais, na frontal e sobre o evaporador.

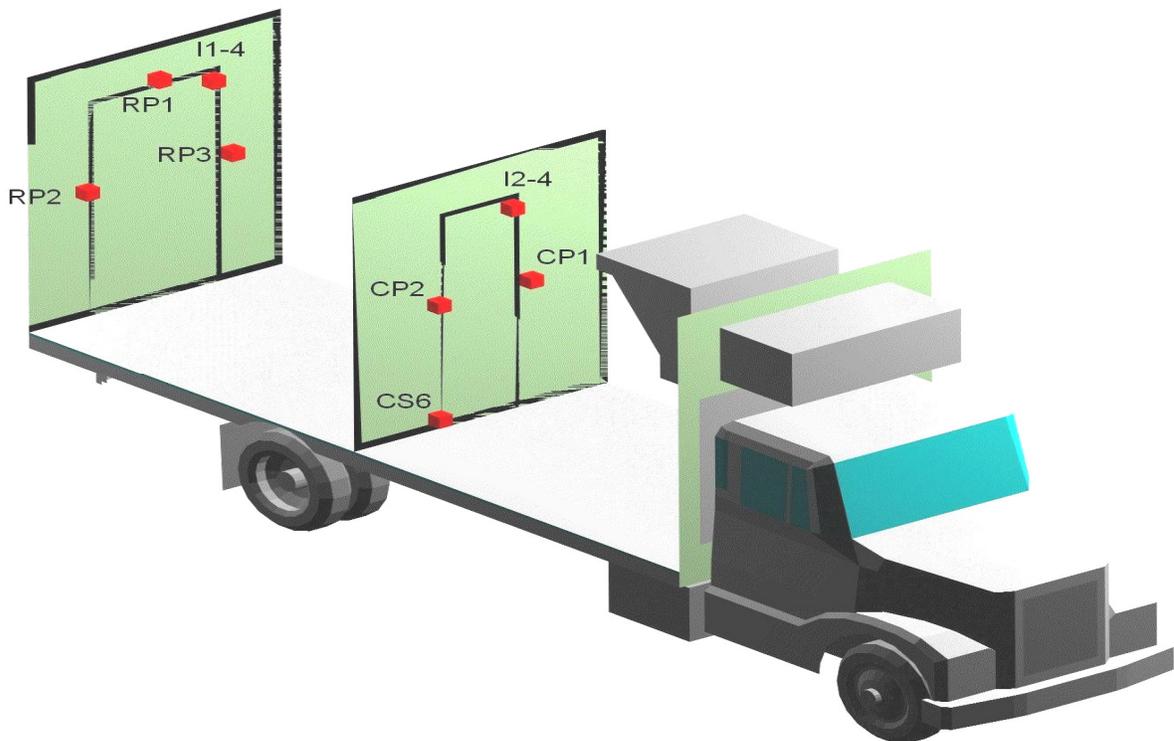


Figura 6 Sensores internos de temperatura nas superfícies onde se encontram as duas portas da carroceria.

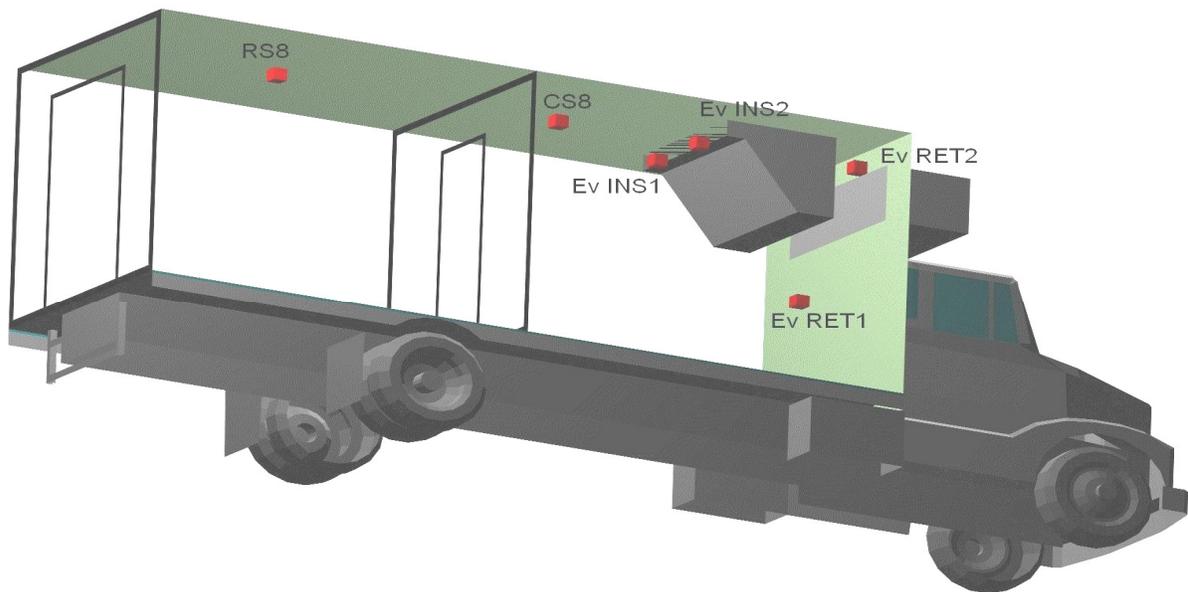


Figura 7 Sensores internos de temperatura na superfície frontal, no teto e sobre o evaporador.

Externamente, a carroceria foi instrumentada com 10 sensores de temperatura sobre as 6 superfícies com termopares do tipo K (E1-1 a E1-4; E2-1 a E2-4; S2-1 e S2-2), os quais estavam conectados a *data-loggers* modelo T-177-T4 da marca Testo (E1, E2 e S2). A disposição destes sensores pode ser compreendida através da visualização da Figura 8 e da Figura 9.

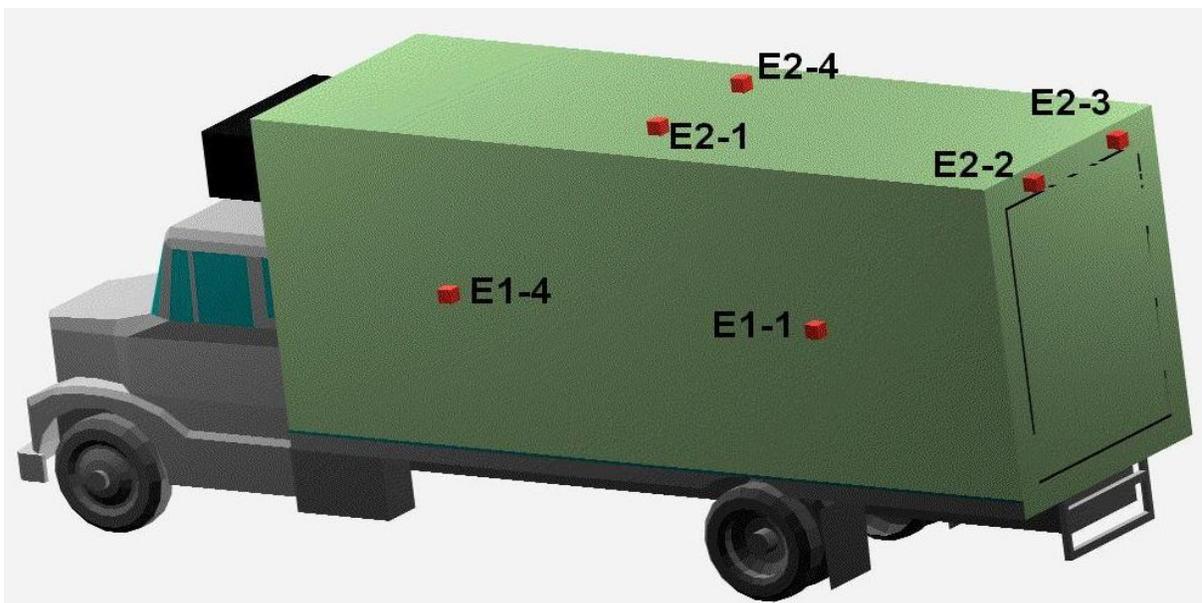


Figura 8 Sensores externos de temperatura na superfície lateral esquerda, no teto e na superfície traseira.

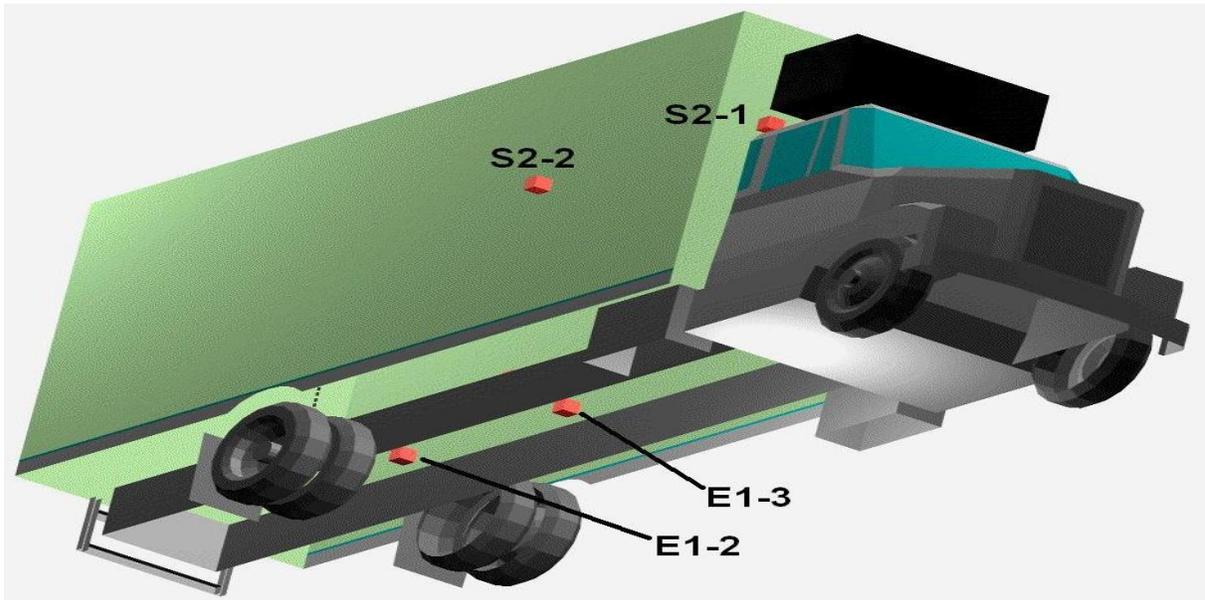


Figura 9 Sensores externos de temperatura na superfície lateral direita, no piso e na superfície frontal.

O sistema de refrigeração foi instrumentado com sensores de temperatura (termopar tipo K) e com sensores de pressão (1 a 40 bar). Um termopar (S1-1) foi colocado próximo ao condensador para medir a temperatura do ar de resfriamento antes deste passar pelo condensador (ar frio). Outro termopar (S1-2) foi instalado do outro lado do condensador para medir a temperatura do ar de resfriamento após a sua passagem pelo condensador (ar aquecido).

O sistema de refrigeração usado no caminhão com carroceria frigorificada é ilustrado pela Figura 10.

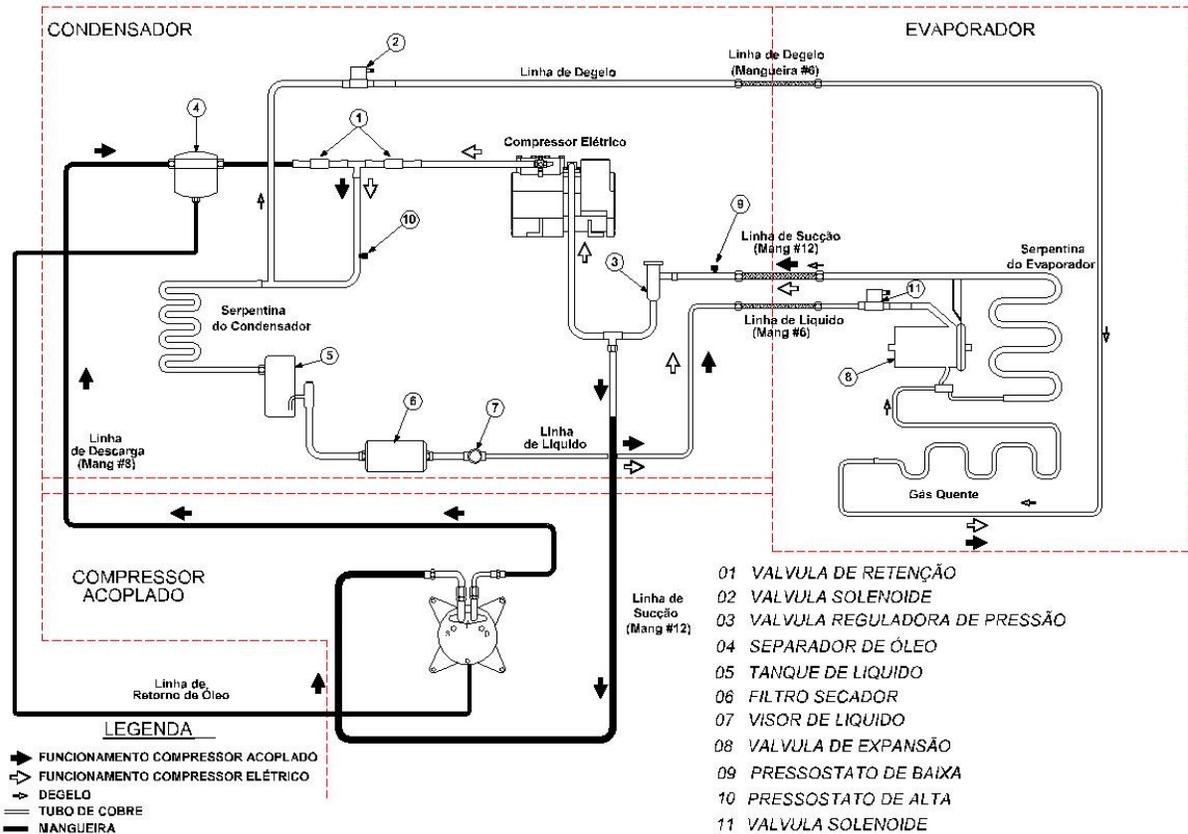


Figura 10 Sistema de refrigeração usado no caminhão com carroceria frigorificada (figura cedida pela empresa Transfrigor)

A temperatura da superfície da tubulação que leva o refrigerante da saída do condensador para a garrafa de líquido também foi medida com um termopar (S1-3). Logo após a válvula de expansão do evaporador, foi instalado um termopar (S1-4) na superfície da tubulação de refrigerante e, na linha de sucção do compressor acoplado ao motor do caminhão, foi colocado outro sensor de temperatura (S2-3). Todos estes termopares estavam conectados aos *data-loggers* S1 e S2 da marca Testo, modelo T-177-T4. O *data-logger* S1 foi instalado na superfície externa frontal da carroceria, logo abaixo da unidade condensadora e o *data-logger* S2 foi instalado no compartimento do motor do caminhão, próximo ao compressor acoplado.

Os sensores de pressão foram instalados em três pontos: na linha de sucção do compressor acoplado; na saída do condensador antes da entrada da garrafa de líquido; e após a válvula de expansão. Em todos os pontos os sensores de pressão foram conectados ao sistema de refrigeração pelas válvulas de serviço tipo Schrader. Em posição normal, a válvula

Schrader encontra-se fechada devido à ação de uma mola que pressiona o obturador sobre um ressalto interno impedindo a saída de refrigerante. Os sensores de pressão, ao serem conectados às válvulas, pressionaram o obturador, abrindo-as. Os sinais eram enviados para um *data-logger* marca Testo, modelo 350/454, com capacidade para 500.000 valores, presente dentro da cabine do caminhão.

Realizou-se também o acompanhamento da temperatura de produtos-teste, com a intenção de verificar como as perturbações das condições de transporte durante o período de entregas afetavam a temperatura dos mesmos. Três termopares tipo K (I1-1 a I1-3) foram colocados nas superfícies primárias e secundárias de duas embalagens de presunto no compartimento de resfriados e dois termopares tipo K (I2-1 e I2-2) foram colocados na superfície primária de duas embalagens de lingüiça (não possuíam embalagens secundárias) no compartimento de congelados. A monitoração da temperatura dos produtos-teste foi realizada pela medida da variação da temperatura superficial dos produtos. As quatro embalagens de produtos-teste foram colocadas nas prateleiras de cima de cada compartimento para ficarem expostas ao ar mais quente. As duas embalagens de produtos resfriados foram colocadas próximas à porta de acesso ao ambiente externo, sendo uma do lado esquerdo e outra do lado direito da carroceria. De modo análogo, as duas embalagens de produtos congelados foram posicionadas próximas à porta que separa os dois compartimentos, uma de cada lado da carroceria.

Os sensores de temperatura T-175 H1 e H2 e os *data-loggers* T-177-T4 foram fixados nas superfícies da carroceria utilizando-se rebites de alumínio. Os sensores de pressão e os cabos que os conectavam ao *data-logger* 350/454 foram fixados à carroceria pelo uso de abraçadeiras de nylon, mesmo sistema utilizado na fixação do *data-logger* S2 no compartimento do motor. Os termopares tipo K utilizados para medir a temperatura das superfícies externas da carroceria foram fixados com fita de alta adesão (Silver Tape, da 3M), com o objetivo de manter o contato total do elemento sensor com as superfícies da carroceria.

Da Figura 84 a Figura 89 dos anexos, pode-se verificar as fotos de fixação dos sensores utilizados.

Todos os sensores citados anteriormente foram calibrados pela Testo do Brasil, empresa responsável pela fabricação dos mesmos. Os certificados de calibração relatam que os

termopares tipo K foram calibrados por medida comparativa em banho líquido circulante, encontrando-se uma incerteza de $\pm 0,2$ °C. Já os sensores NTC apresentaram uma incerteza de $\pm 0,5$ °C.

2) Monitoração e avaliação das alterações das condições operacionais do sistema de refrigeração e do ambiente interno da carroceria frigorificada do caminhão:

Após a instalação dos instrumentos no caminhão frigorificado, foi realizada a monitoração das variáveis, relacionando-as com os eventos ocorridos nos percursos urbanos a fim de avaliar as condições operacionais e suas causas. Esta avaliação foi importante para mensurar as perturbações de abertura das portas e de outros eventos.

Durante o transporte e as entregas, em todos os dias, foi feito o acompanhamento, em campo, de todos os eventos envolvidos no processo, desde a saída do caminhão do centro de distribuição, até o seu retorno ao final do dia. Isto foi necessário para um melhor entendimento dos resultados obtidos ao final das monitorações.

Ao longo de todo o acompanhamento da distribuição dos produtos aos pontos de entrega, tomou-se o cuidado de não interferir na rotina de trabalho dos funcionários envolvidos no processo para que os dados obtidos durante a monitoração representassem da forma mais realista possível o que acontece durante a distribuição.

A monitoração do transporte foi realizada, durante os meses de agosto e setembro de 2007, no estado de São Paulo, onde o transporte frigorificado está bastante consolidado, abrangendo as seguintes cidades do interior do estado: Águas de São Pedro, Americana, Araras, Itacemópolis, Piracicaba, Rio Claro, Santa Bárbara e Sorocaba. O acompanhamento do transporte de produtos resfriados e congelados foi feito desde o centro de distribuição até os estabelecimentos comerciais, monitorando-se as condições de transporte durante todo o trajeto.

Todos os instrumentos foram previamente programados para ler e armazenar os dados durante todo o transporte, desde a saída do caminhão até o seu retorno ao centro de distribuição, abrangendo todos os locais de entrega visitados ao longo do dia. A frequência de

coleta de dados pelos *data-loggers* foi diferente para cada situação. Os sensores de temperatura sem fio, utilizados para medir a temperatura do ar dos ambientes internos da carroceria, armazenavam os dados lidos a cada 30 segundos. Os sensores usados para verificar a temperatura externa das superfícies da carroceria também armazenavam os dados a cada 30 segundos. Já os *data-loggers* utilizados para armazenar os dados referentes aos sensores de abertura das portas e os dados da variação da temperatura dos produtos-teste, armazenavam os valores a cada 5 segundos. Os *data-loggers* usados para armazenar os valores das temperaturas e das pressões do sistema de refrigeração também gravavam os dados a cada 5 segundos. A frequência de medida foi fixada levando-se em consideração a capacidade de armazenamento de cada equipamento e o tempo que permaneceriam ligados durante o transporte.

Foi instalado também um tubo de Pitot próximo ao condensador. O objetivo deste instrumento era medir a velocidade do ar de resfriamento que passava pela serpentina do condensador, uma vez que esta velocidade variava com a velocidade do caminhão. Porém, o equipamento não registrava velocidades de ar menores que 20 m/s, o que prejudicou a aquisição destes dados, já que, durante as entregas, dentro das cidades, o instrumento não registrava os valores devido à baixa velocidade do caminhão associada à baixa velocidade do ar. Assim, este instrumento foi retirado do condensador e não foi possível representar os dados da velocidade do ar de resfriamento do condensador neste trabalho.

Diariamente, todos os sensores foram acionados manualmente pela manhã, antes da saída do caminhão do centro de distribuição e, ao final do dia, era feita a transferência dos dados coletados para um computador para análise gráfica.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram realizados 14 monitoramentos diários referentes às variações de temperatura dos ambientes interno e externo da carroceria e às variações de temperatura e pressão do sistema de refrigeração, dos quais serão apresentados apenas 7. Os dados dos demais monitoramentos foram descartados devido a problemas com alguns sensores que deixaram de funcionar durante a distribuição. Um dos monitoramentos foi descartado, devido a um vazamento de refrigerante durante as entregas. Foram realizados também monitoramentos referentes às variações de temperatura de produtos-teste durante 3 dias.

Durante os monitoramentos detectou-se uma grande variabilidade na rotina diária de entrega associada aos seguintes fatores:

- Distribuição irregular da carga no interior da carroceria: antes da saída do centro de distribuição, as caixas eram colocadas aleatoriamente no interior da carroceria. Não havia um prévio planejamento para a colocação das caixas nas prateleiras de acordo com a ordem em que os produtos iriam ser descarregados em cada estabelecimento comercial, o que agilizaria as entregas. Assim, os funcionários responsáveis pelo descarregamento dos produtos nos estabelecimentos comerciais ficavam confusos procurando as caixas que deveriam ser descarregadas em cada local e perdiam muito tempo durante a separação das caixas. Neste período todo, eles deixavam as portas da carroceria abertas desnecessariamente. Assim, a duração das entregas e conseqüentemente o tempo em que as portas permaneciam abertas, foram influenciados pelo grau de desorganização das caixas no interior da carroceria.
- Quantidade total de caixas distribuídas: em cada dia de monitoração o caminhão saía do centro de distribuição com uma quantidade variável de produtos, o que influenciava o tempo e o número total de entregas de cada dia.
- Quantidade de caixas e número de produtos diferentes descarregados em cada entrega: o tempo de descarregamento dos produtos dependia da quantidade de caixas que eram destinadas a cada estabelecimento comercial. Além disso,

quando um número maior de produtos diferentes foi descarregado, perdeu-se mais tempo procurando os diversos produtos no interior da carroceria.

- Tempo de espera para se obter autorização para descarregar: ao chegar ao local de entrega, o estabelecimento comercial precisava analisar a nota fiscal com a relação dos produtos antes de autorizar o descarregamento. Esta análise era demorada, de modo que o caminhão chegava a permanecer parado próximo ao local esperando a autorização por horas com o compressor acoplado do sistema de refrigeração em rotação mínima.
- Desligamento eventual do motor do caminhão durante as esperas: nos casos em que a espera pela autorização para descarregar foi longa, o motorista achou conveniente desligar o motor do caminhão com objetivo de economizar combustível. Conseqüentemente, o sistema de refrigeração permaneceu inoperante nestes momentos, devido ao fato de o compressor acoplado ao motor do caminhão estar parado.

Foi observada, durante os monitoramentos, a não aderência a procedimentos operacionais padrão durante as entregas. Os principais procedimentos não respeitados e suas conseqüências sobre a manutenção das temperaturas internas da carroceria são citados a seguir:

- Parada do motor do caminhão durante a espera pela autorização de descarregamento dos produtos com o objetivo de economizar combustível: ocasiona a interrupção do sistema de refrigeração, com a conseqüente elevação da temperatura do ambiente interno da carroceria, uma vez que esta permanecia exposta ao sol durante toda a espera.
- Manutenção do motor do caminhão em funcionamento durante a entrega quando as portas estão abertas: o sistema de refrigeração continua funcionando, aumentando a condensação, no evaporador, da umidade proveniente do ar quente externo que penetra no interior da carroceria durante

o descarregamento dos produtos, resultando no aumento do número necessário de degelos durante o dia.

- Remoção da cortina plástica que separa o compartimento de resfriados do de congelados: para facilitar a circulação dos funcionários entre os compartimentos, a cortina plástica era colocada, durante as entregas, por sobre a porta de acesso ao compartimento de congelados, permitindo a entrada desimpedida do ar quente do exterior na área de congelados.

A discussão dos resultados neste trabalho foi realizada analisando-se cada dia separadamente, correlacionando-se os diferentes eventos dentro de um mesmo dia. Para isso foram inseridas no corpo da discussão apenas algumas das figuras geradas ao longo do trabalho, enquanto que a totalidade das figuras se encontra no capítulo de anexos.

Durante a discussão dos resultados, foram encontrados eventos que foram identificados pelas seguintes siglas:

“DG” – Momento de degelo da serpentina do evaporador por gás quente;

“Ent” – Período de uma entrega de mercadorias em um estabelecimento comercial;

“M” – Momento de parada do motor do caminhão.

5.1. 1º dia de monitoração:

Os dois sensores de abertura de porta (I1-4 para o compartimento de resfriados e I2-4 para o de congelados) são termopares tipo K que foram posicionados em locais que favoreciam o contato direto com o ar do ambiente externo logo quando este entrava no ambiente refrigerado durante as aberturas das portas. O objetivo destes sensores foi identificar os momentos exatos das aberturas das portas, os quais eram evidenciados pelo aumento brusco de temperatura quando o ar quente proveniente do ambiente externo entrava em contato com esses sensores logo que as portas eram abertas. Eles não foram utilizados com o objetivo de registrar os valores das variações de temperatura do ar interno da carroceria, pois foram

instalados no vão de cada uma das portas da carroceria, onde havia pouca circulação de ar interno quando as portas estavam fechadas. A medida quantitativa da variação da temperatura do ar dos ambientes internos da carroceria foi realizada por diversos outros sensores posicionados internamente na carroceria. Portanto, durante a discussão dos resultados, quando uma figura referente à variação de temperatura identificada pelos sensores de abertura de porta for mostrada, deve-se analisar cada uma das curvas geradas com o objetivo de identificar os momentos das aberturas das portas e não os valores das variações de temperatura em cada compartimento. Os instantes em que ocorreram a parada do motor do caminhão e os degelos por gás quente também são visualizados nestas figuras quando possível. Já a análise quantitativa da variação da temperatura do ar interno da carroceria durante toda a monitoração será feita em outras figuras especialmente destinadas para este fim.

A Figura 11 refere-se à variação de temperatura identificada pelos sensores de abertura de portas instalados nos compartimentos da carroceria durante o primeiro dia de monitoração. Assim, nesta figura, deve-se analisar cada uma das duas curvas geradas com o intuito de verificar exclusivamente os momentos das aberturas das portas e os instantes em que ocorreram os degelos, não se preocupando em analisar os valores das variações de temperatura em cada compartimento. Posteriormente em outras figuras será feita a discussão quantitativa dessas variações.

Na abscissa do gráfico, o tempo está marcado tomando-se como ponto inicial o momento da saída do centro de distribuição da empresa produtora dos alimentos transportados.

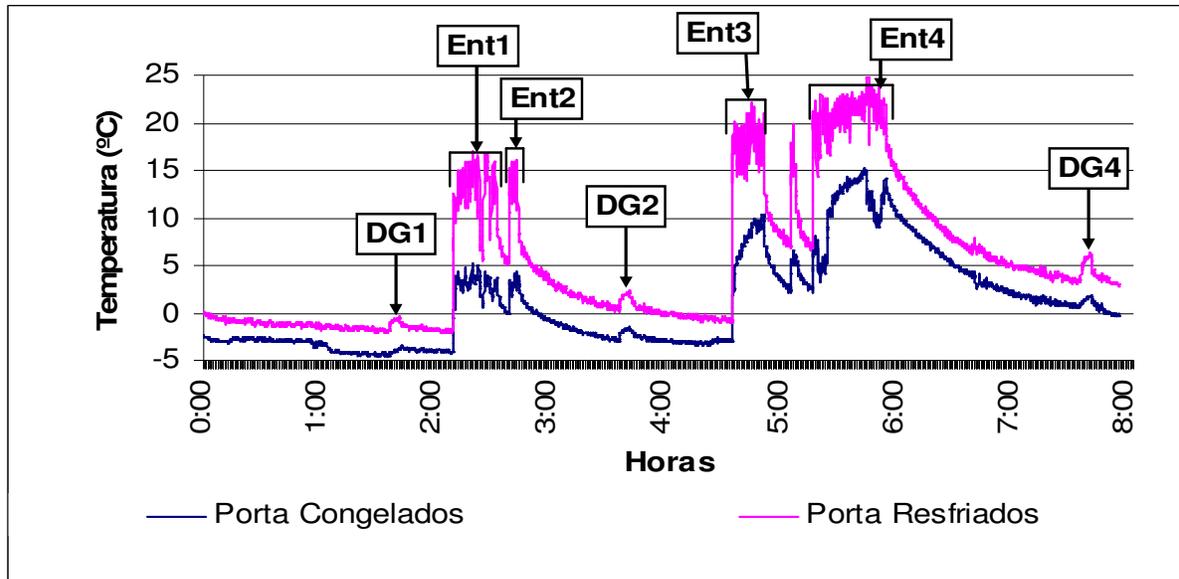


Figura 11 Histórico das temperaturas com a abertura de portas no 1º dia de monitoramento

Com as portas já fechadas após o acionamento manual de todos os sensores, a temperatura de ambos os compartimentos decresceram ao longo do percurso pela rodovia, até que, em 1h37min de monitoração, o primeiro degelo por gás quente ocorreu, momento em que a temperatura do ar interno de ambos os compartimentos sofreu uma elevação (indicado na figura como DG1). O degelo era automático e estava programado para ocorrer a cada 2 horas.

Após 2h09min do início da monitoração foi realizada a primeira entrega de mercadorias em um estabelecimento comercial, período indicado na Figura 11 como “Ent1”. Para iniciar o descarregamento foi feita a abertura da porta traseira da carroceria para acesso ao compartimento de resfriados e logo em seguida realizou-se a abertura da outra que dá acesso ao compartimento de congelados. Estas aberturas foram evidenciadas pelo aumento brusco de temperatura registrado por cada sensor de abertura de porta, uma vez que ar quente proveniente do ambiente externo entrou diretamente em contato com os sensores. Ambas as portas foram fechadas nos momentos de ociosidade e durante esta entrega elas foram abertas três vezes.

Após 23 minutos de entrega, ambas as portas foram fechadas e o veículo seguiu em direção ao próximo estabelecimento para iniciar a segunda entrega. Ao final da primeira entrega, o sistema de refrigeração teve disponível aproximadamente 6 minutos para reduzir a temperatura do ar após a perturbação, uma vez que este foi o período em que a carroceria

permaneceu com as portas fechadas durante o deslocamento entre os estabelecimentos comerciais.

A segunda entrega ocorreu em 2h38min de monitoração e teve a duração de apenas 5 minutos, período indicado na Figura 11 por “Ent2”. Ambas as portas da carroceria foram abertas.

Ao final da segunda entrega, o caminhão seguiu em direção ao terceiro estabelecimento comercial. Neste período, a carroceria permaneceu 1h52min com as portas fechadas, o que favoreceu o trabalho do sistema de refrigeração para atuar na redução das temperaturas do ambiente interno da carroceria.

Durante o deslocamento do caminhão entre o segundo ponto de entrega e o terceiro, um novo degelo automático por gás quente ocorreu em 3h37min, como pode ser visto na Figura 11 pela indicação “DG2”.

Em 4h35min de monitoração a terceira entrega ocorreu, período indicado na Figura 11 como “Ent3”. A entrega durou 16 minutos e, neste caso, somente a porta de acesso ao compartimento de resfriados foi aberta, verificando-se que mesmo com a porta de acesso ao compartimento de congelados fechada, a temperatura do ar na câmara de congelados também sofreu uma variação. Isto se deve ao fato de existir a circulação de ar de um compartimento ao outro pelas canaletas no piso e pelo ventilador instalado sobre a porta de congelados. Assim, a entrada da massa de ar quente pelo piso ocasionou um aumento na temperatura da câmara de congelados.

Terminada a entrega, o caminhão permaneceu parado no mesmo local, uma vez que o quarto estabelecimento comercial estava localizado no mesmo quarteirão. O motorista achou conveniente manter o caminhão estacionado e caminhar com as mercadorias até o quarto estabelecimento.

Enquanto esperava pela liberação do descarregamento no quarto estabelecimento, o motorista precisou entrar no compartimento de congelados para conferir rapidamente os produtos que seriam descarregados. Isto justifica a elevação de temperatura observada na Figura 11 em 5h05min, entre a terceira e a quarta entrega.

A quarta entrega ocorreu em 5h16min e teve duração de 38 minutos (Ent4). A porta de congelados foi fechada nos momentos ociosos, sendo aberta três vezes neste período, enquanto a porta de resfriados permaneceu aberta durante todo o tempo da entrega.

O terceiro degelo ocorreu em 5h37min, durante a quarta entrega. Na Figura 11 esse acontecimento não pôde ser claramente definido, pois neste momento as portas estavam abertas e as variações de temperatura registradas pelos sensores de abertura de porta não eram exclusivamente devido ao degelo. Em outras figuras que serão mostradas posteriormente será possível identificar o momento exato deste degelo.

Ao finalizar a quarta e última entrega, o caminhão seguiu em direção ao centro de distribuição com a carroceria vazia e, durante este percurso de 2h02min, a carroceria permaneceu com todas as portas fechadas. O quarto degelo ocorreu em 7h37min, como pode ser verificado na Figura 11 por “DG4”.

Ressalta-se, porém, que durante todas as entregas do dia, o motor do caminhão não foi desligado e o sistema de refrigeração permaneceu funcionando, de modo que as portas foram abertas com o sistema em operação, prática rotineira de funcionários envolvidos no transporte frigorificado, apesar de ser considerada tecnicamente inapropriada. Esta prática favorece uma maior troca de ar entre os ambientes externo e interno e, conseqüentemente, aumenta a necessidade de se realizar degelos da serpentina do evaporador do sistema de refrigeração.

Na Figura 12, referente às variações de pressão no sistema de refrigeração, os momentos de todos os degelos são evidenciados.

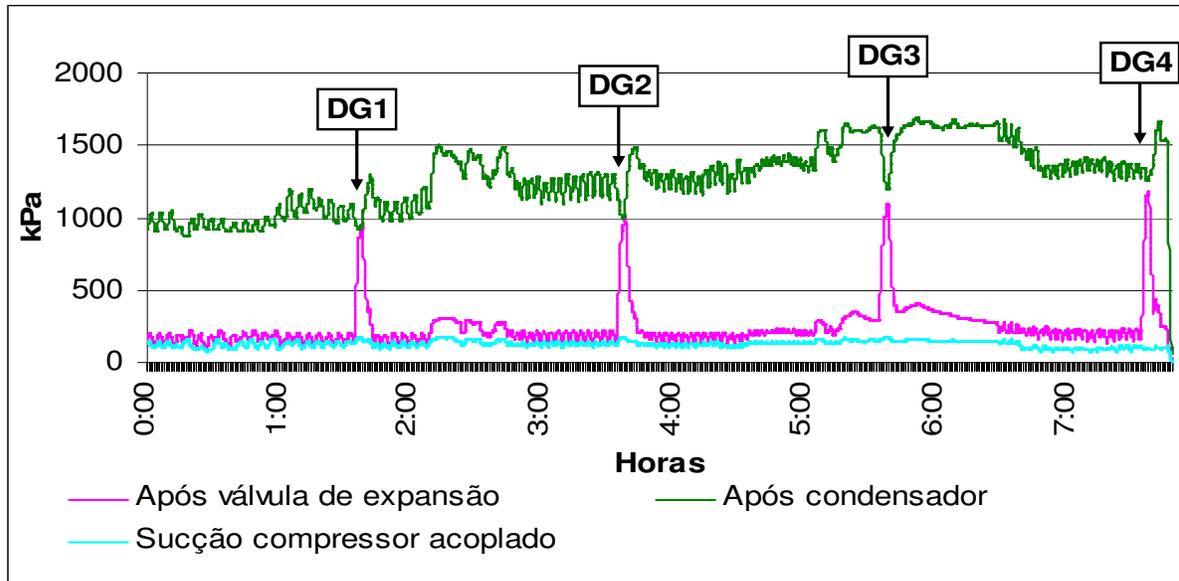


Figura 12 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 1º dia de monitoramento

A pressão do refrigerante observada após a válvula de expansão apresentou elevações bruscas nos pontos 1h37min, 3h37min, 5h37min e 7h37min, atingindo valores próximos ao da pressão do refrigerante após a saída do condensador, indicando os momentos exatos do início do processo de degelo por gás quente.

Na Figura 13, referente às temperaturas nos pontos monitorados do sistema de refrigeração, é possível verificar também os momentos dos degelos pelo aumento brusco da temperatura na linha de refrigerante logo após a válvula de expansão em cada momento.

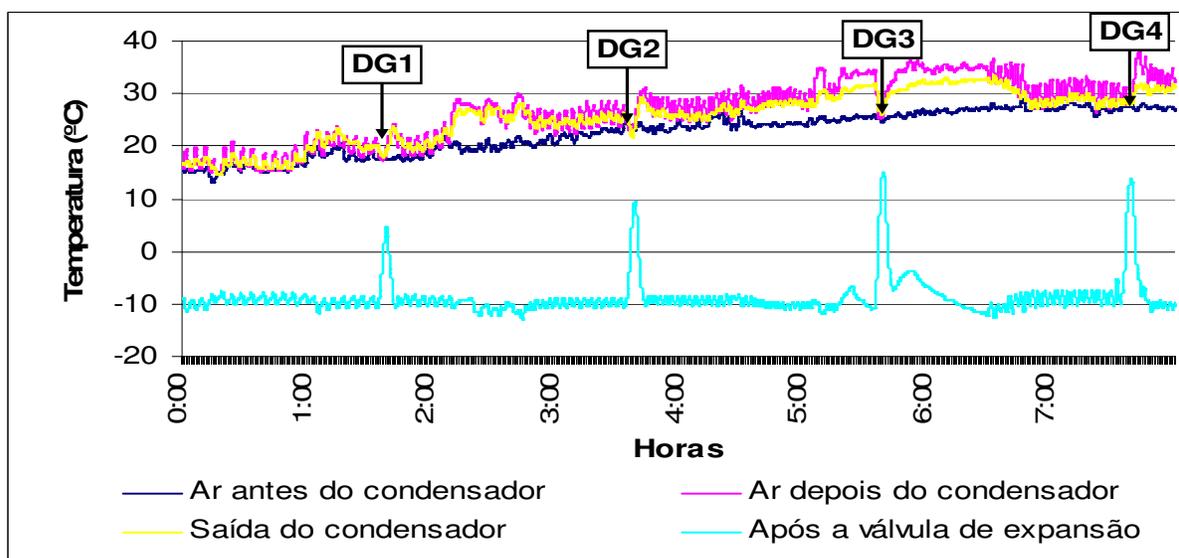


Figura 13 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 1º dia de monitoramento

Na Figura 14 observa-se a variação da temperatura interna da carroceria no compartimento de resfriados em diferentes pontos. Nela são mostrados os resultados obtidos por apenas alguns dos sensores instalados, pois, devido à semelhança encontrada nos registros de temperatura dos diferentes sensores, alguns destes foram omitidos nesta discussão, porém todos os dados obtidos ao longo de todas as monitorações encontram-se nos anexos deste trabalho para consulta.

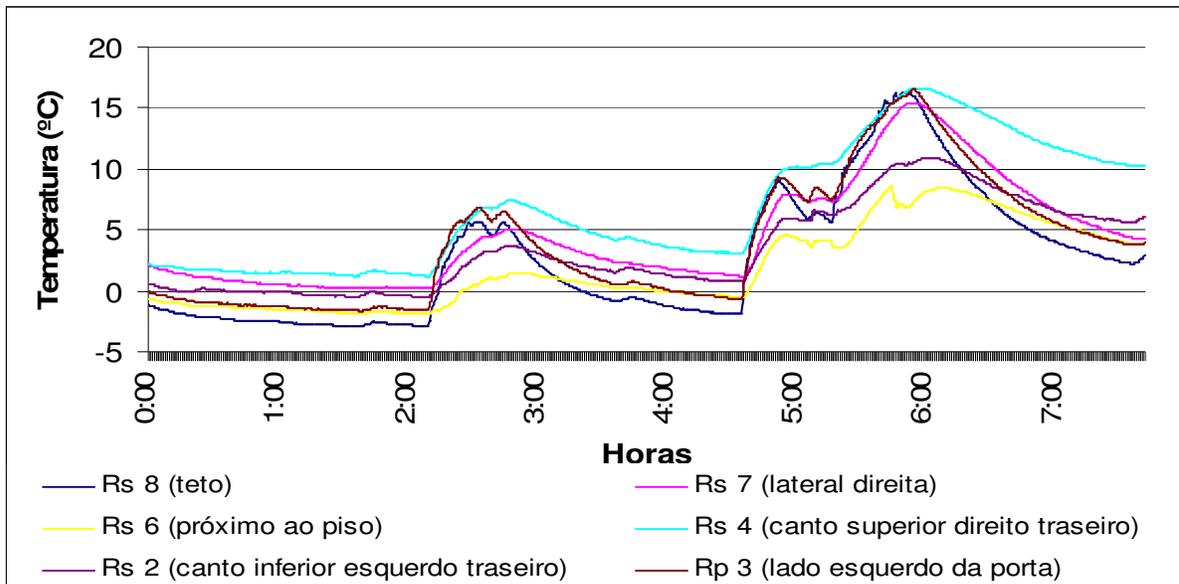


Figura 14 Histórico das temperaturas internas do compartimento de resfriados no 1º dia de monitoramento

A localização de cada sensor indicado na figura já foi mostrada anteriormente no capítulo 1. Estes sensores registraram as oscilações de temperatura do ar próximo às superfícies internas do compartimento ao longo de todo o dia. Em 1h37min de monitoração verificou-se o primeiro degelo automático por gás quente. Imediatamente antes da abertura da porta de resfriados na primeira entrega os sensores RS2, RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 indicaram que a temperatura do ar próximo a eles era de $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente, com uma temperatura média representativa (\bar{T}) igual a $\bar{T} = -0,9 \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Quando a porta de resfriados foi aberta na primeira entrega, o efeito da entrada de carga térmica proveniente do ar quente do ambiente externo provocou uma elevação da temperatura interna em todos os pontos monitorados do compartimento de resfriados. As máximas temperaturas registradas por estes mesmos sensores foram de $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$,

4,5 °C, 5,9 °C e 6,8 °C ($\bar{T} = 3,9 \pm 2,9$ °C). Durante o percurso entre o primeiro e o segundo estabelecimento comercial, quando as portas já estavam fechadas, percebe-se que nos diversos pontos monitorados no compartimento de resfriados as temperaturas registradas pelos sensores permaneceram elevadas, de modo que a redução das temperaturas pelo sistema de refrigeração foi pequena e insatisfatória. As máximas temperaturas registradas por esses sensores durante a segunda entrega foram de 3,7 °C, 7,4 °C, 1,3 °C, 5,1 °C, 5,6 °C e 6,6 °C ($\bar{T} = 4,3 \pm 3,0$ °C).

Ao final da segunda entrega, o caminhão seguiu em direção ao terceiro estabelecimento comercial e, durante este percurso, o segundo degelo automático por gás quente ocorreu. Até que a terceira entrega ocorresse, a carroceria permaneceu 1h52min com as portas fechadas, o que favoreceu o trabalho do sistema de refrigeração para atuar na redução das temperaturas do ambiente interno da carroceria. Porém, mesmo com muito tempo disponível, o sistema não foi capaz de reduzir as temperaturas aos valores encontrados inicialmente antes da primeira entrega do dia. Após este período de 1h52min a temperatura registrada pelos sensores RS2, RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 imediatamente antes da terceira entrega foi de 0,8 °C, 3,1 °C, -0,5 °C, 1,2 °C, -1,9 °C e -0,6 °C ($\bar{T} = 0,6 \pm 2,5$ °C), respectivamente. A diferença de temperatura verificada em cada ponto monitorado por estes sensores entre o instante imediatamente anterior à terceira entrega e o instante imediatamente anterior à primeira entrega foi de 1,3 °C, 1,9 °C, 1,4 °C, 1,0 °C, 1,0 °C e 1,0 °C ($\Delta\bar{T} = 1,5 \pm 0,5$ °C).

Na terceira entrega, que foi iniciada em 4h35min de monitoração, os sensores RS2, RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 verificaram as seguintes temperaturas máximas: 5,9 °C, 10,2 °C, 4,6 °C, 7,9 °C, 9,0 °C, e 9,3 °C ($\bar{T} = 7,4 \pm 2,8$ °C), respectivamente. Quando ocorreu a quarta entrega, observou-se uma nova elevação de temperatura, de modo que os mesmo sensores registraram as máximas temperaturas de 10,9 °C, 16,6 °C, 8,6 °C, 15,4 °C, 16,3 °C, 16,6 °C ($\bar{T} = 12,6 \pm 4,0$ °C). Enquanto ocorria esta última entrega o terceiro degelo automático por gás quente foi realizado em 5h37min e, em 7h37min de monitoração, o último degelo aconteceu.

Ao chegar ao centro de distribuição os sensores RS2, RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 indicaram o valor final das temperaturas do dia, respectivamente 5,5 °C, 9,9 °C, 3,6 °C, 4,0 °C, 2,1 °C, e 3,5 °C ($\bar{T} = 6,0 \pm 3,9$ °C). Assim, a diferença de temperatura verificada em cada ponto

monitorado por estes sensores entre a chegada ao centro de distribuição e o instante imediatamente anterior à primeira entrega foi de 6,0 °C, 8,7 °C, 5,5 °C, 3,8 °C, 5,0 °C e 5,1 °C ($\bar{\Delta T} = 6,3 \pm 2,5$ °C).

Na Figura 15 observa-se a variação da temperatura interna da carroceria no compartimento de congelados nos pontos monitorados, sendo mostrados os dados obtidos por apenas alguns dos sensores instalados. Novamente, como feito na discussão dos dados referentes ao compartimento de resfriados, alguns sensores foram omitidos nesta discussão devido à semelhança encontrada nos registros de temperatura dos diversos sensores, mas os demais resultados obtidos nas monitorações encontram-se nos anexos deste trabalho.

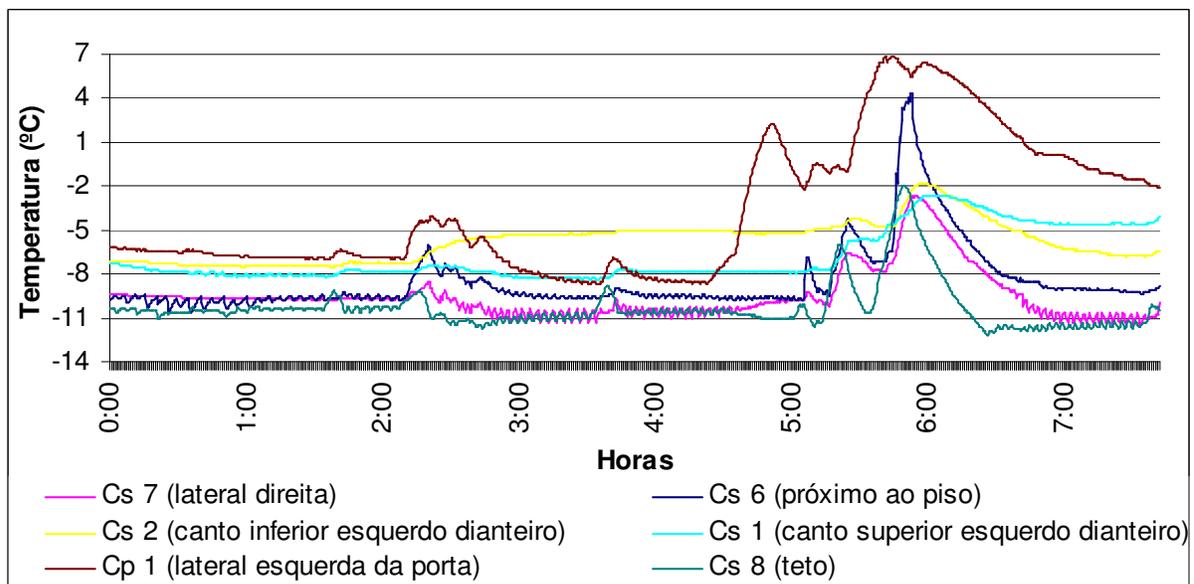


Figura 15 Histórico das temperaturas internas do compartimento de congelados no 1º dia de monitoramento

A localização de cada sensor indicado na figura também já foi mostrada anteriormente no capítulo de materiais e metodologia. Estes sensores registraram as oscilações de temperatura do ar próximo às superfícies internas do compartimento de congelados ao longo de todo o dia. Imediatamente antes da abertura da porta de congelados na primeira entrega os sensores CS1, CS2, CS6, CS7, CS8 e CP1 indicaram que a temperatura do ar próximo a eles era de -7,9 °C, -7,3 °C, -9,8 °C, -9,8 °C, -10,1 °C, e -7,0 °C, respectivamente ($\bar{T} = -8,6 \pm 1,5$ °C). Quando a porta de congelados foi aberta na primeira entrega, a entrada de carga térmica proveniente do ar quente e úmido do ambiente externo provocou uma elevação da temperatura interna em todos os pontos monitorados do compartimento de congelados. As máximas

temperaturas registradas por estes sensores foram de -7,4 °C, -6,4 °C, -6,0 °C, -8,6 °C, -9,4 °C e -4,1 °C ($\bar{T} = -6,7 \pm 2,7$ °C).

Durante o percurso de 6 minutos entre o primeiro e o segundo estabelecimento comercial, quando as portas já estavam fechadas, as temperaturas registradas pelos sensores do compartimento de congelados apresentaram maiores quedas que as apresentadas pelos sensores localizados no compartimento de resfriados. Isto se deve ao fato de no compartimento de congelados haver uma maior circulação de ar à baixa temperatura, uma vez que apenas uma pequena parte de todo ar insuflado pelo evaporador é destinado ao compartimento de resfriados pela ação do ventilador instalado sobre a porta de congelados e o restante do ar é circulado no compartimento de congelados. Além disso, a baixa temperatura dos produtos congelados também contribui para reduzir a temperatura do ar deste compartimento. Na segunda entrega, que teve uma curta duração, as temperaturas subiram pouco. Logo que a entrega foi encerrada e o caminhão seguiu em direção ao terceiro estabelecimento comercial, as temperaturas voltaram a diminuir. Neste período entre o segundo e o terceiro local de entrega, a carroceria permaneceu 1h52min com as portas fechadas, o que favoreceu o trabalho do sistema de refrigeração para atuar na redução das temperaturas do ambiente interno da carroceria. Durante este período o segundo degelo ocorreu, causando uma variação de temperatura no ambiente interno da carroceria.

Na terceira entrega, que foi iniciada em 4h35min de monitoração, a porta de congelados não foi aberta, porém, verificou-se um pico de 2,1 °C na temperatura registrada pelo sensor CP1 na câmara de congelados devido à circulação de ar de um compartimento ao outro pelas canaletas no piso e pelo ventilador instalado sobre a porta de congelados. Os demais sensores não registraram variações significativas neste período.

Na quarta entrega observaram-se novas elevações de temperatura, de modo que os sensores CS1, CS2, CS6, CS7, CS8 e CP1 registraram as máximas temperaturas de -2,6 °C, -1,8 °C, 4,4 °C, -2,6 °C, -2,0 °C e 6,9 °C, respectivamente ($\bar{T} = 2,2 \pm 4,8$ °C).

No final do dia os mesmos sensores indicaram -4,6 °C, -7,0 °C, -9,4 °C, -10,5 °C, -11,8 °C e -2,7 °C ($\bar{T} = -7,2 \pm 4,6$ °C). Assim, a diferença de temperatura verificada em cada ponto monitorado por estes sensores entre a chegada ao centro de distribuição e o instante

imediatamente anterior à primeira entrega foi de 3,3 °C, 0,3 °C, 0,4 °C, -0,7 °C, -1,7 °C e 4,3 °C ($\Delta\bar{T} = 1,3 \pm 3,0$ °C).

Observa-se que o efeito da abertura das portas sobre a variação da temperatura interna é menos significativo no compartimento de congelados. A menor variação de temperatura neste compartimento evidencia o papel desempenhado pelo compartimento de resfriados como uma antecâmara, reduzindo o impacto da carga térmica externa sobre a área de produtos congelados.

Ao longo do dia, as temperaturas do ar de retorno e do ar de insuflamento também foram registradas. A Figura 16 mostra o comportamento destas duas variáveis durante a monitoração.

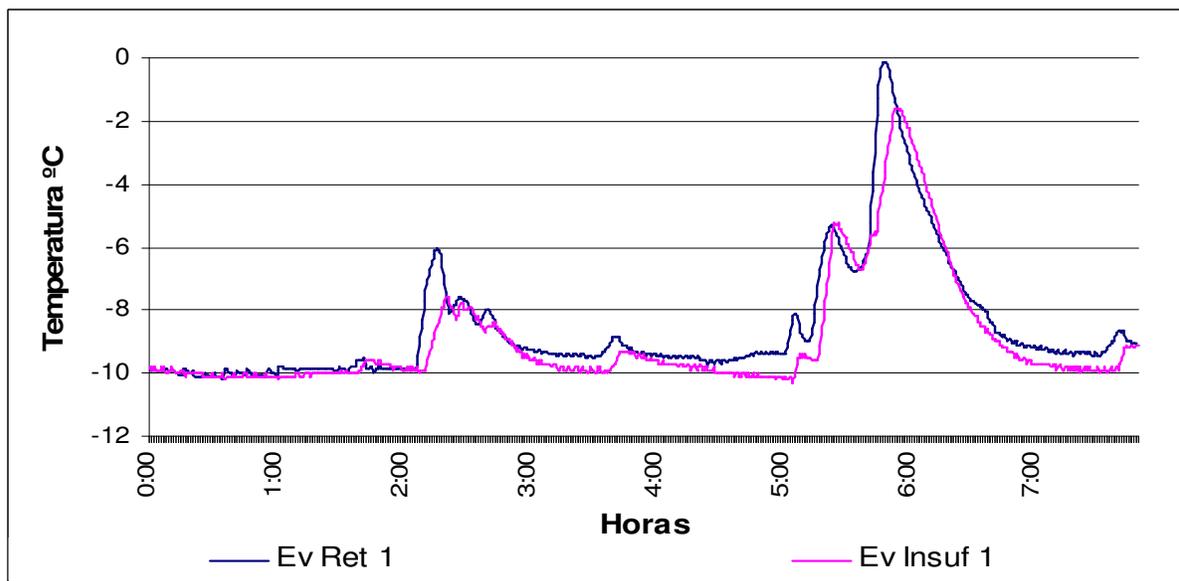


Figura 16 Histórico das temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento no 1º dia de monitoramento

Os valores de ambas as temperaturas permanecem semelhantes durante praticamente todo o dia, apresentando variações durante as entregas com picos somente nos momentos de abertura da porta do compartimento de congelados, pois durante a terceira entrega, quando somente a porta de resfriados foi aberta, isto não foi observado.

Antes de se iniciar a primeira entrega, tanto a temperatura do ar de retorno como a do ar de insuflamento oscilavam próximas a -10 °C. Durante a primeira entrega, observou-se um

pico na temperatura do ar de retorno de $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, momento em que o ar de insuflamento apresentava $-8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Durante a quarta entrega, o ar de retorno atingiu um máximo de $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e, neste instante, o ar de insuflamento estava à $-3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Porém, estes valores atingidos durante a última entrega foram influenciados pelo terceiro degelo por gás quente.

Os sensores externos obtiveram dados referentes às temperaturas das seis superfícies externas da carroceria. Devido à semelhança entre os valores encontrados pelos sensores, serão comentados os resultados obtidos por apenas um sensor de cada superfície na Figura 17 e na Figura 18, porém nos anexos deste trabalho encontram-se os dados de todos os sensores externos.

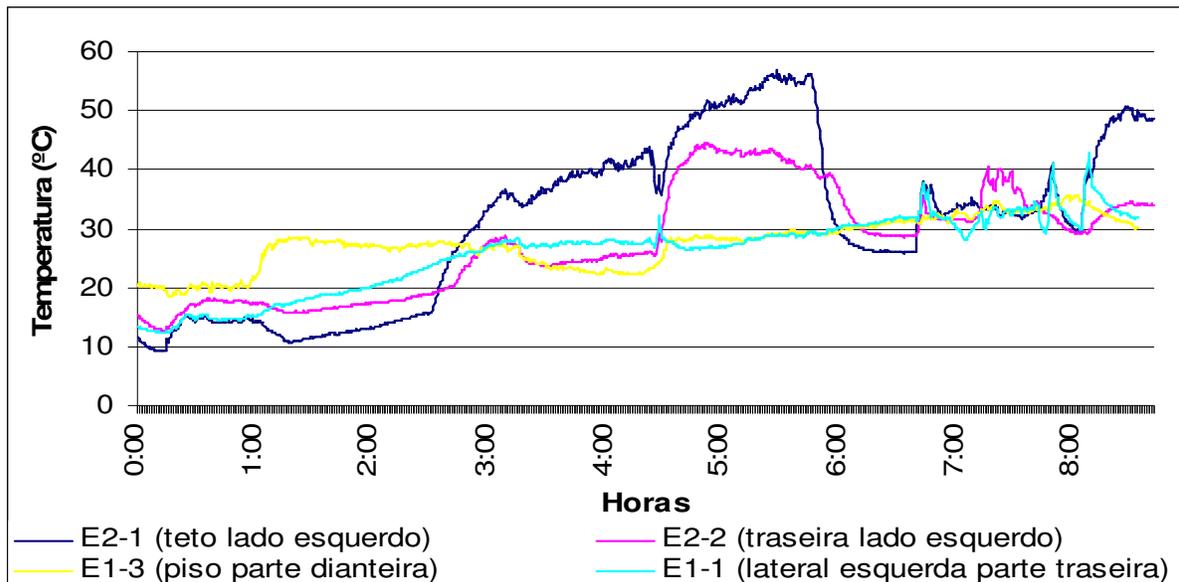


Figura 17 Histórico das temperaturas externas do teto, da lateral esquerda, do piso e da traseira da carroceria no 1º dia de monitoramento

Das 6 superfícies externas, o piso da carroceria (E1-3) foi o que apresentou maior temperatura durante o percurso do centro de distribuição ao local da primeira entrega, pois a transferência de calor por radiação entre o asfalto quente da rodovia e o piso, além do ar quente proveniente do motor e dos pneus do caminhão favoreceram o aquecimento da superfície.

A entrega dos produtos só podia ser iniciada após a permissão concedida pelo estabelecimento comercial e, portanto, o caminhão permanecia parado próximo aos locais de

descarregamento esperando pela autorização. Assim, a partir da primeira entrega, o caminhão permaneceu a maioria do tempo parado, seja durante as entregas ou aguardando a liberação da carga nos diversos clientes. Deste modo, a carroceria ficava exposta diretamente ao sol e, diferentemente do período em que estava em movimento na rodovia, não havia nesta nova condição a circulação de ar externo suficiente para auxiliar na redução da temperatura das superfícies externas da carroceria. Assim, dependendo da posição em que o caminhão estava parado, as superfícies externas que recebiam a maior incidência de radiação solar apresentavam as maiores temperaturas.

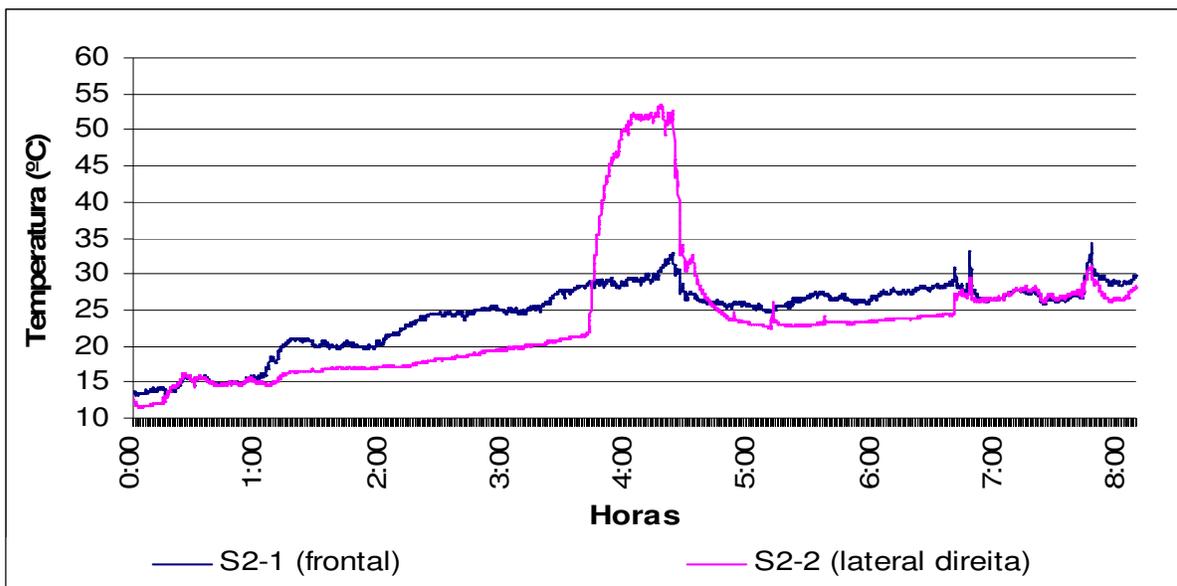


Figura 18 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 1º dia de monitoramento

A superfície lateral direita (S2-2) apresentou uma elevação de temperatura durante a espera pela autorização de descarregamento no terceiro estabelecimento comercial. Já a temperatura do teto da carroceria (E2-1) aumentou durante todo o período em que o caminhão permaneceu parado e, quando comparada às demais superfícies externas, foi justamente a superfície que apresentou a maior temperatura, 56,8 °C.

Após a autorização para iniciar o descarregamento das mercadorias no terceiro estabelecimento, o caminhão se deslocou até o local de descarga e permaneceu ali durante toda a entrega. Por conveniência, o motorista optou por deixar o caminhão estacionado no mesmo local durante a quarta entrega, pois o estabelecimento estava localizado no mesmo

quarteirão que o estabelecimento anterior. Supostamente, o local onde o caminhão permaneceu parado durante a terceira e a quarta entrega proporcionou a ocorrência de sombra sobre parte da carroceria, mais especificamente em seu lado direito. Isto favoreceu a redução das temperaturas registradas pelos sensores E2-3 (superfície traseira), E2-4 (teto) e S2-2 (superfície lateral), todos localizados no lado direito da carroceria. Já os sensores E2-1 (teto) e E2-2 (superfície traseira), localizados na parte esquerda da carroceria, registraram um aumento de temperatura, indicando que esta região da carroceria estava exposta ao sol.

A partir do momento em que o caminhão voltou a se movimentar na rodovia para retornar ao centro de distribuição, as temperaturas externas voltaram a diminuir.

5.2. 2º dia de monitoração:

A Figura 19 refere-se à variação de temperatura identificada pelos sensores de abertura de portas dos compartimentos e o tempo está marcado tomando-se como ponto inicial a saída do centro de distribuição da empresa produtora dos alimentos transportados.

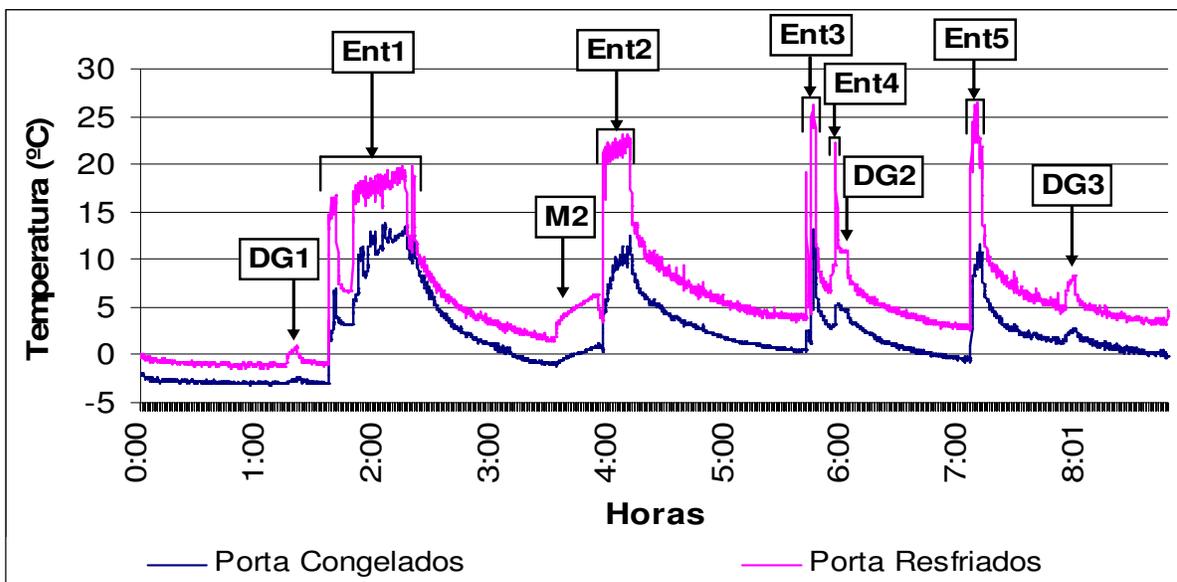


Figura 19 Histórico das temperaturas com a abertura de portas no 2º dia de monitoramento

Em 1h15min de monitoração, o primeiro degelo automático por gás quente ocorreu, momento em que a temperatura do ar interno de ambos os compartimentos sofreu uma elevação (indicado na figura como DG1).

Após 1h36min do início da monitoração foi realizada a primeira entrega de produtos, período indicado na Figura 19 como “Ent1”. Nesta entrega preocupou-se em fechar as portas da carroceria nos momentos de ociosidade. Diante disso, a porta de resfriados foi aberta 3 vezes, enquanto a de congelados foi aberta 4 vezes. Estas aberturas foram evidenciadas pelo aumento brusco de temperatura registrado por cada sensor de abertura de porta devido à entrada de ar quente do ambiente externo, o qual entrou em contato direto com os sensores.

Durante a primeira entrega, nos momentos em que a porta do compartimento de congelados estava fechada e a do compartimento de resfriados permanecia aberta, uma elevação da temperatura do ar do compartimento de congelados foi registrada. O fato é justificado pela existência da circulação de ar de uma câmara para a outra dentro da carroceria através das canaletas no piso e pelo ventilador instalado sobre a porta de congelados. O ar quente do ambiente externo entra no compartimento de congelados pelo piso ocasionando um aumento na temperatura do ar da câmara.

Durante toda esta primeira entrega, o motor do caminhão permaneceu desligado e, conseqüentemente, o sistema de refrigeração ficou inoperante enquanto ocorriam as aberturas de porta. Este é o procedimento correto para se realizar o descarregamento dos produtos. Será visto adiante que o fato de desligar o motor do caminhão durante estas aberturas de porta favoreceu a ocorrência de um menor número de degelos por gás quente em relação ao primeiro dia de monitoração, quando todas as aberturas de porta foram realizadas com o sistema de refrigeração funcionando.

A primeira entrega teve a duração de 44 minutos. Após o seu término, as portas da carroceria foram fechadas e o veículo seguiu em direção ao próximo estabelecimento para iniciar a segunda entrega. A segunda entrega ocorreu somente em 3h57min de monitoração, 1h37min após o final da primeira entrega. Parte deste período o caminhão permaneceu parado em frente ao local de descarregamento das mercadorias, até que o estabelecimento comercial autorizasse o início da entrega. O motorista achou conveniente desligar o motor do caminhão para economizar combustível durante alguns minutos deste tempo de espera. Ressalta-se que se evitou interferir na rotina de trabalho deste funcionário, pois o objetivo da monitoração era justamente verificar as condições operacionais reais do transporte de alimentos resfriados e congelados para que fosse possível avaliar corretamente os problemas encontrados ao longo

dos dias monitorados. Sendo assim, o sistema de refrigeração ficou inoperante por 22 minutos enquanto se esperava pela liberação do descarregamento dos produtos. Na Figura 19 este período está evidenciado por M2. Antes da parada do motor, a carroceria estava há 1h15min com as portas fechadas.

A segunda entrega ocorreu em 3h57min de monitoração e teve a duração de 14 minutos, período indicado na Figura 19 por “Ent2”. Ambas as portas da carroceria foram abertas, porém a de congelados foi aberta somente 10 minutos após a de resfriados e neste período a variação de temperatura percebida no compartimento de congelados se deve à existência da circulação de ar de um compartimento ao outro pelas canaletas no piso e pelo ventilador instalado sobre a porta de congelados, com a entrada da massa de ar quente pelo piso ocasionando um aumento na temperatura da câmara de congelados.

Ao final da segunda entrega, o caminhão seguiu em direção ao terceiro estabelecimento comercial. Neste período, a carroceria permaneceu 1h31min com as portas fechadas, o que favoreceu o trabalho do sistema de refrigeração para atuar na redução das temperaturas do ambiente interno da carroceria.

Em 5h42min de monitoração a terceira entrega ocorreu, período indicado na Figura 19 como “Ent3”. A entrega durou apenas 4 minutos e, neste caso, ambas as portas foram abertas, preocupando-se em fechá-las nos momentos de ociosidade. Assim, ambas foram abertas duas vezes. Terminada a entrega, o caminhão seguiu rumo ao próximo estabelecimento comercial e a quarta entrega ocorreu em 5h57min de monitoração, tendo a duração inferior a 1 minuto, período indicado na Figura 19 por “Ent4”. Esta entrega ocorreu durante o segundo degelo, como pode ser visto na Figura 19 pela variação de temperatura indicada por “DG2”.

Ao término da entrega, o caminhão seguiu em direção ao local da quinta entrega. A carroceria permaneceu fechada por 1h08min.

Em 7h06min a quinta entrega foi realizada e teve duração de 5 minutos, período indicado na Figura 19 por “Ent5”. Ao finalizar a quinta e última entrega, o caminhão seguiu em direção ao centro de distribuição com a carroceria vazia. Durante o trajeto, o terceiro degelo ocorreu em 7h54min de monitoração.

Na Figura 20, referente às variações de pressão no sistema de refrigeração, os momentos dos degelos e das paradas do motor são evidenciados.

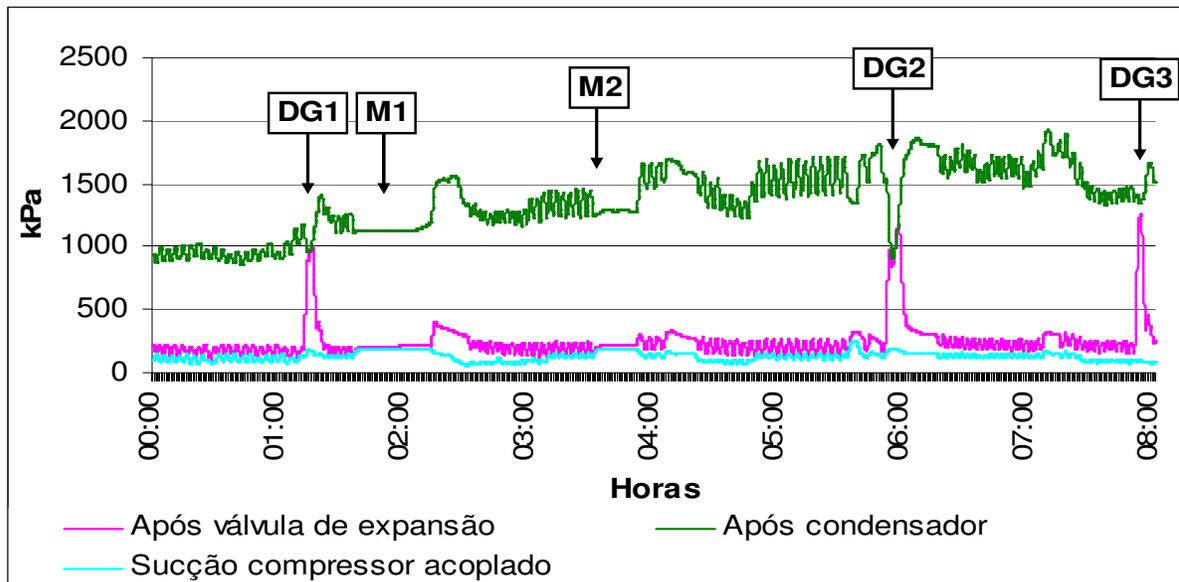


Figura 20 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 2º dia de monitoramento

A pressão do refrigerante observada após a válvula de expansão apresentou elevações bruscas nos pontos 1h15min, 5h54min e 7h54min, atingindo valores próximos ao da pressão do refrigerante após a saída do condensador, indicando os momentos exatos do início do processo de degelo por gás quente. O fato de se desligar o motor do caminhão durante as aberturas de porta na primeira entrega (M1) favoreceu a ocorrência de um menor número de degelos por gás quente durante o dia, como pode ser visto na Figura 20, onde o intervalo entre o primeiro e o segundo degelo foi bem maior que o presenciado entre o segundo e o terceiro degelo, quando as entregas foram realizadas com o motor funcionando.

Na Figura 21, referente às temperaturas nos pontos monitorados do sistema de refrigeração, é possível verificar também os momentos dos degelos pelo aumento brusco da temperatura na linha de refrigerante logo após a válvula de expansão em cada momento.

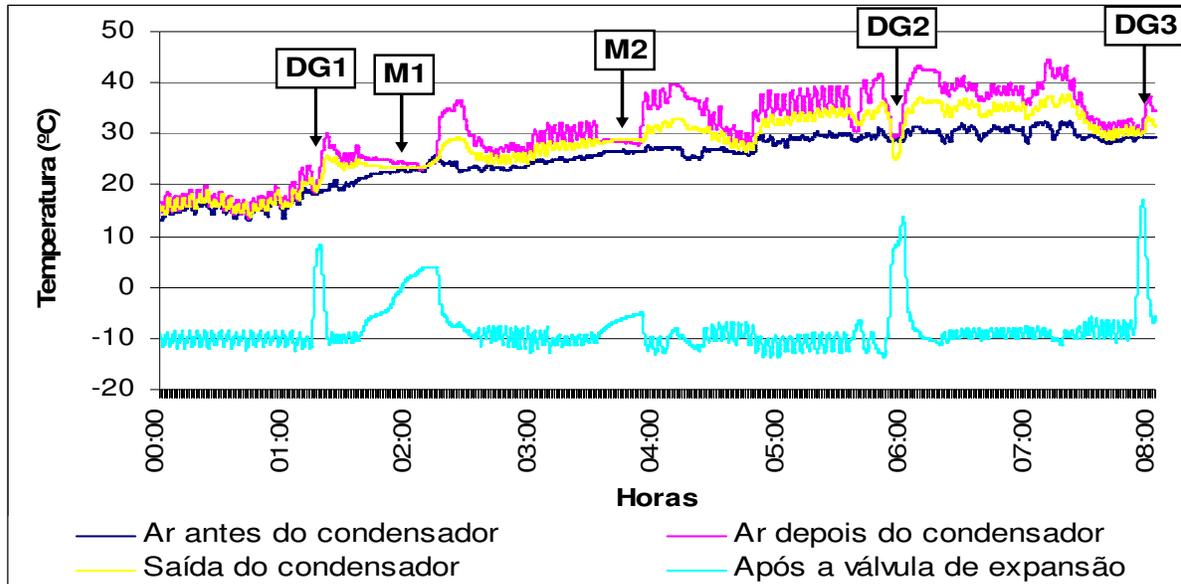


Figura 21 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 2º dia de monitoramento

A Figura 22 ilustra a variação da temperatura interna da carroceria no compartimento de resfriados nos pontos monitorados, sendo mostrados os resultados obtidos por somente alguns dos sensores devido à semelhança encontrada nos registros de temperatura dos diferentes sensores. Assim, alguns destes sensores foram omitidos nesta discussão, mas a totalidade dos dados obtidos nas monitorações encontra-se nos anexos deste trabalho.

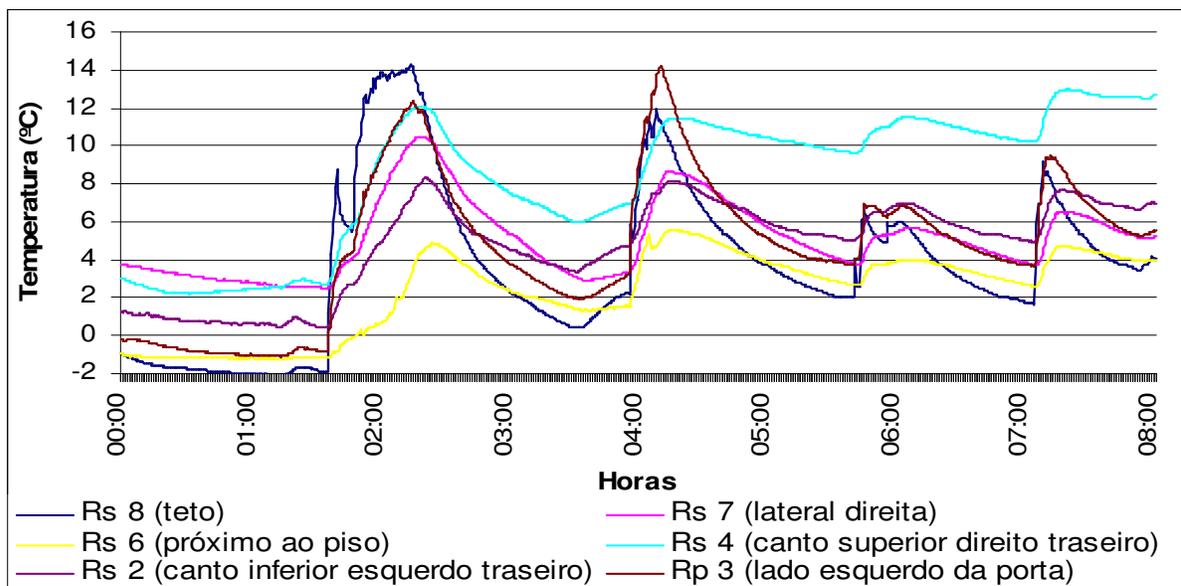


Figura 22 Histórico das temperaturas internas do compartimento de resfriados no 2º dia de monitoramento.

Os sensores da Figura 22 registraram as oscilações de temperatura do ar próximo às superfícies internas do compartimento ao longo de todo o dia. Em 1h15min de monitoração verificou-se o primeiro degelo automático por gás quente. Imediatamente antes da abertura da porta de resfriados na primeira entrega os sensores RS2, RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 indicaram que a temperatura do ar próximo a eles era de -0,4 °C, 2,7 °C, -1,2 °C, 2,5 °C, -1,9 °C e -0,8 °C, respectivamente ($\bar{T} = 0,4 \pm 2,3$ °C). Quando a porta de resfriados foi aberta na primeira entrega, o efeito da entrada de carga térmica proveniente do ar quente do ambiente externo provocou uma elevação da temperatura interna em todos os pontos monitorados do compartimento de resfriados. As máximas temperaturas registradas por estes sensores foram de 8,3 °C, 12,1 °C, 4,9 °C, 10,5 °C, 14,3 °C e 12,4 °C ($\bar{T} = 9,6 \pm 4,7$ °C). Durante toda esta primeira entrega o motor do caminhão permaneceu desligado (M1).

Após as portas terem sido fechadas e o motor ter sido religado, o caminhão seguiu rumo ao segundo estabelecimento comercial. Assim, durante 1h15min o sistema de refrigeração realizou uma redução da temperatura do ar do compartimento de resfriados, período compreendido entre o final da primeira entrega e o início da segunda parada do motor do caminhão (M2). As temperaturas registradas pelos mesmos sensores no momento imediatamente anterior à segunda parada de motor foram de 3,3 °C, 6,0 °C, 1,3 °C, 2,9 °C, 0,4 °C e 1,9 °C ($\bar{T} = 3,2 \pm 2,8$ °C).

Com a parada do motor do caminhão pelo motorista, com o objetivo de economizar combustível durante a espera pela autorização para o início da segunda entrega, a temperatura do ar do ambiente interno do compartimento de resfriados sofreu variações. Os valores máximos registrados pelos sensores RS2, RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 foram 4,7 °C, 6,9 °C, 1,6 °C, 3,3 °C, 2,3 °C, 3,2 °C, respectivamente ($\bar{T} = 4,3 \pm 2,7$ °C).

Durante a segunda entrega, as temperaturas voltaram a subir e os sensores registraram os valores máximos de 8,1 °C, 11,4 °C, 5,6 °C, 8,6 °C, 12,0 °C, 14,2 °C ($\bar{T} = 9,9 \pm 4,3$ °C).

Ao final da segunda entrega, o caminhão seguiu em direção ao terceiro estabelecimento comercial e, até que a terceira entrega ocorresse, a carroceria permaneceu 1h31min com as portas fechadas, o que favoreceu o trabalho do sistema de refrigeração para atuar na redução das temperaturas do ambiente interno da carroceria. Porém, mesmo com

muito tempo disponível, o sistema não foi capaz de reduzir as temperaturas aos valores encontrados inicialmente antes da primeira entrega do dia. Após este período de 1h31min a temperatura registrada pelos sensores RS2, RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 imediatamente antes da terceira entrega foi de 5,0 °C, 9,6 °C, 2,7 °C, 3,8 °C, 2,0 °C e 3,8 °C, respectivamente ($\bar{T} = 5,8 \pm 3,8$ °C). A diferença de temperatura verificada em cada ponto monitorado por estes sensores entre o instante imediatamente anterior à terceira entrega e o instante imediatamente anterior à primeira entrega foi de 5,4 °C, 6,9 °C, 3,9 °C, 1,3 °C, 3,9 °C, 4,6 °C ($\Delta\bar{T} = 4,1 \pm 2,8$ °C).

Na terceira entrega os sensores RS2, RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 verificaram, respectivamente, as seguintes temperaturas máximas: 6,5 °C, 11,0 °C, 3,8 °C, 5,3 °C, 6,8 °C, 7,0 °C ($\bar{T} = 7,4 \pm 3,6$ °C). Após atingir estes valores durante a terceira entrega, as temperaturas variaram pouco durante o percurso até o quarto estabelecimento comercial e durante a quarta entrega, quando o segundo degelo ocorreu. Já quando ocorreu a quinta entrega, observou-se uma nova elevação de temperatura, de modo que os mesmos sensores registraram as máximas temperaturas de 7,7 °C, 13,0 °C, 4,7 °C, 6,5 °C, 9,2 °C, 9,5 °C ($\bar{T} = 8,9 \pm 4,2$ °C).

Após o terceiro degelo o caminhão chegou ao centro de distribuição. Os sensores RS2, RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 indicaram que os valores finais das temperaturas do dia eram respectivamente 6,0 °C, 12,0 °C, 3,1 °C, 3,7 °C, 2,1 °C, 4,1 °C ($\bar{T} = 7,1 \pm 5,0$ °C). Assim, a diferença de temperatura verificada em cada ponto monitorado por estes sensores entre a chegada ao centro de distribuição e o instante imediatamente anterior à primeira entrega foi de 6,4 °C, 9,3 °C, 4,3 °C, 1,2 °C, 4,0 °C, 4,9 °C ($\Delta\bar{T} = 5,2 \pm 4,0$ °C).

Na Figura 23 pode-se analisar a variação da temperatura interna da carroceria no compartimento de congelados nos pontos monitorados, sendo mostrados os dados obtidos por apenas alguns dos sensores instalados. Novamente, como feito na discussão dos dados referentes ao compartimento de resfriados, alguns sensores foram omitidos nesta discussão devido à semelhança encontrada nos registros de temperatura dos diversos sensores, mas os demais resultados obtidos nas monitorações encontram-se nos anexos deste trabalho.

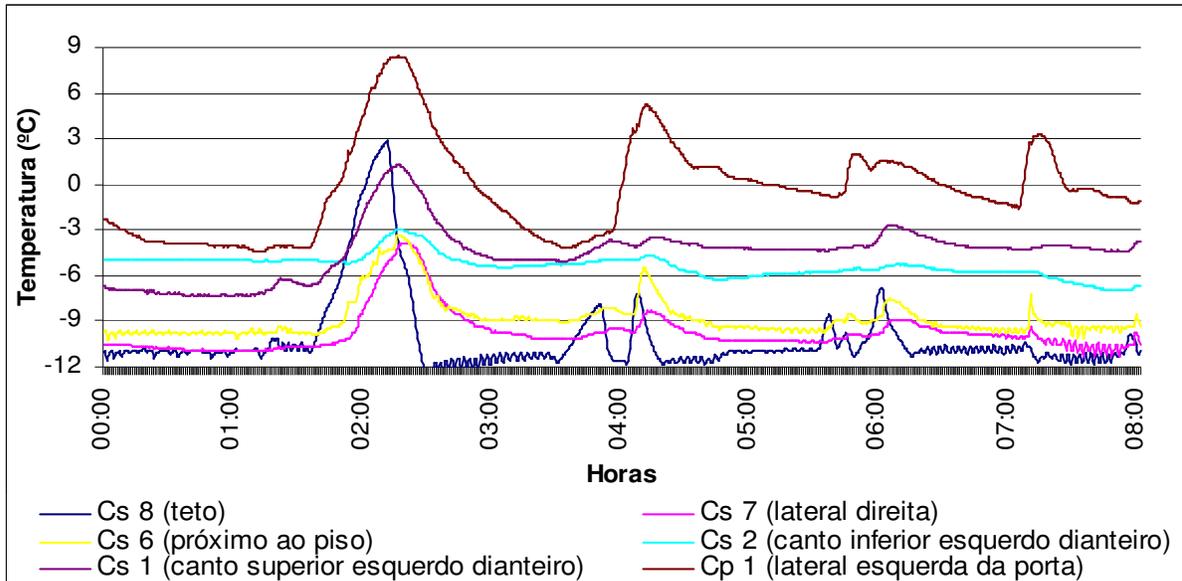


Figura 23 Histórico das temperaturas internas do compartimento de congelados no 2º dia de monitoramento.

Os sensores registraram as oscilações de temperatura do ar próximo às superfícies internas do compartimento de congelados ao longo de todo o dia. Imediatamente antes da abertura da porta de congelados na primeira entrega os sensores CS1, CS2, CS6, CS7, CS8 e CP1 indicaram que a temperatura do ar próximo a eles era de $-6,7\text{ °C}$, $-5,1\text{ °C}$, $-9,9\text{ °C}$, $-10,7\text{ °C}$, $-11,1\text{ °C}$, $-4,2\text{ °C}$, respectivamente ($\bar{T} = -7,6 \pm 3,5\text{ °C}$). Quando a porta de congelados foi aberta na primeira entrega, a entrada de carga térmica proveniente do ar quente e úmido do ambiente externo provocou uma elevação da temperatura interna em todos os pontos monitorados do compartimento de congelados. As máximas temperaturas registradas por estes sensores foram de $1,3\text{ °C}$, $-3,0\text{ °C}$, $-3,3\text{ °C}$, $-3,9\text{ °C}$, $2,9\text{ °C}$, $8,5\text{ °C}$ ($\bar{T} = 2,3 \pm 6,2\text{ °C}$). Durante a primeira entrega, nos momentos em que a porta do compartimento de congelados estava fechada e a do compartimento de resfriados permanecia aberta, uma elevação da temperatura do ar do compartimento de congelados foi registrada. O fato é justificado pela existência da circulação de ar de uma câmara para a outra dentro da carroceria através das canaletas no piso e pelo ventilador instalado sobre a porta de congelados. O ar quente do ambiente externo entrava no compartimento de congelados pelo piso ocasionando um aumento na temperatura do ar da câmara. Durante toda esta primeira entrega o motor do caminhão permaneceu desligado (M1).

Encerrada a entrega, as portas foram fechadas e o motor foi religado. O caminhão seguiu em direção ao segundo estabelecimento comercial e durante 1h15min o sistema de refrigeração realizou uma redução da temperatura do ar do compartimento de congelados, período compreendido entre o final da primeira entrega e o início da segunda parada do motor do caminhão (M2). As temperaturas registradas pelos sensores CS1, CS2, CS6, CS7, CS8 e CP1 no momento imediatamente anterior à segunda parada de motor foram de -5,1 °C, -5,2 °C, -9,1 °C, -10,2 °C, -11,8 °C, -4,2 °C, respectivamente ($\bar{T} = -8,0 \pm 3,8$ °C).

Visando economizar combustível durante a espera pela autorização para o início da segunda entrega, o motorista optou por desligar o motor do caminhão (M2), o que resultou na inoperância do sistema de refrigeração. Assim, a temperatura do ar do ambiente interno do compartimento de congelados sofreu variações. Os valores máximos registrados pelos sensores CS1, CS2, CS6, CS7, CS8 e CP1 foram -3,7 °C, -5,0 °C, -8,1 °C, -9,5 °C, -7,9 °C, -2,9 °C, respectivamente ($\bar{T} = -6,2 \pm 3,3$ °C).

Iniciada a segunda entrega, novamente as temperaturas subiram e foram registrados pelos mesmos sensores os valores máximos de -3,5 °C, -4,7 °C, -5,5 °C, -8,3 °C, -7,2 °C, 5,3 °C ($\bar{T} = -1,5 \pm 6,8$ °C).

Finalizada a segunda entrega, o caminhão seguiu ao terceiro local de entrega. A carroceria permaneceu 1h31min com as portas fechadas até que a nova entrega ocorresse, o que favoreceu o trabalho do sistema de refrigeração para atuar na redução das temperaturas do ambiente interno da carroceria. Após este período de 1h31min a temperatura registrada pelos sensores CS1, CS2, CS6, CS7, CS8 e CP1 imediatamente antes da terceira entrega foi de -4,4 °C, -5,9 °C, -9,7 °C, -10,4 °C, -11,3 °C, -0,8 °C, respectivamente ($\bar{T} = -6 \pm 5,3$ °C). A diferença de temperatura verificada em cada ponto monitorado por estes sensores entre o instante imediatamente anterior à terceira entrega e o instante imediatamente anterior à primeira entrega foi de 2,3 °C, -0,8 °C, 0,2 °C, 0,3 °C, -0,2 °C, 3,4 °C ($\Delta\bar{T} = 1,3 \pm 2,1$ °C).

Na terceira entrega, estes sensores verificaram as temperaturas máximas -3,9 °C, -5,5 °C, -8,5 °C, -9,9 °C, -8,6 °C, 2,0 °C ($\bar{T} = -3,9 \pm 6,0$ °C). Durante a quarta entrega, quando o segundo degelo ocorreu, as temperaturas máximas registradas pelos mesmos sensores foram -2,7 °C, -5,2 °C, -7,5 °C, -8,9 °C, -6,8 °C, 1,6 °C ($\bar{T} = -3,6 \pm 5,3$ °C).

Na quinta entrega, observaram-se novas elevações de temperatura, de modo que esses sensores registraram as máximas temperaturas de $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-5,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-9,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\bar{T} = -3,5 \pm 6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Após o terceiro degelo o caminhão chegou ao centro de distribuição. Os sensores CS1, CS2, CS6, CS7, CS8 e CP1 indicaram que os valores finais das temperaturas do dia eram respectivamente $-4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-9,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-11,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-11,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\bar{T} = -6,9 \pm 4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$). Assim, a diferença de temperatura verificada em cada ponto monitorado por estes sensores entre a chegada ao centro de distribuição e o instante imediatamente anterior à primeira entrega foi de $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente ($\Delta\bar{T} = 0,0 \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

De acordo com a Figura 24, a maior diferença de temperatura observada entre o ar de retorno e o de insuflamento ocorreu durante a primeira entrega. Porém esta interpretação é enganosa, pois durante este período, o motor do caminhão encontrava-se desligado (M1), ou seja, o sistema de refrigeração estava inoperante, de modo que não havia ar sendo insuflado do evaporador. Porém, os sensores responsáveis pela aquisição destes dados estavam funcionando normalmente, independentemente da parada do motor.

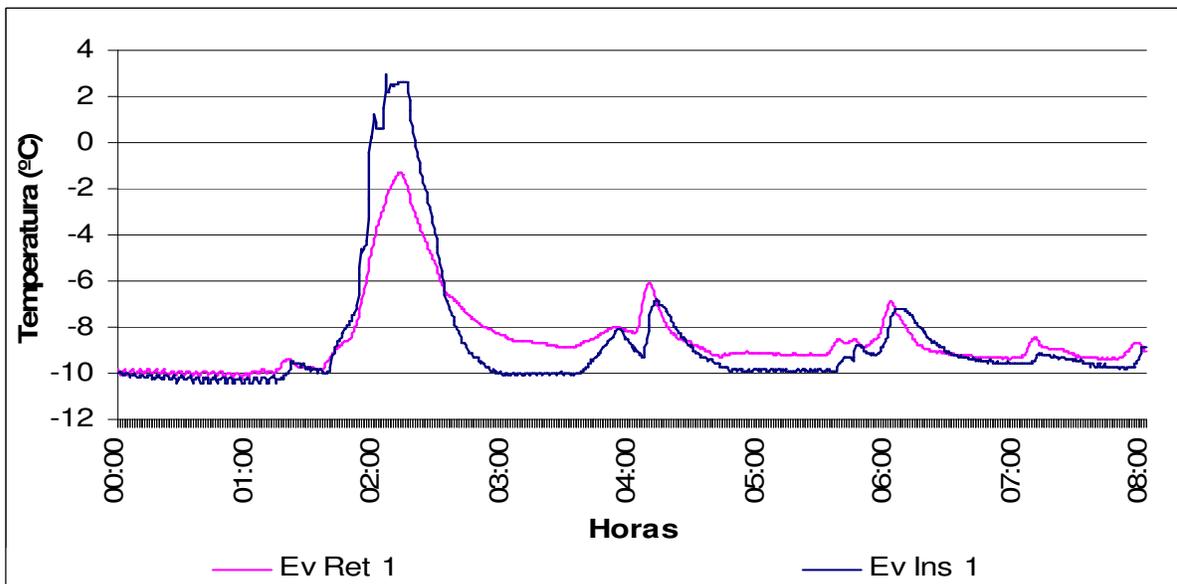


Figura 24 Histórico das temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento no 2º dia de monitoramento

Quando a primeira entrega foi finalizada e o motor foi religado, o sistema de refrigeração voltou a funcionar e o evaporador voltou a insuflar ar no interior da carroceria.

Durante o deslocamento entre o primeiro e o segundo local de entrega, a diferença entre a temperatura do ar de retorno e a do de insuflamento oscilou entre 1,0 °C e 1,4 °C. Quando o motor foi novamente desligado (M2) os dados gerados não puderam mais ser utilizados, uma vez que novamente não havia ar de insuflamento durante o período de inoperância do sistema de refrigeração.

Assim, as entregas que apresentaram as maiores diferenças reais de temperatura entre estas duas variáveis foram a segunda e a quinta entrega, respectivamente 1,8 °C e 1,3 °C.

De acordo com a Figura 25 e a Figura 26, das 6 superfícies externas, o piso da carroceria (E1-3) foi novamente o que apresentou maior temperatura durante o percurso pela rodovia do centro de distribuição ao local da primeira entrega.

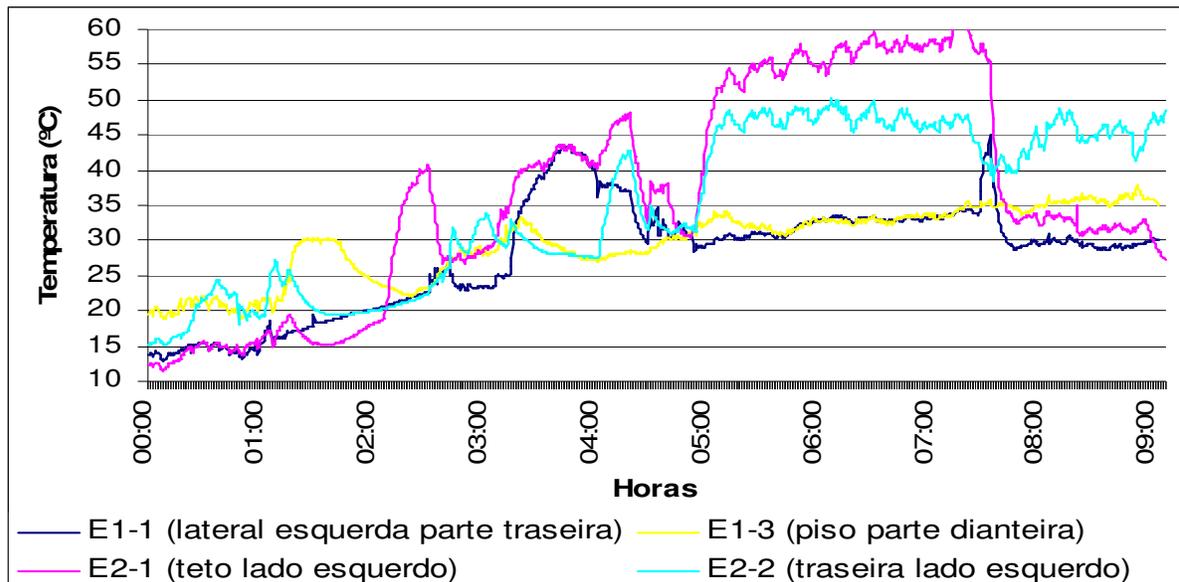


Figura 25 Histórico das temperaturas externas do teto, da lateral esquerda, do piso e da traseira da carroceria no 2º dia de monitoramento

O caminhão permanecia parado próximo aos locais de descarregamento esperando pela autorização, de modo que a maior parte do tempo o veículo ficou parado, seja durante as entregas ou aguardando a liberação da carga nos diversos clientes. A carroceria ficava exposta diretamente ao sol e, não havendo circulação de ar externo suficiente para auxiliar na redução da temperatura das superfícies externas da carroceria e as superfícies externas que recebiam a maior incidência de radiação solar apresentavam as maiores temperaturas.

A superfície lateral direita (S2-2) apresentou uma elevação de temperatura a partir da espera pela autorização de descarregamento no terceiro estabelecimento comercial devido ao fato de o caminhão permanecer parado com esta superfície exposta diretamente à radiação solar. A elevação de temperatura continuou durante a espera pelas outras duas entregas e somente houve início de redução da temperatura quando a última entrega foi finalizada, momento em que o caminhão voltou a se deslocar rumo à rodovia para retornar ao centro de distribuição. Esta redução da temperatura da superfície lateral direita (S2-2) ao final das entregas pode ser visualizada na Figura 26 a partir de 7h11min de monitoração. As temperaturas do teto da carroceria (E2-1 e E2-4) e da superfície traseira (E2-2 e E2-3) também aumentaram durante todo o período em que o caminhão permaneceu parado e verificou-se que as temperaturas registradas pelos sensores E2-1 e E2-4, ambos localizados no teto da carroceria, foram semelhantes. Isto indica que a superfície foi exposta uniformemente ao sol. O mesmo foi verificado com as temperaturas registradas pelos sensores E2-2 e E2-3 (localizados na superfície traseira).

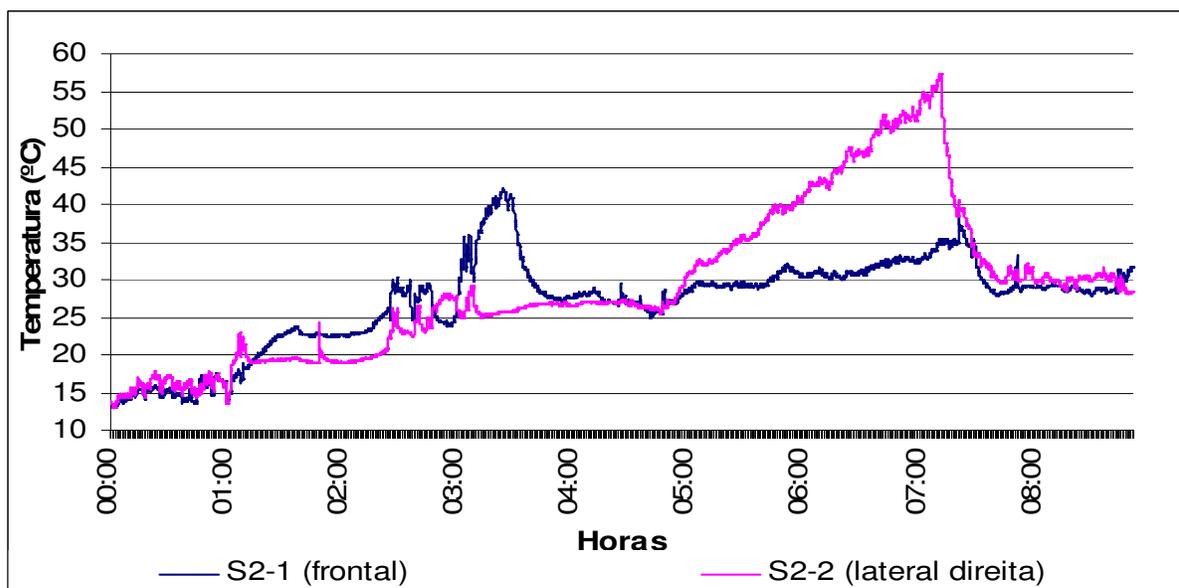


Figura 26 Temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 2º dia de monitoramento

5.3.3º dia de monitoração:

A Figura 27 refere-se à variação de temperatura identificada pelos sensores de abertura de portas de ambos os compartimentos. Na abscissa, o tempo está marcado tomando-se como ponto inicial o momento da saída do centro de distribuição da empresa produtora dos alimentos transportados.

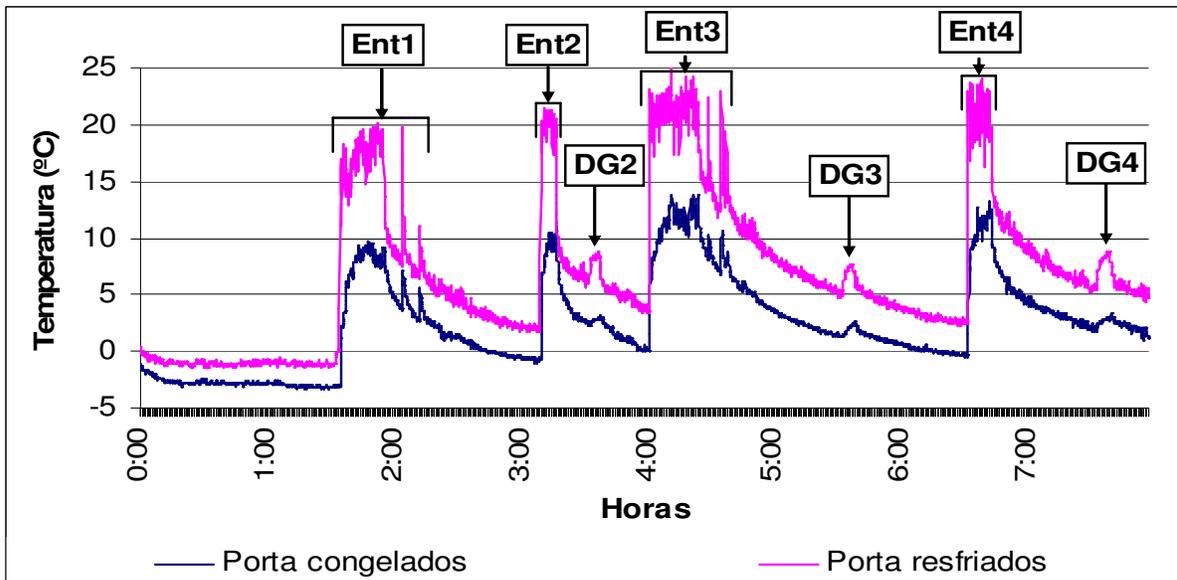


Figura 27 Histórico das temperaturas com a abertura de portas no 3º dia de monitoramento

Em 1h32min de monitoração, o primeiro degelo automático por gás quente ocorreu. Este acontecimento não é claramente visualizado na figura, pois logo em seguida, em 1h34min de monitoração, a primeira entrega foi iniciada, de modo que as variações bruscas de temperatura registradas pelos sensores de porta devido à entrada de ar quente do ambiente externo dificultaram a identificação do momento do início do degelo. Porém em outras figuras este fenômeno poderá ser visualizado.

A primeira entrega, que teve duração de 38 minutos, está indicada na Figura 27 por “Ent1”. Durante esta etapa, as portas da carroceria permaneciam fechadas nos momentos de ociosidade, de modo que ambas foram abertas três vezes. A de congelados foi aberta pela primeira vez somente 9 minutos após a de resfriados ter sido aberta. Assim, como já comentado anteriormente, no momento em que a porta do compartimento de congelados estava fechada e a do compartimento de resfriados permanecia aberta, uma elevação da temperatura do ar do compartimento de congelados foi registrada devido à existência da

circulação de ar de uma câmara para a outra dentro da carroceria através das canaletas no piso e pelo ventilador instalado sobre a porta de congelados. O ar quente do ambiente externo entrava no compartimento de congelados pelo piso ocasionando um aumento na temperatura do ar da câmara.

Terminada a entrega, o veículo seguiu para o próximo estabelecimento para iniciar o segundo descarregamento, 57 minutos após o final da primeira entrega. A maior parte deste período o caminhão permaneceu parado em frente ao local de descarregamento das mercadorias, até que o estabelecimento comercial autorizasse o início da entrega. A segunda entrega ocorreu em 3h09min de monitoração e teve a duração de 7 minutos, período indicado na Figura 27 por “Ent2”.

Ao final da segunda entrega, o caminhão seguiu em direção ao terceiro estabelecimento comercial e, durante este período de 44 minutos, o segundo degelo (DG2) ocorreu em 3h32min de monitoração.

Em 4h00min de monitoração a terceira entrega ocorreu, período indicado na Figura 27 como “Ent3”. A entrega durou 37 minutos e ambas as portas foram abertas, preocupando-se em fechá-las nos momentos de ociosidade. A porta de resfriados foi aberta três vezes, enquanto que a de congelados apenas uma vez, juntamente com a primeira abertura da de resfriados. Novamente, devido ao efeito da circulação de ar de uma câmara para a outra pelas canaletas no piso e pelo ventilador sobre a porta de congelados, o ar quente do ambiente externo entrava no compartimento de congelados ocasionando um aumento na temperatura do ar da câmara durante os momentos em que a porta de congelados permanecia fechada e a de resfriados aberta.

No período de 1h54min entre o final da terceira e o começo da quarta entrega o terceiro degelo ocorreu (DG3), em 5h32min de monitoração. A quarta entrega ocorreu em 6h31min de monitoração, tendo a duração 11 minutos, período indicado na Figura 27 por “Ent4”.

Ao finalizar a quarta e última entrega, o caminhão seguiu em direção ao centro de distribuição com a carroceria vazia. Durante o trajeto, o quarto degelo ocorreu em 7h32min de monitoração.

Todas as entregas do dia foram realizadas com o motor do caminhão funcionando, ou seja, durante as aberturas de porta o sistema de refrigeração estava operante.

Na Figura 28, referente às variações de pressão no sistema de refrigeração, os momentos dos degelos são evidenciados.

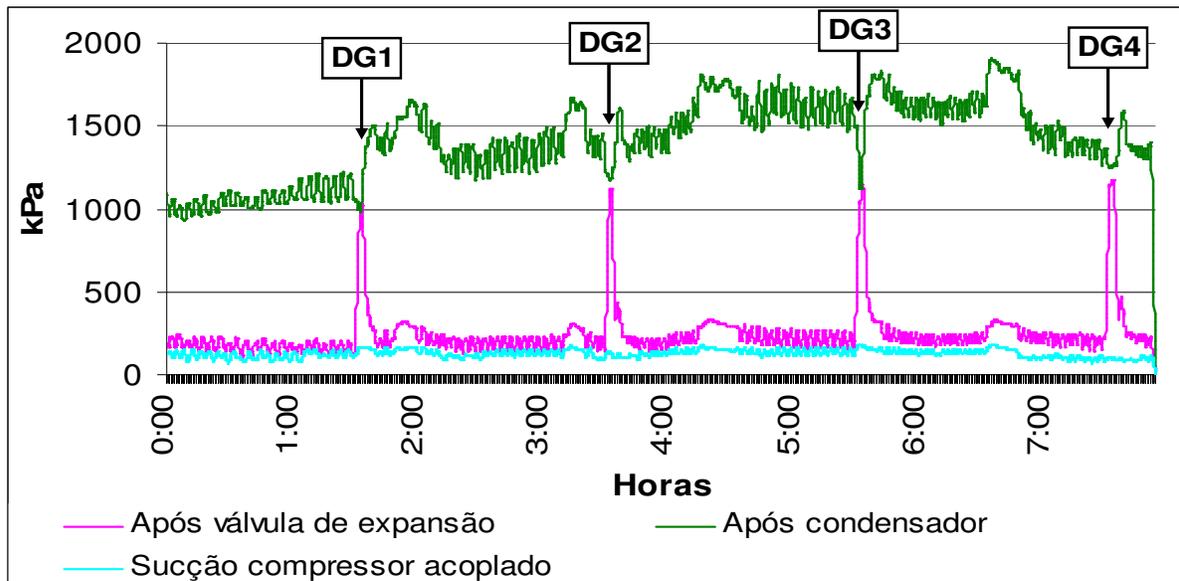


Figura 28 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 3º dia de monitoramento

Os degelos evidenciados neste dia de monitoração podem ser visualizados na Figura 28 pelas elevações instantâneas da pressão do refrigerante observada após a válvula de expansão nos pontos 1h32min, 3h32min, 5h32min e 7h32min, atingindo valores próximos ao da pressão do refrigerante após a saída do condensador.

Na Figura 29 é possível verificar os momentos dos degelos pelo aumento brusco da temperatura na linha de refrigerante logo após a válvula de expansão em cada momento.

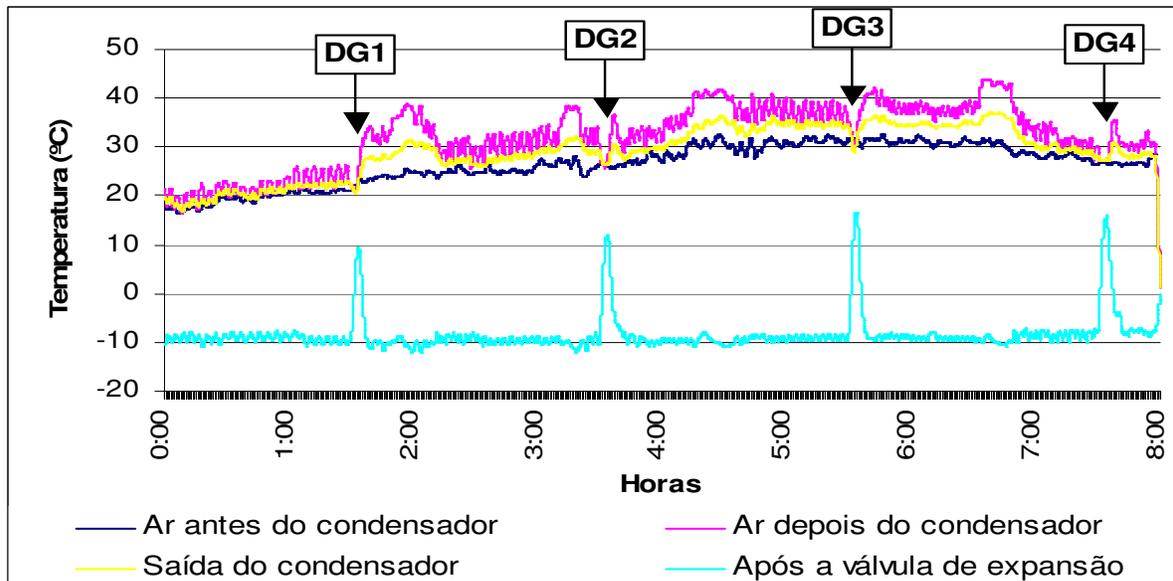


Figura 29 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 3º dia de monitoramento

A variação da temperatura interna do compartimento de resfriados pode ser identificada na Figura 30. Neste dia dois sensores do compartimento de resfriados não puderam ser ligados antes da saída do centro de distribuição. Os sensores RS2 e RS3 não foram utilizados neste dia devido ao fato de a carroceria ter sido carregada com muitas caixas de produtos resfriados colocadas sobre o piso próximos aos dois sensores, de modo que foi inviável alcançar os dois sensores para ligá-los manualmente no início do dia.

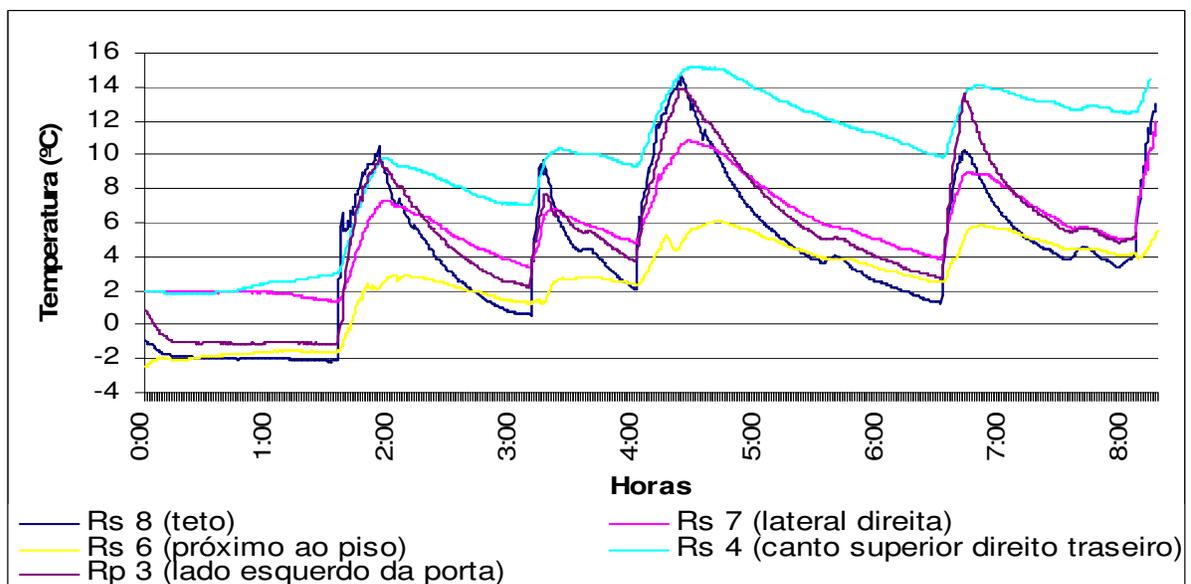


Figura 30 Histórico das temperaturas internas do compartimento de resfriados 3º dia

Imediatamente antes da abertura da porta de resfriados na primeira entrega os sensores RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 indicaram que a temperatura do ar próximo a eles era de 3,0 °C, -1,6 °C, 1,4 °C, -2,1 °C e -1,1 °C, respectivamente ($\bar{T} = 0,5 \pm 2,6$ °C).

Com a abertura da porta de resfriados, o efeito da entrada de carga térmica proveniente do ar quente do ambiente externo provocou uma elevação da temperatura interna em todos os pontos monitorados do compartimento de resfriados. As máximas temperaturas registradas por estes sensores foram de 9,8 °C, 2,9 °C, 7,3 °C, 10,5 °C e 9,8 °C, respectivamente ($\bar{T} = 6,7 \pm 3,8$ °C).

Durante 57 minutos, o sistema de refrigeração realizou uma redução da temperatura do ar do compartimento de resfriados, período compreendido entre o final da primeira e o início da segunda entrega. As temperaturas registradas pelos sensores RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 no momento imediatamente anterior à segunda entrega foram de 7,1 °C, 1,2 °C, 3,4 °C, 0,5 °C e 2,2 °C, respectivamente ($\bar{T} = 3,8 \pm 3,3$ °C).

Durante a segunda entrega, as temperaturas voltaram a subir, registrando-se os valores máximos de 10,4 °C, 2,8 °C, 6,8 °C, 9,7 °C e 7,7 °C, respectivamente ($\bar{T} = 6,6 \pm 3,8$ °C).

Ao final da entrega, o caminhão seguiu em direção ao terceiro estabelecimento comercial e a temperatura registrada pelos sensores RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 imediatamente antes da terceira entrega foi de 9,3 °C, 2,3 °C, 4,8 °C, 2,1 °C e 3,8 °C, respectivamente ($\bar{T} = 5,7 \pm 3,6$ °C). A diferença de temperatura verificada em cada ponto monitorado por estes sensores entre o instante imediatamente anterior à terceira entrega e o instante imediatamente anterior à primeira entrega foi de 6,3 °C, 3,9 °C, 3,4 °C, 4,2 °C e 4,9 °C, respectivamente ($\Delta\bar{T} = 4,9 \pm 1,5$ °C).

Na terceira entrega os sensores RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 verificaram as seguintes temperaturas máximas: 15,2 °C, 6,1 °C, 10,9 °C, 14,7 °C e 13,9 °C, respectivamente ($\bar{T} = 10,7 \pm 4,6$ °C).

Imediatamente antes da ocorrência da quarta entrega os sensores RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 registraram, respectivamente, 9,8 °C, 2,5 °C, 3,9 °C, 1,2 °C e 2,7 °C ($\bar{T} = 5,5 \pm 4,3$ °C). A diferença de temperatura verificada entre o instante imediatamente anterior à quarta entrega e

o instante imediatamente anterior à primeira entrega foi de 6,8 °C, 4,1 °C, 2,5 °C, 3,3 °C e 3,8 °C, respectivamente ($\bar{\Delta T} = 4,7 \pm 2,2$ °C).

Na quarta entrega os sensores RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 verificaram as seguintes temperaturas máximas: 14,1 °C, 5,9 °C, 9,0 °C, 10,3 °C e 13,6 °C, respectivamente ($\bar{T} = 10,0 \pm 4,1$ °C).

Os sensores RS4, RS6, RS7, RS8 e RP3 indicaram que os valores finais das temperaturas do dia eram respectivamente 12,4 °C, 3,9 °C, 5,1 °C, 3,4 °C e 4,8 °C ($\bar{T} = 7,9 \pm 4,5$ °C). Assim, a diferença de temperatura verificada em cada ponto monitorado por estes sensores entre a chegada ao centro de distribuição e o instante imediatamente anterior à primeira entrega foi de 9,4 °C, 5,5 °C, 3,7 °C, 5,5 °C e 5,9 °C, respectivamente ($\bar{\Delta T} = 6,6 \pm 2,9$ °C).

Na Figura 31 pode-se visualizar a variação da temperatura do ar no compartimento de congelados. O sensor CS6 apresentou falhas na sua inicialização e, portanto, não registrou as temperaturas neste dia.

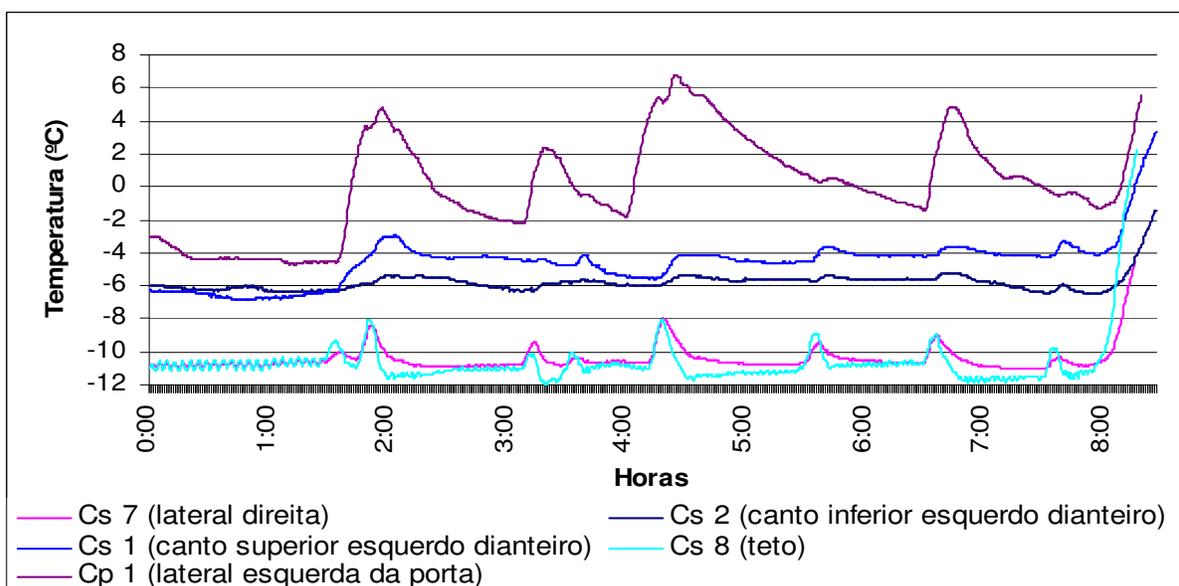


Figura 31 Histórico das temperaturas internas do compartimento de congelados 3º dia

Imediatamente antes do início da primeira entrega os sensores CS1, CS2, CS7, CS8 e CP1 indicaram que a temperatura do ar próximo a eles era de -6,4 °C, -6,2 °C, -10,4 °C, -10,7 °C e -4,5 °C, respectivamente ($\bar{T} = -7,6 \pm 3,1$ °C).

Durante a primeira entrega, uma elevação da temperatura interna em todos os pontos monitorados do compartimento de congelados foi verificada. As máximas temperaturas registradas por estes sensores foram de -2,9 °C, -5,4 °C, -8,5 °C, -8,1 °C e 4,8 °C, respectivamente ($\bar{T} = -1,8 \pm 6,7$ °C).

O sistema de refrigeração realizou uma redução da temperatura do ar do compartimento de congelados ao longo do período compreendido entre o final da primeira e o início da segunda entrega, que teve duração 57 minutos. As temperaturas registradas pelos sensores CS1, CS2, CS7, CS8 e CP1 no momento imediatamente anterior à segunda entrega foram de -4,5 °C, -6,3 °C, -10,8 °C, -11,0 °C e -2,2 °C, respectivamente ($\bar{T} = -6,6 \pm 4,4$ °C). Durante a segunda entrega, registraram-se os valores máximos de -4,4 °C, -5,8 °C, -9,4 °C, -10,2 °C e 2,3 °C, respectivamente ($\bar{T} = -3,9 \pm 6,3$ °C).

O caminhão seguiu em direção ao terceiro estabelecimento comercial e a temperatura registrada pelos sensores CS1, CS2, CS7, CS8 e CP1 imediatamente antes da terceira entrega foi de -5,4 °C, -6,0 °C, -10,6 °C -10,8 °C e -1,7 °C, respectivamente ($\bar{T} = -6,3 \pm 4,6$ °C). A diferença de temperatura verificada em cada ponto monitorado por estes sensores entre o instante imediatamente anterior à terceira entrega e o instante imediatamente anterior à primeira entrega foi de 1,0 °C, 0,2 °C, -0,2 °C, -0,1 °C e 2,8 °C, respectivamente ($\Delta\bar{T} = 1,3 \pm 1,5$ °C). Na terceira entrega os mesmos sensores verificaram, respectivamente, as seguintes temperaturas máximas: -4,1 °C, -5,4 °C, -8,0 °C, -8,0 °C e 6,8 °C ($\bar{T} = -0,6 \pm 7,4$ °C).

Imediatamente antes da ocorrência da quarta entrega os sensores CS1, CS2, CS7, CS8 e CP1 registraram, respectivamente, -4,2 °C, -5,6 °C, -10,8 °C, -10,8 °C e -1,2 °C ($\bar{T} = -6,0 \pm 4,8$ °C). A diferença de temperatura verificada entre o instante imediatamente anterior à quarta entrega e o instante imediatamente anterior à primeira entrega foi de 2,2 °C, 0,6 °C, -0,4 °C, -0,1 °C, 3,3 °C, respectivamente ($\Delta\bar{T} = 1,5 \pm 1,9$ °C). Na quarta entrega estes sensores verificaram, respectivamente, as seguintes temperaturas máximas: -3,6 °C, -5,3 °C, -9,1 °C, -9,1 °C e 4,8 °C ($\bar{T} = -2,1 \pm 7,0$ °C).

Os sensores CS1, CS2, CS7, CS8 e CP1 indicaram que os valores das temperaturas ao final do dia eram respectivamente $-4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-11,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\bar{T} = -6,4 \pm 5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$). Assim, a diferença de temperatura verificada em cada ponto monitorado por estes sensores entre a chegada ao centro de distribuição e o instante imediatamente anterior à primeira entrega foi de, respectivamente, $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\Delta\bar{T} = 1,2 \pm 2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Todas as entregas do dia foram realizadas com o motor do caminhão ligado, ou seja, durante as aberturas das portas o sistema de refrigeração estava funcionando normalmente.

A temperatura do ar de retorno e do de insuflamento variaram durante a monitoração conforme indicado pela Figura 32.

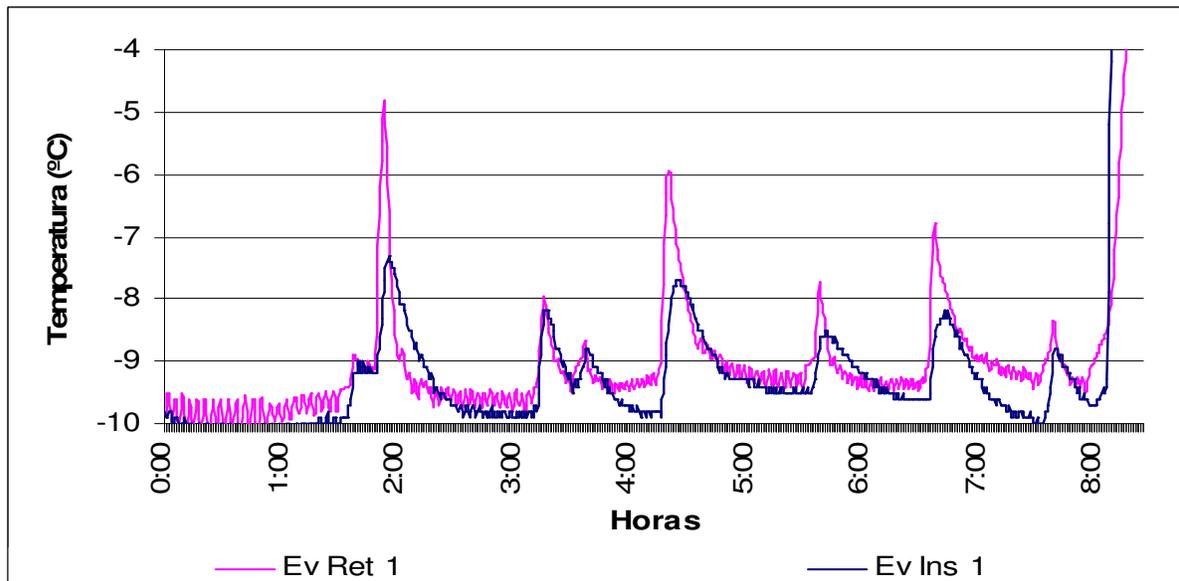


Figura 32 Histórico das temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento 3º dia

Durante a primeira entrega, o ar de retorno chegou a atingir o valor máximo de $-4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, momento que a diferença entre a temperatura do ar de retorno e a de insuflamento atingiu $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na terceira entrega, o ar de retorno chegou a um valor menor, porém ainda alto, de $-5,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Neste momento, a diferença entre os valores da temperatura do ar de retorno e do de insuflamento foi de $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Já na quarta e última entrega, o ar de retorno atingiu o valor máximo de $-6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, quando a diferença entre as temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento foi de $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Durante os degelos, os ventiladores do evaporador foram desligados automaticamente e, portanto, não havia ar de insuflamento nestes períodos. Assim, a interpretação dos dados nestes momentos deve ser feita levando-se em consideração este fato, pois os sensores que mediam a temperatura do ar de insuflamento continuaram a registrar os dados ininterruptamente.

De acordo com a Figura 33, o piso da carroceria (E1-3) novamente apresentou um aumento de temperatura durante o percurso do centro de distribuição ao local da primeira entrega devido à transferência de calor por radiação entre o asfalto quente da rodovia e o piso, além do ar quente proveniente do motor e dos pneus do caminhão favoreceram o aquecimento da superfície. Neste dia, devido ao fato do caminhão ter saído do centro de distribuição de manhã quando já havia sol, diferentemente dos outros dias em que ele saía ainda de madrugada, a superfície traseira (E2-2) também apresentou uma elevação de temperatura durante este percurso na rodovia devido à exposição da superfície ao sol.

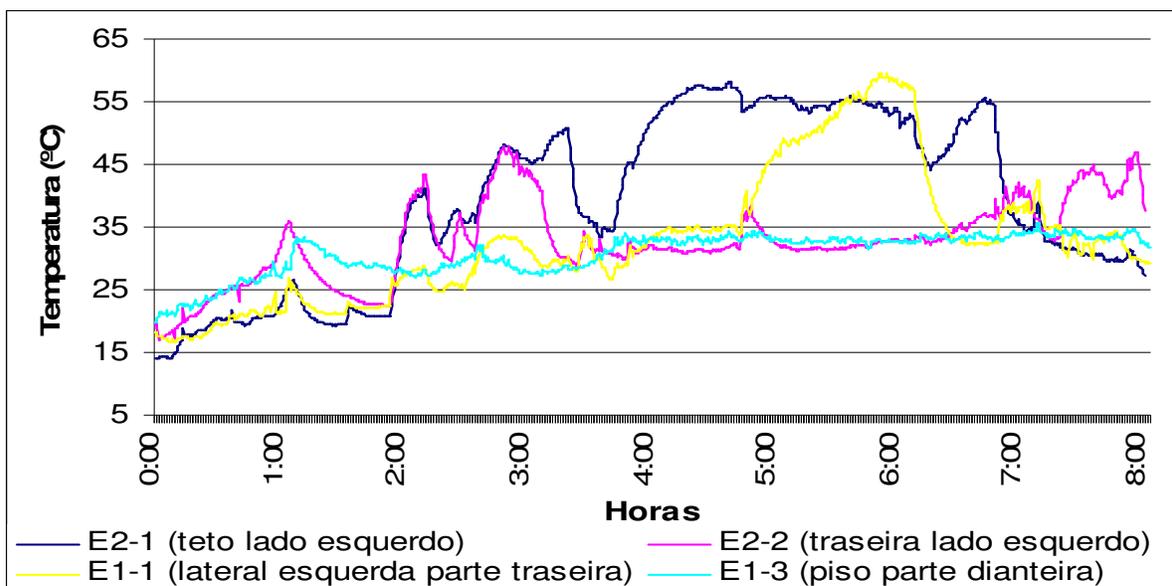


Figura 33 Histórico das temperaturas externas do teto, da lateral esquerda, do piso e da traseira da carroceria 3º dia.

Quando o caminhão permanecia parado próximo aos locais de descarregamento esperando pela autorização, a carroceria ficava exposta à radiação solar. Como já comentado anteriormente, por não haver a circulação de ar externo suficiente para auxiliar na redução da

temperatura das superfícies externas da carroceria, as superfícies externas que recebiam a maior incidência de radiação solar eram as que possuíam as maiores temperaturas.

A superfície lateral esquerda (E1-1) e o teto (E2-1) apresentaram as maiores temperaturas durante o dia, respectivamente 59,5 °C e 58,2 °C.

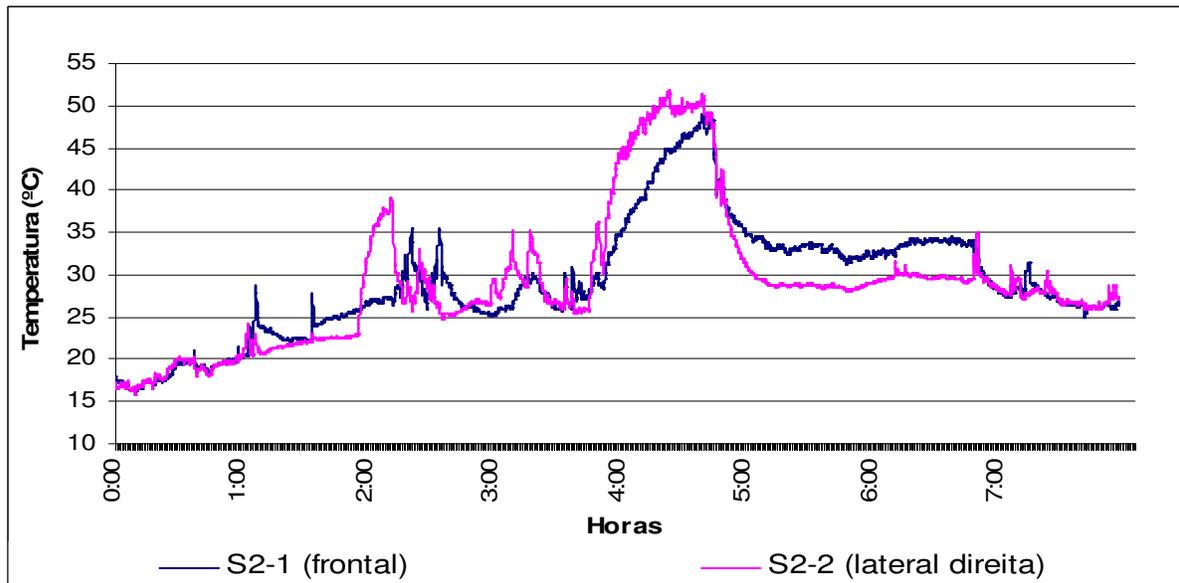


Figura 34 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria 3º dia

Durante a terceira entrega, a posição do caminhão favoreceu a exposição ao sol da superfície frontal (S2-1) e da lateral direita (S2-2), elevando a temperatura das superfícies, como pode ser observado na Figura 34. Ao terminar a entrega e partir para o próximo estabelecimento, as temperaturas destas duas superfícies voltaram a diminuir.

5.4. 4º dia de monitoração:

No quarto dia de monitoração o número de entregas foi maior do que nos demais dias. Verificou-se um total de 28 entregas, sendo todas de curta duração, com aberturas das portas da carroceria ocorrendo o dia todo.

A Figura 35 ilustra esta situação, com os diversos picos de temperatura registrados pelos sensores de abertura de porta indicando os momentos das aberturas.

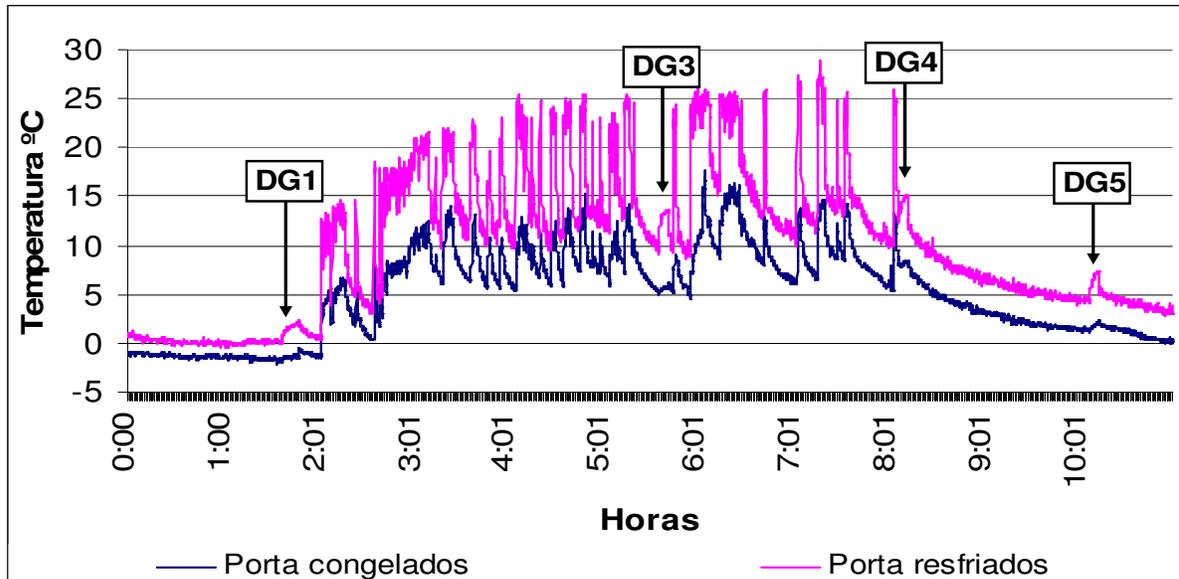


Figura 35 Histórico das temperaturas com a abertura de portas no 4º dia de monitoramento

Na Figura 36 e na Figura 37 é possível identificar a ocorrência dos degelos automáticos e também quando o motor do caminhão foi desligado, pelas alterações nas condições do sistema de refrigeração. Observa-se que, mesmo com um número maior de entregas no dia, o número de degelos não variou em relação aos demais dias monitorados em que o número de entregas foi menor. Isto ocorreu devido ao fato de o degelo ter sido programado para ocorrer a cada duas horas, independentemente do grau de necessidade deste procedimento. Assim, mesmo com a necessidade de se proceder com o degelo da serpentina do evaporador em intervalos de tempo menores, este procedimento era realizado a cada duas horas de funcionamento do sistema de refrigeração.

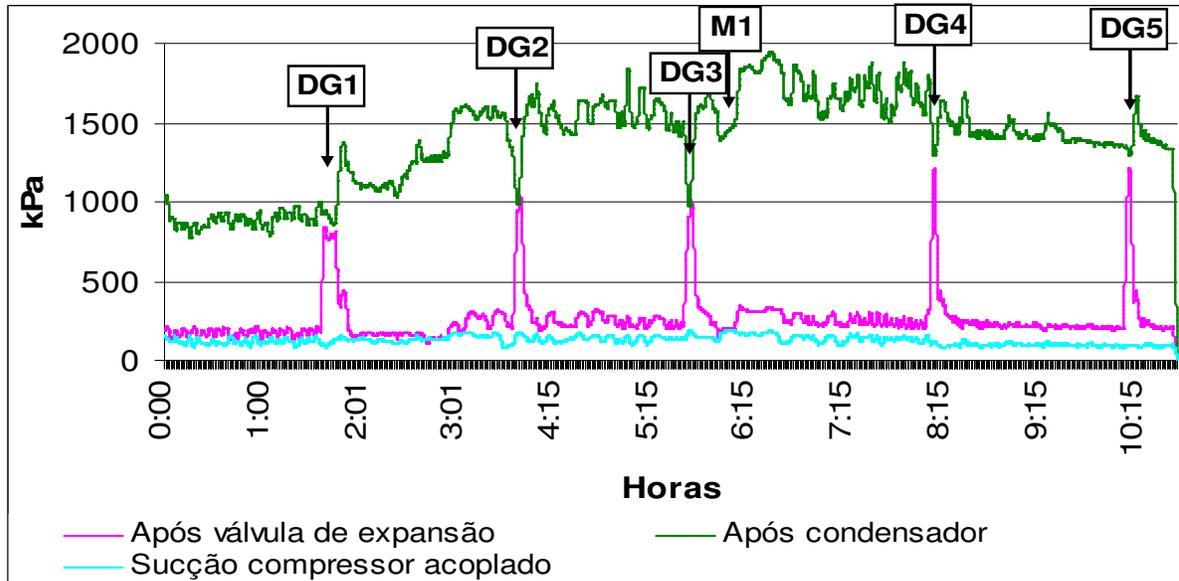


Figura 36 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 4º dia de monitoramento

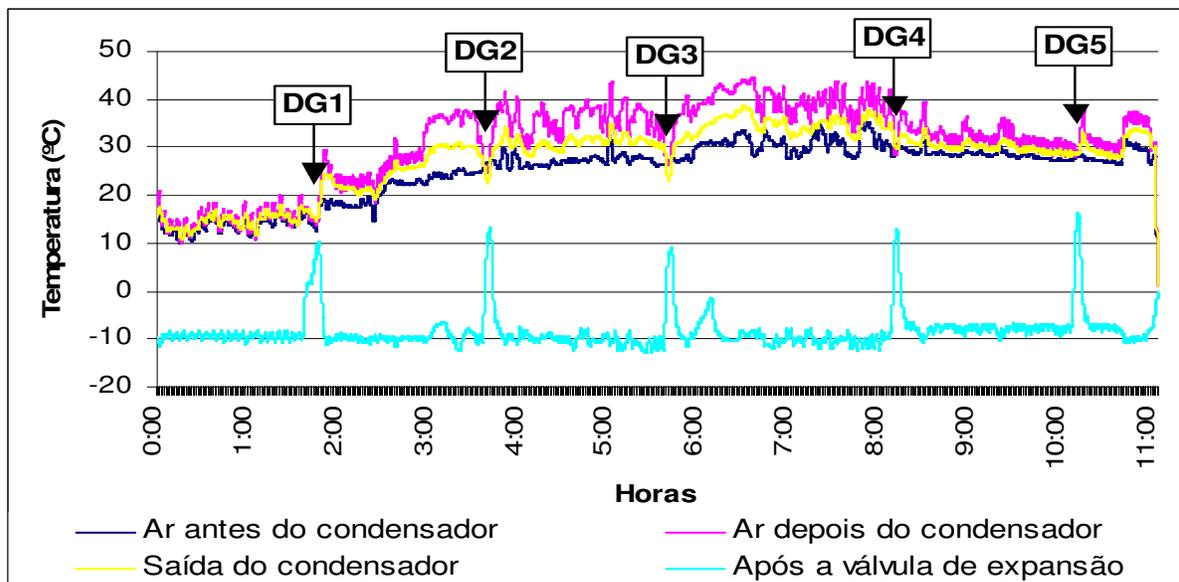


Figura 37 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 4º dia de monitoramento.

Analisando a Figura 38, que mostra a variação da temperatura do ar do compartimento de resfriados ao longo do dia, pode-se verificar que as constantes aberturas de porta têm um efeito acumulativo de perturbação sobre o ambiente, uma vez que as temperaturas foram aumentando ao longo das entregas. O sistema de refrigeração só teve condições de reduzir significativamente as temperaturas a partir do final da última entrega.

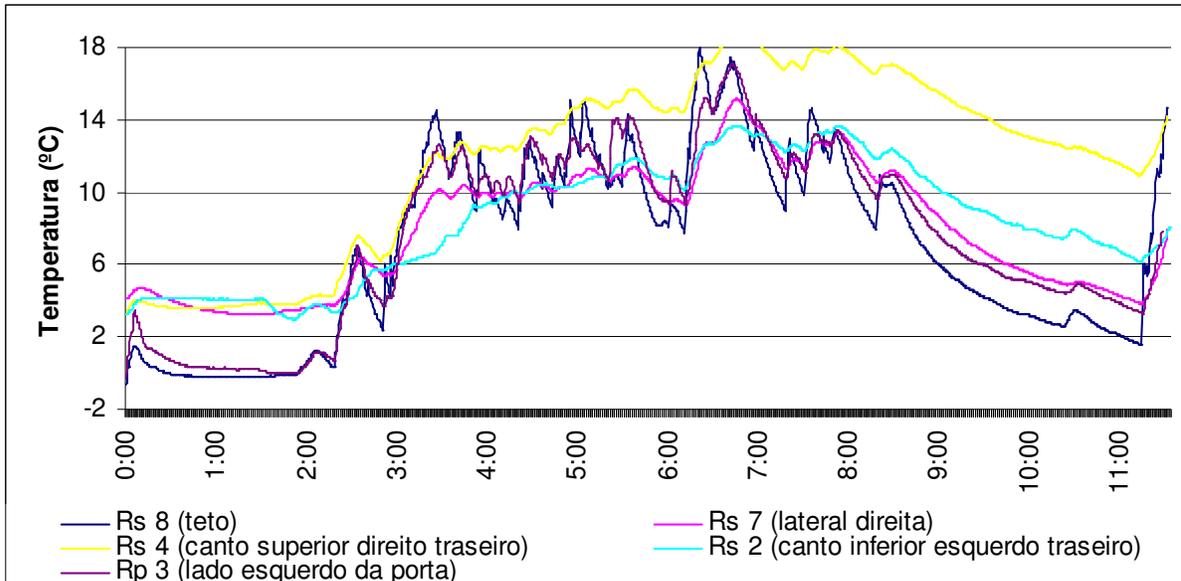


Figura 38 Histórico das temperaturas internas do compartimento de resfriados 4º dia

Imediatamente antes do início da primeira entrega os sensores RS2, RS4, RS7, RS8 e RP3 registravam 3,4 °C, 4,3 °C, 3,8 °C, 0,4 °C e 0,7 °C, respectivamente ($\bar{T} = 2,1 \pm 1,7$ °C). Durante o dia, estes sensores verificaram uma máxima temperatura de 13,6 °C, 18,9 °C, 15,2 °C, 18,0 °C e 17,1 °C ($\bar{T} = 16,3 \pm 2,7$ °C).

As temperaturas voltaram a apresentar valores mais baixos somente após o final de todas as entregas, quando os mesmos sensores registraram, respectivamente, 6,2 °C, 10,9 °C, 3,8 °C, 1,6 °C e 3,3 °C ($\bar{T} = 6,3 \pm 4,7$ °C), ao final do dia. Neste dia o sensor RS6 não pôde ser utilizado, pois a bateria interna deste instrumento havia se esgotado. Assim, a partir deste dia ele não foi mais usado.

A Figura 39 mostra a variação de temperatura no compartimento de congelados.

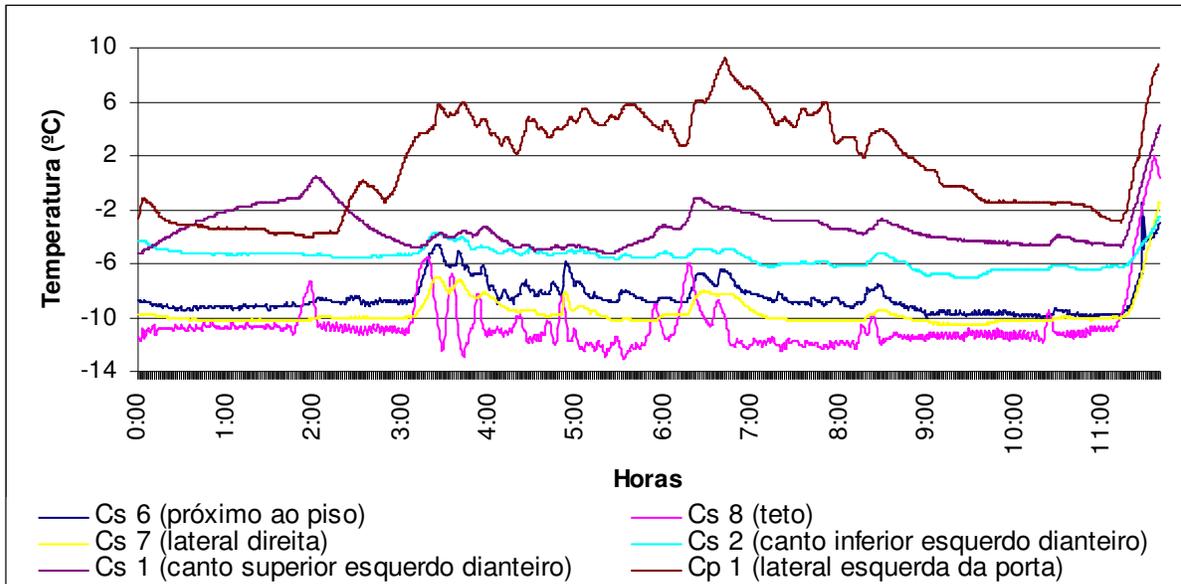


Figura 39 Histórico das temperaturas internas do compartimento de congelados 4º dia

Nesse compartimento, as constantes aberturas de porta não provocaram um efeito tão significativo como o verificado no ambiente refrigerado sobre as condições de conservação do ambiente, evidenciando o papel desempenhado pelo compartimento de resfriados como uma antecâmara, reduzindo o impacto da carga térmica externa sobre a área de produtos congelados.

Imediatamente antes de iniciar a primeira entrega os sensores CS1, CS2, CS6, CS7, CS8 e CP1 registravam $-2,5\text{ °C}$, $-5,5\text{ °C}$, $-8,8\text{ °C}$, $-10,0\text{ °C}$, $-10,8\text{ °C}$ e $-3,7\text{ °C}$, respectivamente ($\bar{T} = -6,7 \pm 4,2\text{ °C}$). Estes sensores verificaram ao longo do dia uma temperatura máxima de, $0,5\text{ °C}$, $-3,7\text{ °C}$, $-4,6\text{ °C}$, $-7,0\text{ °C}$, $-5,9\text{ °C}$ e $9,2\text{ °C}$ ($\bar{T} = 1,1 \pm 8,1\text{ °C}$). Ao final do dia, os mesmos sensores registraram, $-4,8\text{ °C}$, $-6,3\text{ °C}$, $-9,9\text{ °C}$, $-10,1\text{ °C}$, $-11,0\text{ °C}$ e $-3,0\text{ °C}$ ($\bar{T} = -7,0 \pm 4,0\text{ °C}$).

Variações nas temperaturas próximas ao evaporador são mostradas na Figura 40.

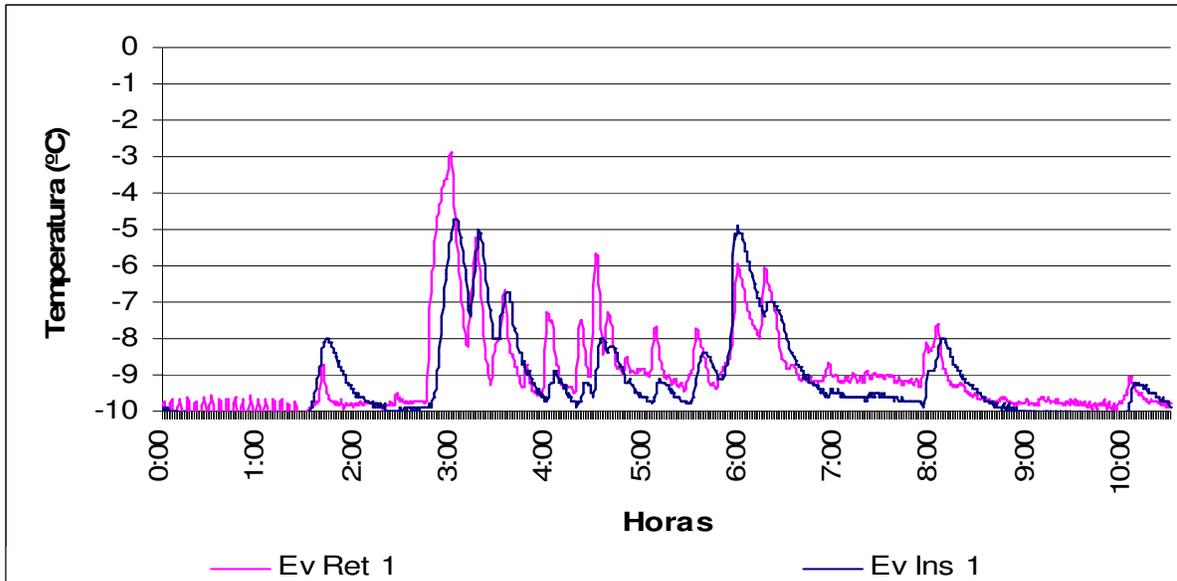


Figura 40 Histórico das temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento 4º dia

Com as constantes aberturas de porta durante o dia, o ar de retorno apresentou uma temperatura máxima de $-2,9\text{ °C}$, enquanto que a do ar de insuflamento foi de $-4,7\text{ °C}$. Comparando o ar de retorno com o de insuflamento, a maior diferença entre eles durante o dia foi de $3,4\text{ °C}$. Durante a parada do motor (M1), o sistema de refrigeração estava inoperante, de modo que não havia ar sendo insuflado do evaporador. Além disso, durante os degelos, os ventiladores do evaporador foram desligados automaticamente e, portanto, também não havia ar de insuflamento nestes períodos. Como os sensores responsáveis pela aquisição destes dados estavam funcionando normalmente, mesmo sem ar de insuflamento, os valores de temperatura registrados nestes momentos são incorretos.

A Figura 41 mostra que das 6 superfícies externas da carroceria, as que apresentaram as maiores temperaturas durante o percurso do centro de distribuição ao local da primeira entrega, enquanto o caminhão se deslocava em alta velocidade, foram, novamente, a superfície da porta traseira (E2-2) e o piso (E1-3).

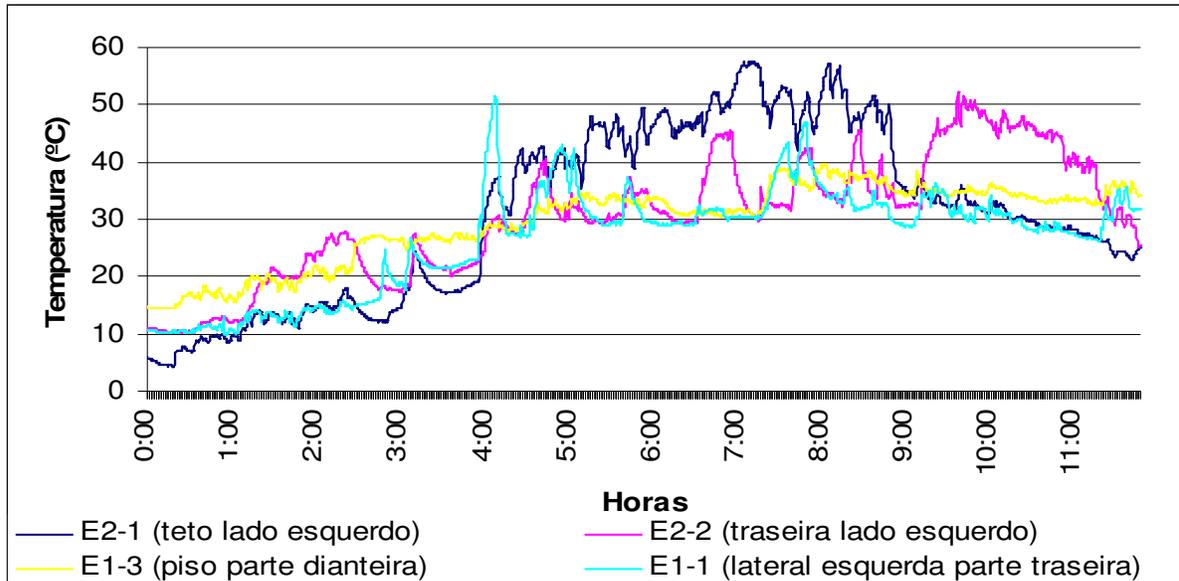


Figura 41 Histórico das temperaturas externas do teto, da lateral esquerda, do piso e da traseira da carroceria 4º dia.

Durante as entregas, parado ou em baixa velocidade, a carroceria exposta diretamente ao sol sem a circulação de ar externo suficiente para facilitar a transferência de calor entre as superfícies da carroceria e o ar ambiente, favoreceu a elevação da temperatura do teto da carroceria (E2-1).

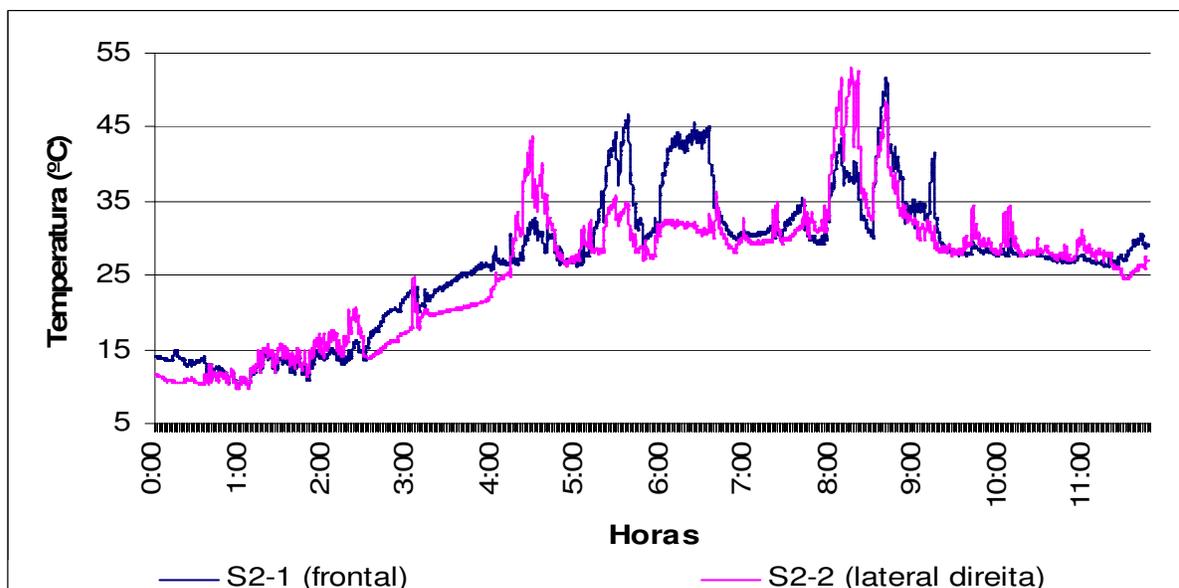


Figura 42 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria 4º dia

5.5.5º dia de monitoração:

No quinto dia de monitoração o número de entregas foi o menor dentre todos os dias monitorados, conforme mostrado na Figura 43:

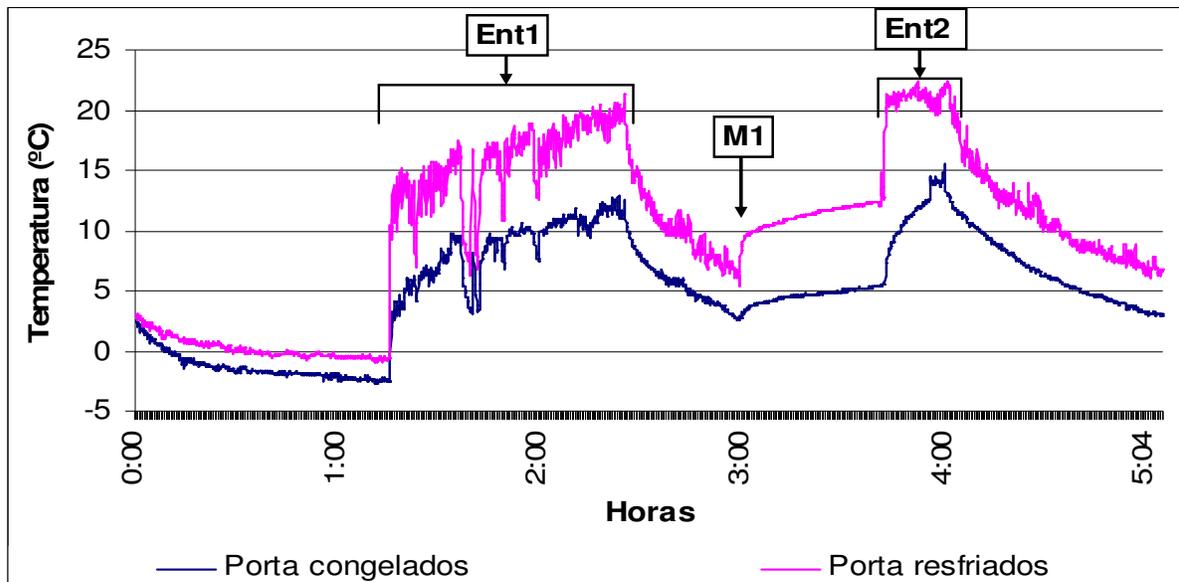


Figura 43 Histórico das temperaturas com a abertura de portas 5º dia

A primeira entrega ocorreu após 1h15min de monitoração e durou 1h10min. A Figura 43 registra também as perturbações introduzidas pela parada do motor. Nos 43 minutos em que o motor ficou desligado e com as portas fechadas, o sistema de refrigeração permaneceu inoperante, prejudicando a recuperação das temperaturas dos compartimentos após a primeira entrega. A parada proposital do motor do caminhão foi devido ao interesse do motorista em economizar combustível durante a espera pela autorização de descarregamento dos produtos. Quando a segunda entrega ocorreu, o motor continuou parado durante todo o descarregamento, que durou 24 minutos. Assim, o motor ficou inoperante por um tempo total de 1h07min. Este período total em que o motor permaneceu parado pode ser visualizado também na Figura 44 e na Figura 45.

A porta de congelados, durante a segunda e última entrega, foi aberta somente 15 minutos após a abertura da porta de resfriados. Isto demonstra o efeito da passagem do ar quente pelas canaletas do piso para o compartimento de congelados enquanto a porta de

resfriados estava aberta e a de congelados fechada, o que provocou um aumento na temperatura do ar próximo ao sensor de abertura de porta do compartimento de congelados. Com a abertura da porta de congelados a temperatura do ar nesta região subiu rapidamente, indicando o momento da abertura.

Um degelo automático por gás quente (DG1) ocorreu durante a primeira entrega, como pode ser evidenciado na Figura 44 e na Figura 45.

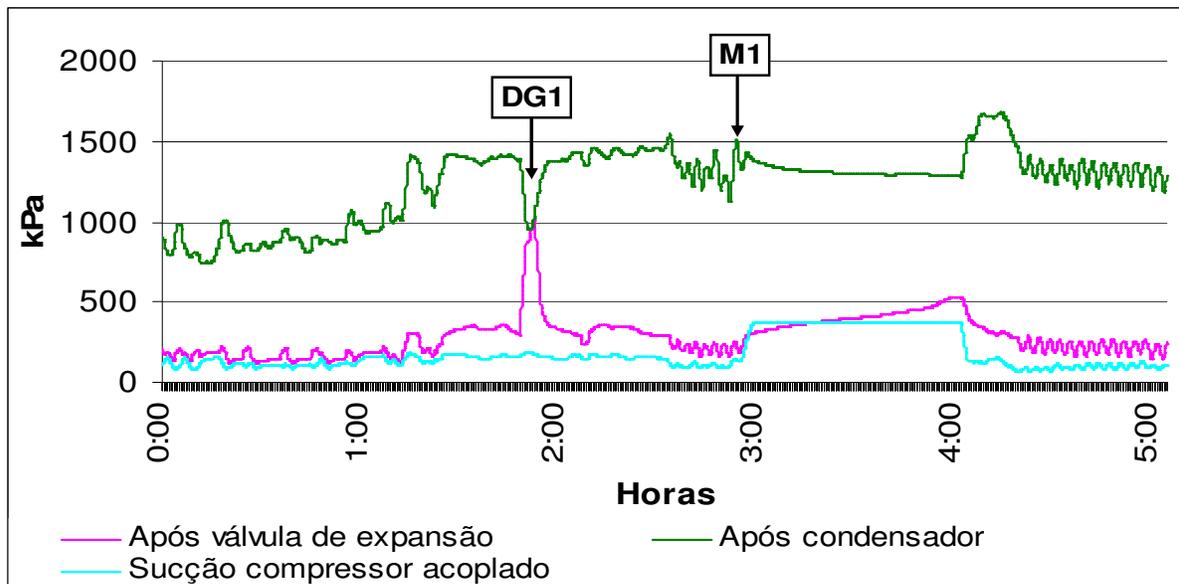


Figura 44 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 5º dia

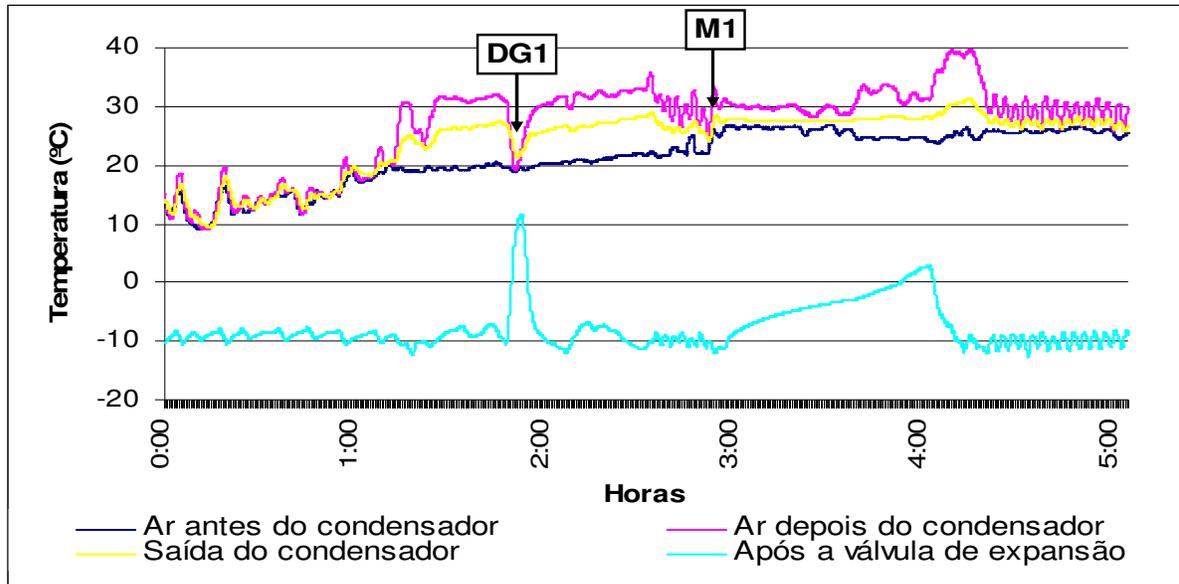


Figura 45 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 5º dia de monitoramento.

A Figura 46 indica as variações de temperaturas registradas por sensores instalados no compartimento de resfriados.

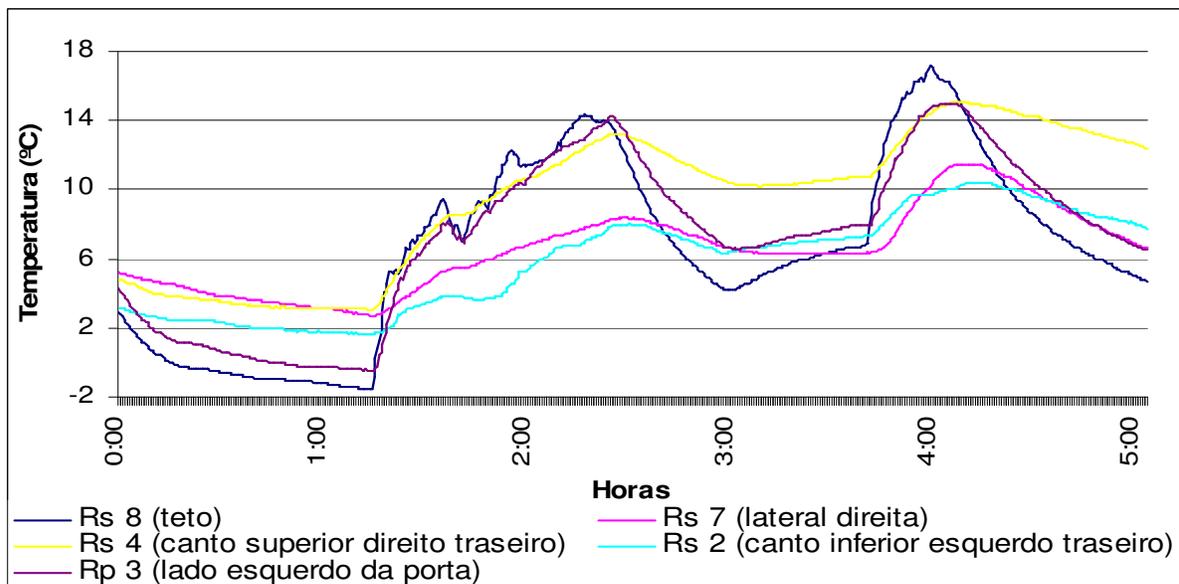


Figura 46 Histórico das temperaturas internas do compartimento de resfriados 5º dia

O sensor RS6, como comentado anteriormente, estava sem bateria e por isso não pôde ser inicializado, não sendo utilizado neste dia de monitoração.

Imediatamente antes da primeira entrega, os sensores RS2, RS4, RS7, RS8 e RP3 indicaram, respectivamente, as seguintes temperaturas: 1,6 °C, 3,0 °C, 2,7 °C, -1,5 °C e -0,5 °C ($\bar{T} = 0,8 \pm 2,3$ °C). A longa duração da primeira entrega associada à necessidade de se separar um grande volume de caixas dentre as presentes no interior da carroceria, provocou um aumento da temperatura interna de ambos os compartimentos. Durante a triagem das caixas, as portas de ambos os compartimentos permaneceram abertas, provocando a elevação de temperatura registrada pelos sensores posicionados no interior da carroceria. Os sensores RS2, RS4, RS7, RS8 e RP3 indicaram, respectivamente, as seguintes temperaturas máximas: 8,1 °C, 13,2 °C, 8,4 °C, 14,4 °C, 14,2 °C ($\bar{T} = 11,3 \pm 3,2$ °C).

Imediatamente antes da parada do motor do caminhão, os sensores registraram, respectivamente, 6,3 °C, 10,2 °C, 6,3 °C, 4,2 °C e 6,5 °C ($\bar{T} = 7,2 \pm 3,0$ °C). Após os 43 minutos de espera com o motor desligado, a segunda entrega foi iniciada, ainda com o motor desligado. As temperaturas medidas pelos sensores, imediatamente antes da abertura das portas foram: 7,3 °C, 10,9 °C, 6,4 °C, 6,9 °C e 8,2 °C ($\bar{T} = 8,7 \pm 2,3$ °C). Assim, pode-se concluir que durante esta parada do motor em que as portas permaneceram fechadas, os sensores registraram, respectivamente, uma variação de temperatura de 1,0 °C, 0,7 °C, 0,1 °C, 2,7 °C e 1,7 °C ($\Delta\bar{T} = 1,4 \pm 1,3$ °C).

Na segunda entrega, todas as caixas remanescentes no interior da carroceria eram destinadas a um único estabelecimento, o que agilizou a entrega. Os sensores registraram as máximas temperaturas de 10,4 °C, 15,1 °C, 11,5 °C, 17,2 °C e 15 °C ($\bar{T} = 13,8 \pm 3,4$ °C).

Ao final do dia, chegando ao centro de distribuição, as temperaturas registradas foram: 6,7 °C, 11,1 °C, 4,8 °C, 3,0 °C e 4,6 °C ($\bar{T} = 7,1 \pm 4,1$ °C), de modo que as variações de temperatura verificadas pelos sensores entre o momento da chegada ao centro de distribuição e o instante imediatamente anterior à primeira entrega foram de 5,1 °C, 8,1 °C, 2,1 °C, 4,5 °C e 5,1 °C ($\Delta\bar{T} = 5,1 \pm 3,0$ °C).

Na Figura 47 estão ilustradas as variações de temperatura registradas no compartimento de congelados. O sensor CS6, do mesmo modo como ocorrido no 3º dia de monitoração, apresentou falhas na inicialização e precisou ser reprogramado novamente. Logo este sensor não foi usado neste dia.

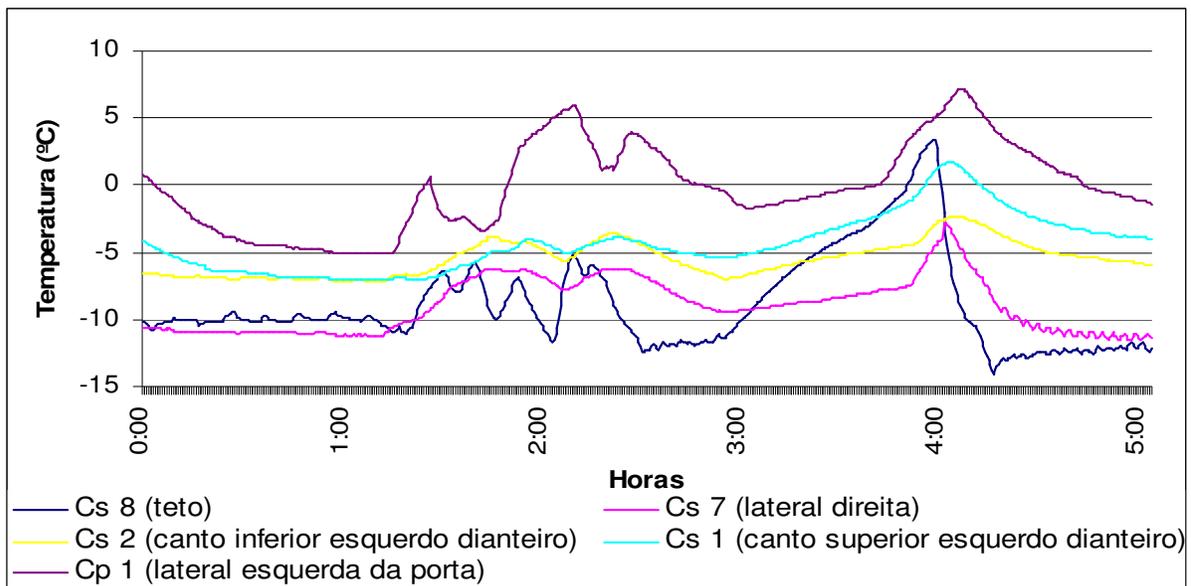


Figura 47 Histórico das temperaturas internas do compartimento de congelados 5º dia

Imediatamente antes da primeira entrega, os sensores CS1, CS2, CS7, CS8 e CP1 registraram $-7,0\text{ °C}$, $-6,7\text{ °C}$, $-11,2\text{ °C}$, $-11,0\text{ °C}$ e $-4,9\text{ °C}$ ($\bar{T} = -8,0 \pm 3,2\text{ °C}$). Durante a primeira entrega, os sensores indicaram, respectivamente, as seguintes temperaturas máximas: $-3,9\text{ °C}$, $-3,6\text{ °C}$, $-6,2\text{ °C}$, $-5,2\text{ °C}$ e $6,0\text{ °C}$ ($\bar{T} = -0,1 \pm 6,1\text{ °C}$).

Antes da parada do motor do caminhão, esses sensores registraram, respectivamente, $-5,3\text{ °C}$, $-7,0\text{ °C}$, $-9,4\text{ °C}$, $-11,4\text{ °C}$ e $-1,7\text{ °C}$ ($\bar{T} = -6,5 \pm 4,9\text{ °C}$). Como comentado anteriormente, o caminhão permaneceu 43 minutos esperando pela autorização de descarregamento com o motor desligado e, durante a segunda entrega, o motor continuou desligado. As temperaturas medidas pelos sensores, imediatamente antes da abertura das portas na segunda entrega foram: $-1,1\text{ °C}$, $-4,1\text{ °C}$, $-7,1\text{ °C}$, $-2,5\text{ °C}$ e $0,1\text{ °C}$ ($\bar{T} = -3,5 \pm 3,6\text{ °C}$). Logo, durante a inoperância do motor com as portas fechadas, os sensores registraram, respectivamente, uma variação de temperatura de $4,2\text{ °C}$, $2,9\text{ °C}$, $2,3\text{ °C}$, $8,9\text{ °C}$ e $1,8\text{ °C}$ ($\Delta\bar{T} = 5,4 \pm 3,6\text{ °C}$).

Os sensores registraram na segunda entrega as máximas temperaturas de $1,7\text{ °C}$, $-2,3\text{ °C}$, $-2,6\text{ °C}$, $3,4\text{ °C}$ e $7,1\text{ °C}$ ($\bar{T} = 2,3 \pm 4,9\text{ °C}$). Ao final do dia, após voltar ao centro de distribuição, as temperaturas verificadas foram: $-4,5\text{ °C}$, $-6,0\text{ °C}$, $-11,2\text{ °C}$, $-11,8\text{ °C}$ e $-2,1\text{ °C}$ ($\bar{T} = -4,8 \pm 7,0\text{ °C}$) e as variações de temperatura verificadas pelos sensores entre o momento

da chegada ao centro de distribuição e o instante imediatamente anterior à primeira entrega foram de 2,5 °C, 0,7 °C, 0,0 °C, -0,8 °C e 2,8 °C ($\Delta\bar{T} = 1,0 \pm 1,8$ °C).

Estes resultados comprovam o papel desempenhado pelo compartimento de resfriados como uma antecâmara para o compartimento de congelados, devido à redução do impacto da carga térmica externa sobre a área de produtos congelados.

As alterações percebidas no ar de retorno e no de insuflamento estão indicadas na Figura 48. Percebe-se que as temperaturas do ar de retorno e de insuflamento permanecem próximas durante o dia. Durante a primeira entrega ocorreu um degelo e, portanto, os ventiladores do evaporador foram desligados, de modo que não havia ar de insuflamento. Como o sensor EvIns1 estava funcionando continuamente, ele registrou a elevação de temperatura provocada pela entrada de ar quente do ambiente externo durante a entrega, mesmo sem a existência de ar sendo insuflado do evaporador. Portanto, este registro não corresponde à temperatura do ar de insuflamento neste período. O mesmo é válido quando o motor do caminhão foi desligado. A inexistência de ar de insuflamento neste período torna os dados coletados pelo sensor EvIns1 incorretos, uma vez que não representam medidas do ar de insuflamento.

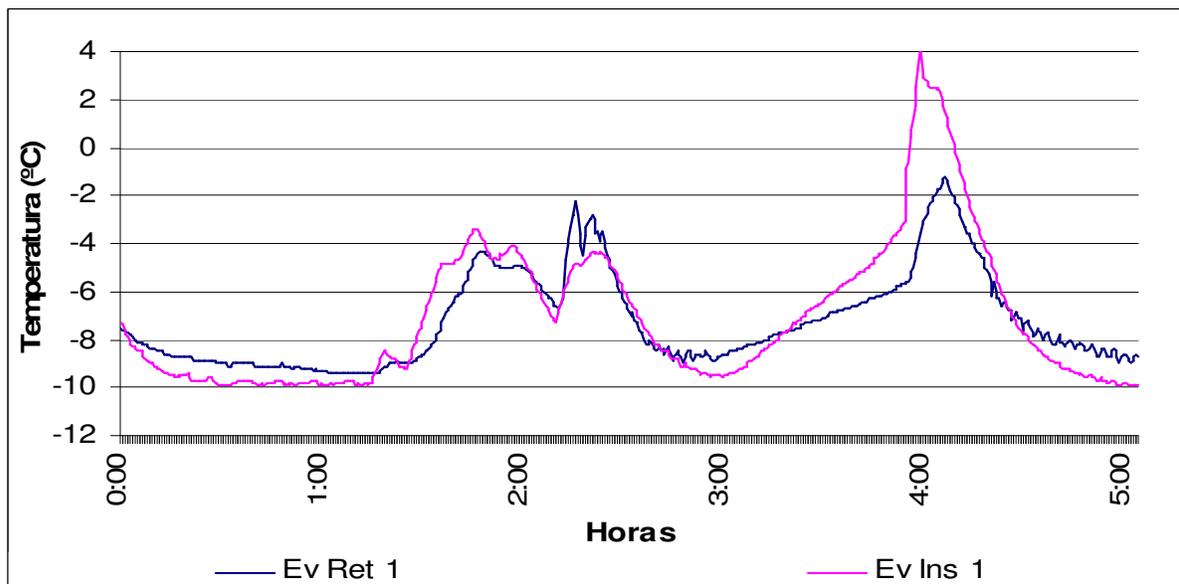


Figura 48 Histórico das temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento 5º dia

A maior temperatura registrada pelo sensor EvRet1 neste dia foi de $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a maior diferença de temperatura observada entre o ar de retorno e o de insuflamento foi de $2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ em 2h36min.

Externamente, as temperaturas nas superfícies da carroceria variaram conforme o explícito nas figuras seguintes. Percebe-se que enquanto o caminhão se deslocava pela rodovia que ligava o centro de distribuição à cidade em que seria realizada a primeira entrega, a maior temperatura verificada na carroceria externamente foi na superfície do piso, devido à influência da transferência de calor por radiação entre o asfalto quente da rodovia e o piso da carroceria. Já durante a primeira entrega, as superfícies externas da carroceria que apresentaram as maiores temperaturas foram a do teto e a da traseira. Os valores máximos registrados pelos sensores E2-1 e E2-2 foram, respectivamente, $46\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $52\text{ }^{\circ}\text{C}$. Durante a segunda entrega, a maior intensidade da ação do sol sobre a superfície lateral esquerda provocou um aumento da temperatura desta superfície. A máxima temperatura registrada pelo sensor E1-1 localizado nesta superfície foi de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

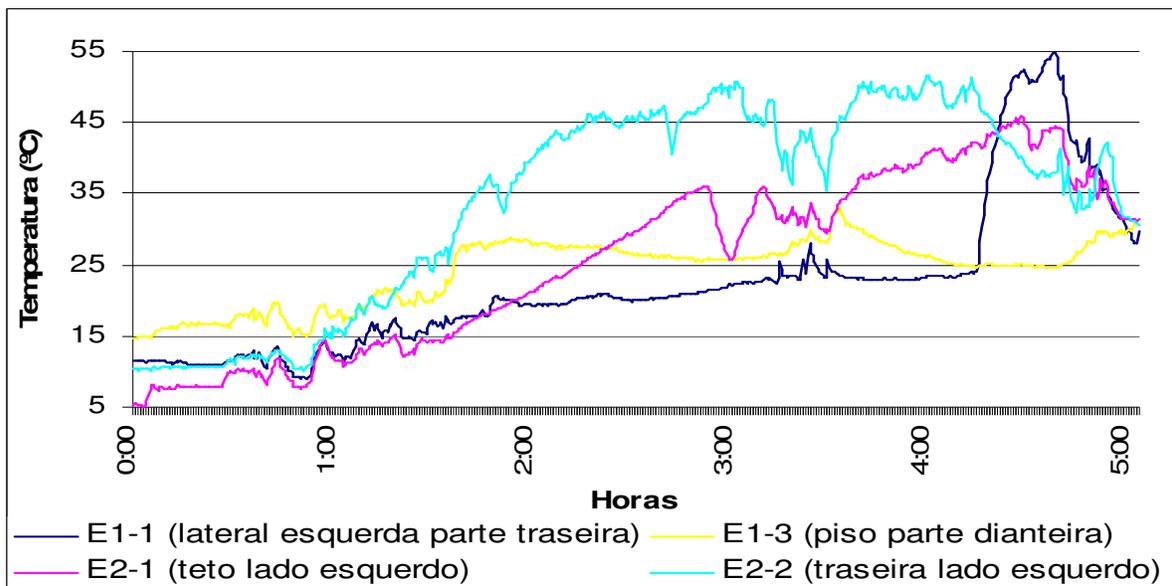


Figura 49 Histórico das temperaturas externas do teto, da lateral esquerda, do piso e da traseira da carroceria 5º dia

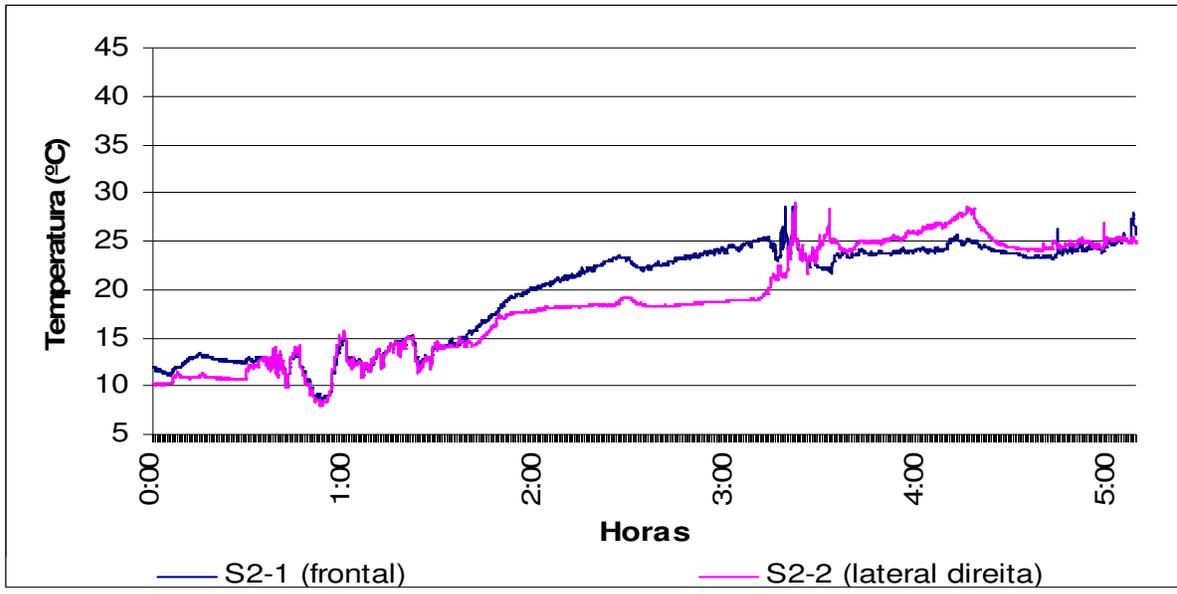


Figura 50 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria 5º dia

5.6.6º dia de monitoração:

O sexto dia de monitoração foi um dia atípico quando comparado com os anteriores, pois houve um número maior de paradas do motor, seja durante entregas ou durante os momentos de espera pela liberação das mercadorias. O motorista optou por desligar o caminhão várias vezes neste dia devido ao fato de o nível do combustível no tanque estar baixo.

A Figura 51 ilustra as variações de temperatura percebidas pelos sensores de abertura de portas.

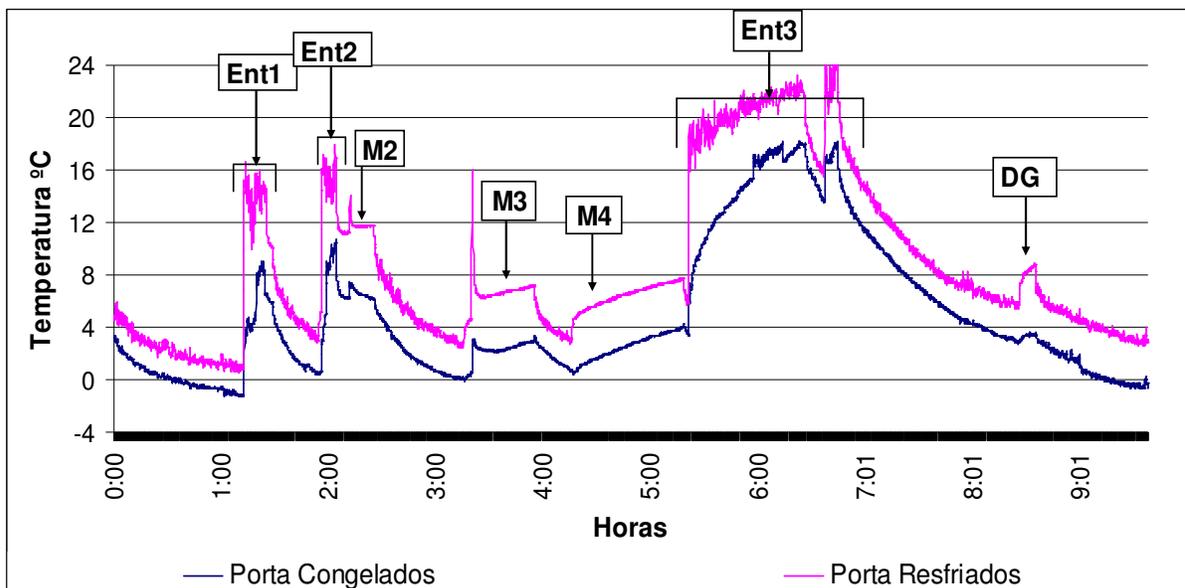


Figura 51 Histórico das temperaturas com a abertura de portas 6º dia

Apenas um degelo (DG1) ocorreu neste dia, uma vez que não havia a necessidade de tal procedimento, pois o sistema de refrigeração permaneceu desligado grande parte do tempo, evitando a formação excessiva de gelo na serpentina do evaporador. A Figura 52 e a Figura 53 mostram as variações de temperatura e pressão do sistema devido a estes eventos.

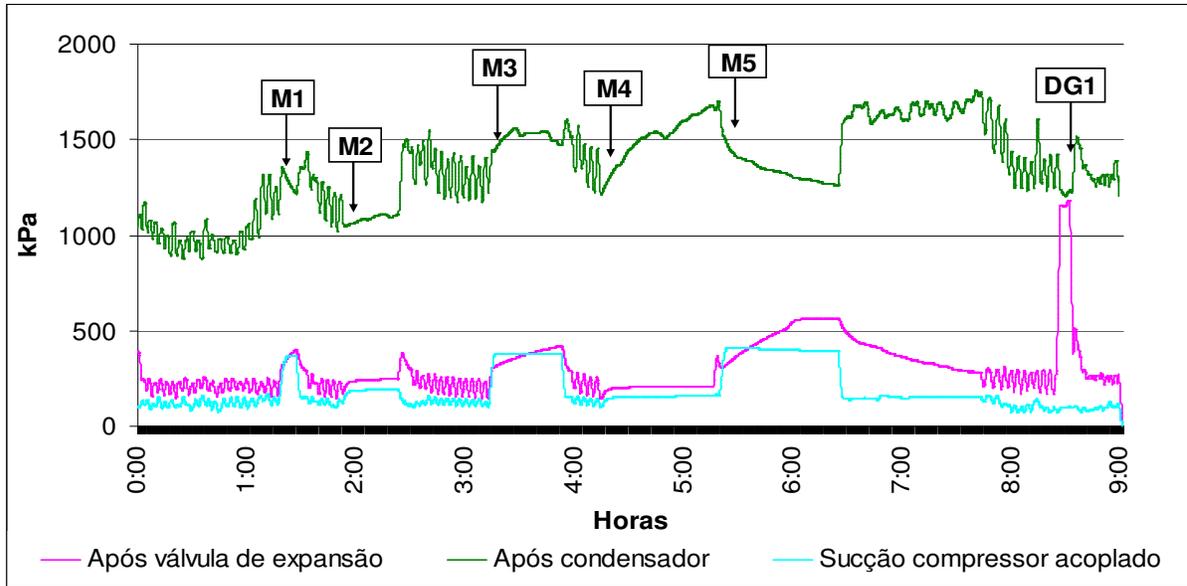


Figura 52 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 6º dia

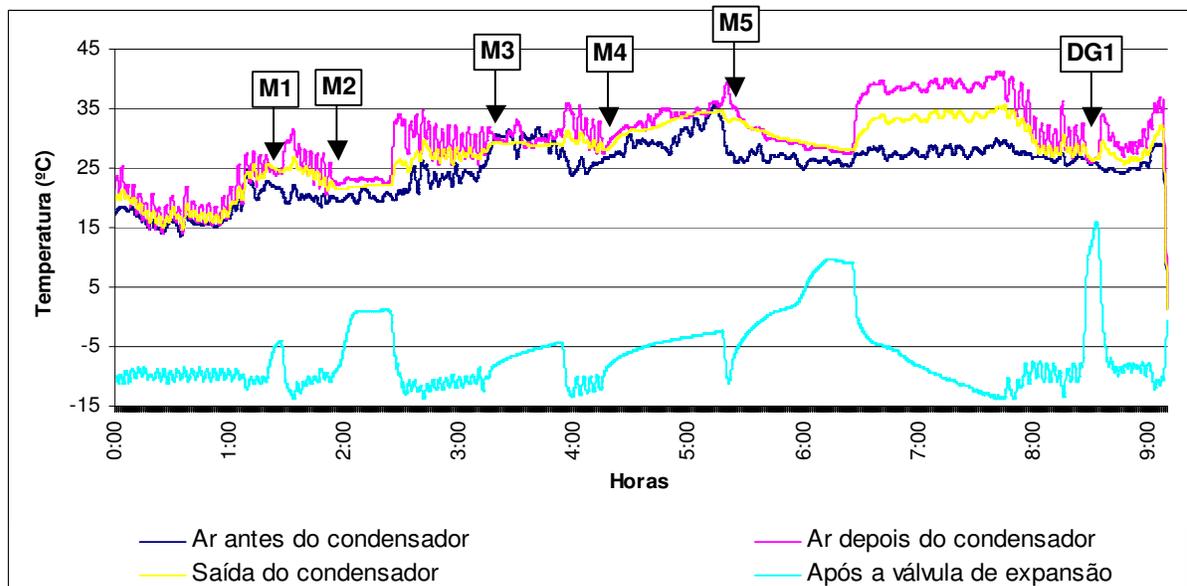


Figura 53 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração 6º dia

A Figura 54 e a Figura 55 mostram as variações de temperatura observadas no interior da carroceria em ambos os compartimentos.

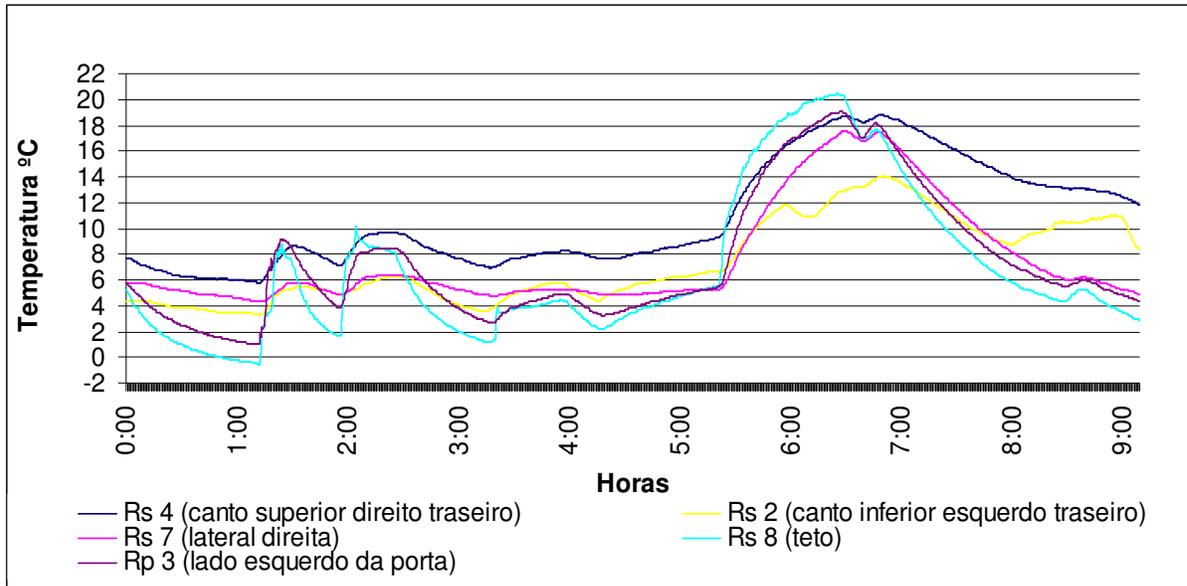


Figura 54 Histórico das temperaturas internas do compartimento de resfriados no 6º dia de monitoramento.

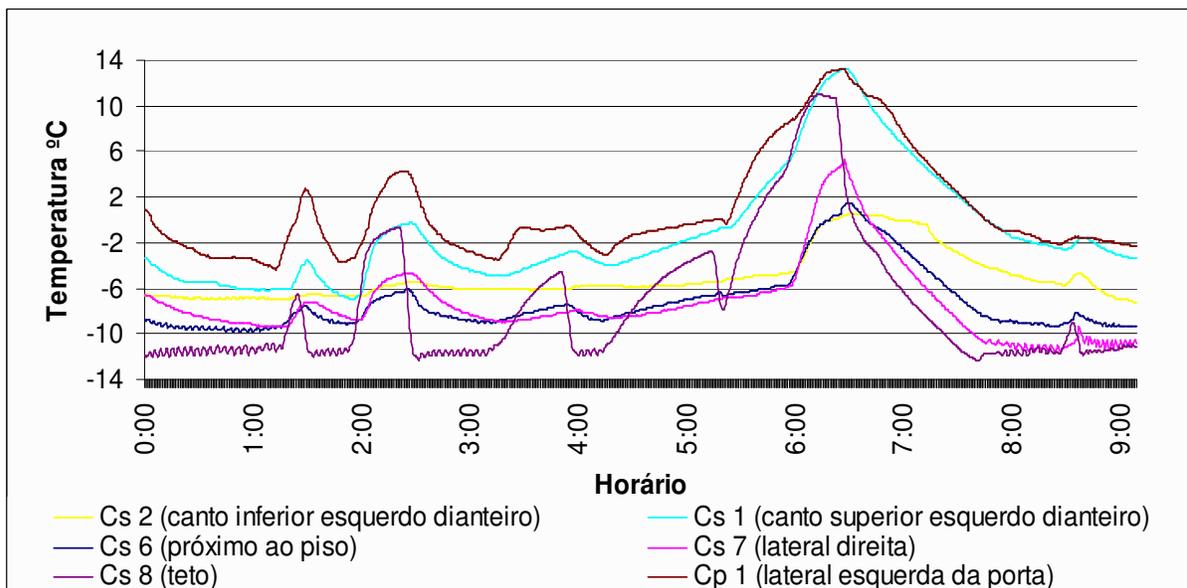


Figura 55 Histórico das temperaturas internas do compartimento de congelados no 6º dia de monitoramento.

Novamente, neste dia o sensor RS6 não foi utilizado, pois sua bateria estava esgotada.

A primeira e a segunda entrega foram realizadas com o equipamento desligado. Os sensores RS2, RS4, RS7, RS8 e RP3 registraram as seguintes variações de temperatura entre o

início da primeira e o início da segunda entrega: 1,6 °C, 1,5 °C, 1,6 °C, 2,0 °C e 3,0 °C ($\Delta\bar{T} = 2,3 \pm 0,8$ °C). Já os sensores CS1, CS2, CS6, CS7, CS8 e CP1, para o mesmo período, registraram: -0,8 °C, 0,2 °C, 0,5 °C, 0,5 °C, 0,2 °C e 0,8 °C ($\Delta\bar{T} = 0,0 \pm 0,8$ °C).

Entre o início da terceira parada do motor e o início da primeira entrega os sensores RS2, RS4, RS7, RS8 e RP3 registraram variações de 0,3 °C, 1,1 °C, 0,3 °C, 1,5 °C e 2,0 °C ($\Delta\bar{T} = 1,2 \pm 0,9$ °C). Os sensores CS1, CS2, CS6, CS7, CS8 e CP1 registraram 1,2 °C, 0,9 °C, 0,6 °C, 0,4 °C, 0,9 °C e 0,9 °C ($\Delta\bar{T} = 0,8 \pm 0,4$ °C).

Durante a terceira parada do motor, que ocorreu durante a espera pela liberação das mercadorias dentro do estabelecimento comercial, a porta de resfriados foi aberta rapidamente, com o intuito de apenas verificar a disposição dos produtos remanescentes. Este fato explica o pico de temperatura existente em 3h20min.

Antes de iniciar a terceira entrega, o motorista religou o equipamento, após a terceira parada do motor visando baixar a temperatura interna da carroceria, porém como o estabelecimento que receberia a entrega estava demorando a liberar a mercadoria, o motorista resolveu desligar novamente o motor (quarta parada).

A terceira entrega começou 5h21min após o início da monitoração e teve duração de 1h25min, com duas aberturas de porta para cada compartimento. Durante a primeira abertura, a entrega se realizou com o equipamento desligado (quinta parada do motor), porém durante a segunda abertura, o sistema já havia sido religado.

Entre o início da terceira entrega e o início da primeira entrega os sensores RS2, RS4, RS7, RS8 e RP3 registraram variações de 3,3 °C, 3,5 °C, 0,9 °C, 5,7 °C e 5,2 °C ($\Delta\bar{T} = 3,3 \pm 2,4$ °C) e os sensores CS1, CS2, CS6, CS7, CS8 e CP1 registraram 5,4 °C, 1,5 °C, 2,9 °C, 2,5 °C, 2,1 °C e 4,6 °C ($\Delta\bar{T} = 3,5 \pm 2,0$ °C).

Durante a terceira entrega, os sensores RS2, RS4, RS7, RS8 e RP3 registraram as máximas temperaturas de 14,1 °C, 18,8 °C, 17,5 °C, 20,5 °C e 19,1 °C ($\bar{T} = 17,3 \pm 3,2$ °C). Já os sensores CS1, CS2, CS6, CS7, CS8 e CP1 registraram as máximas temperaturas de 13,3 °C, 0,5 °C, 1,5 °C, 5,3 °C, 11,0 °C e 13,2 °C ($\bar{T} = 6,9 \pm 6,4$ °C).

Entre a chegada ao centro de distribuição e o início da primeira entrega, os sensores RS2, RS4, RS7, RS8 e RP3 registraram variações de 2,6 °C, 4,3 °C, -0,7 °C, 1,8 °C e 2,4 °C ($\Delta\bar{T} = 1,8 \pm 2,5$ °C). Os sensores CS1, CS2, CS6, CS7, CS8 e CP1 registraram 1,8 °C, -0,7 °C, 0,0 °C, -1,6 °C, -0,2 °C e 1,7 °C ($\Delta\bar{T} = 0,1 \pm 1,7$ °C).

O ar de retorno e o de insuflamento apresentaram variações de temperatura ao longo do dia conforme demonstrado na Figura 56. Durante as paradas do motor não havia ar sendo insuflado do evaporador, pois o sistema de refrigeração estava desligado. Como os sensores permaneceram funcionando durante a monitoração, os dados referentes ao ar na região da saída de ar do evaporador continuaram a ser obtidos. Assim, os valores registrados durante as paradas do motor não podem ser utilizados, já que não representam medidas reais do ar de insuflamento.

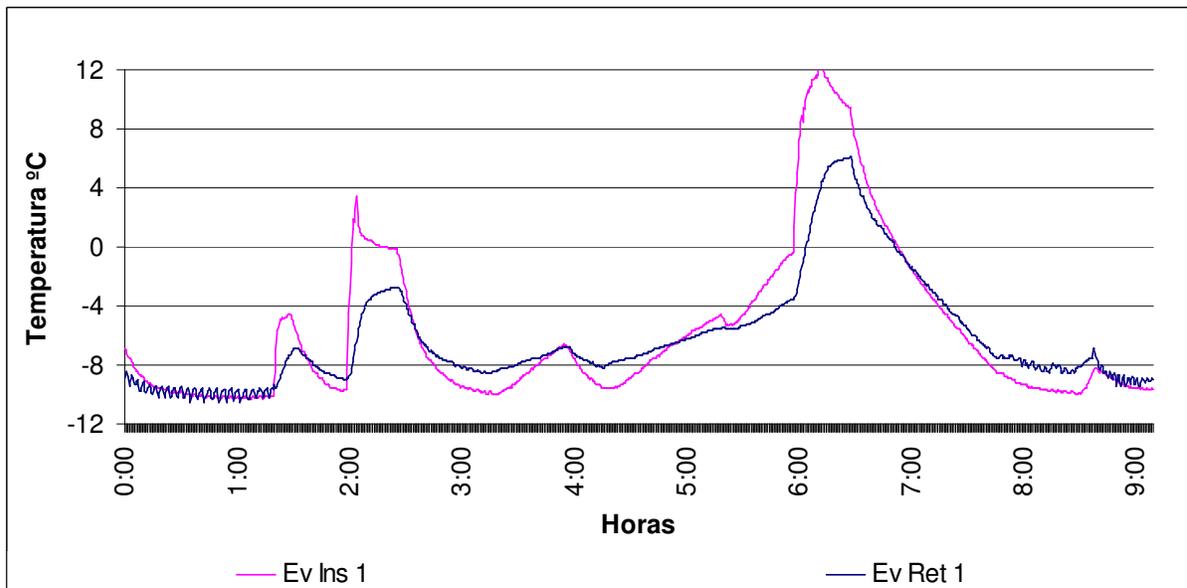


Figura 56 Histórico das temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento no 6º dia de monitoramento.

A maior temperatura registrada pelo sensor EvRet1 foi de 6,1 °C e a maior diferença de temperatura observada entre o ar de retorno e o de insuflamento foi de 1,5 °C em 4h16min.

As temperaturas das superfícies externas variaram, conforme mostrado na Figura 57 e na Figura 58. Novamente, as duas que apresentaram as maiores temperaturas durante o percurso do centro de distribuição ao local da primeira entrega foram a superfície da porta traseira (E2-2) e o piso (E1-3). A carroceria exposta diretamente ao sol durante as entregas

sem a circulação de ar externo suficiente para realizar uma boa transferência de calor entre as superfícies da carroceria e o ar ambiente favoreceu a elevação da temperatura do teto (E2-1) e da superfície frontal da carroceria (S2-1). Estas superfícies apresentaram as maiores temperaturas no dia, respectivamente 57,2 °C e 61 °C.

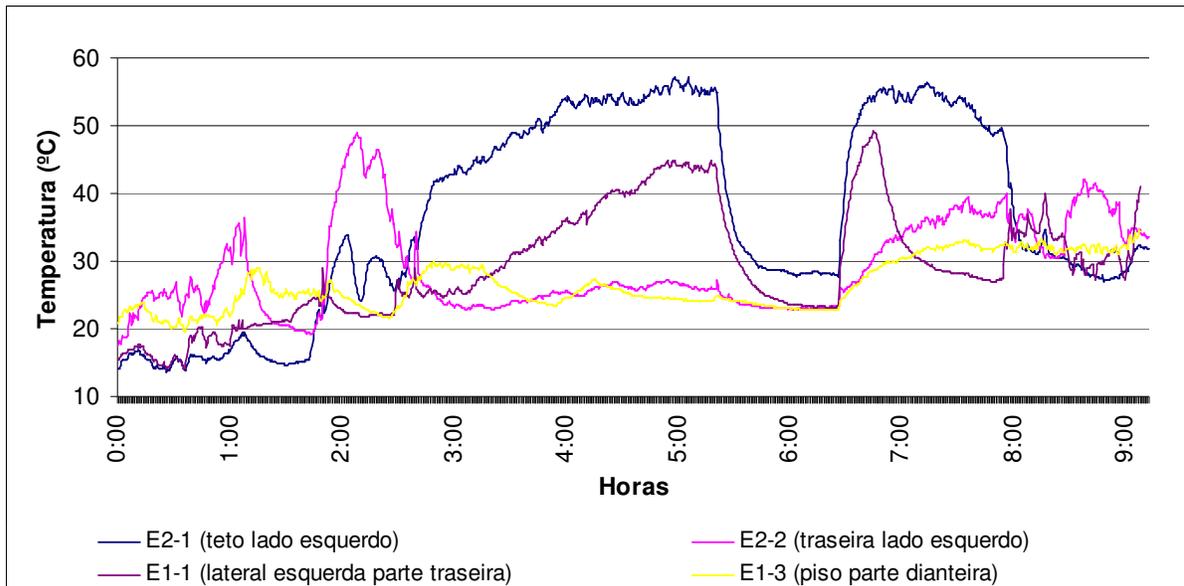


Figura 57 Histórico das temperaturas externas do teto, da lateral esquerda, do piso e da traseira da carroceria 6º dia.

Pode-se verificar na Figura 57 a queda brusca de 27 °C na temperatura externa do teto (E2-1) e de 21 °C na temperatura externa da lateral esquerda da carroceria (E1-1) assim que se inicia a terceira entrega, mostrando a importância da utilização de docas de descarga com cobertura para a eliminação da radiação solar direta e minimização do efeito da temperatura externa.

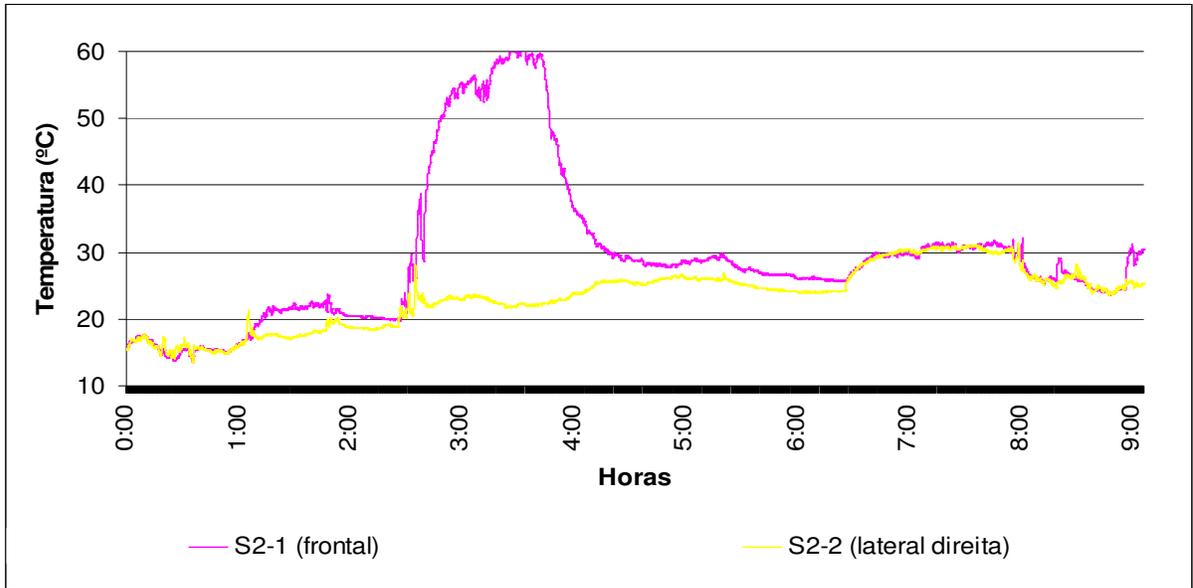


Figura 58 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria 6º dia

5.7.7º dia de monitoração:

A Figura 59 refere-se à variação de temperatura identificada pelos sensores de abertura de portas de ambos os compartimentos.

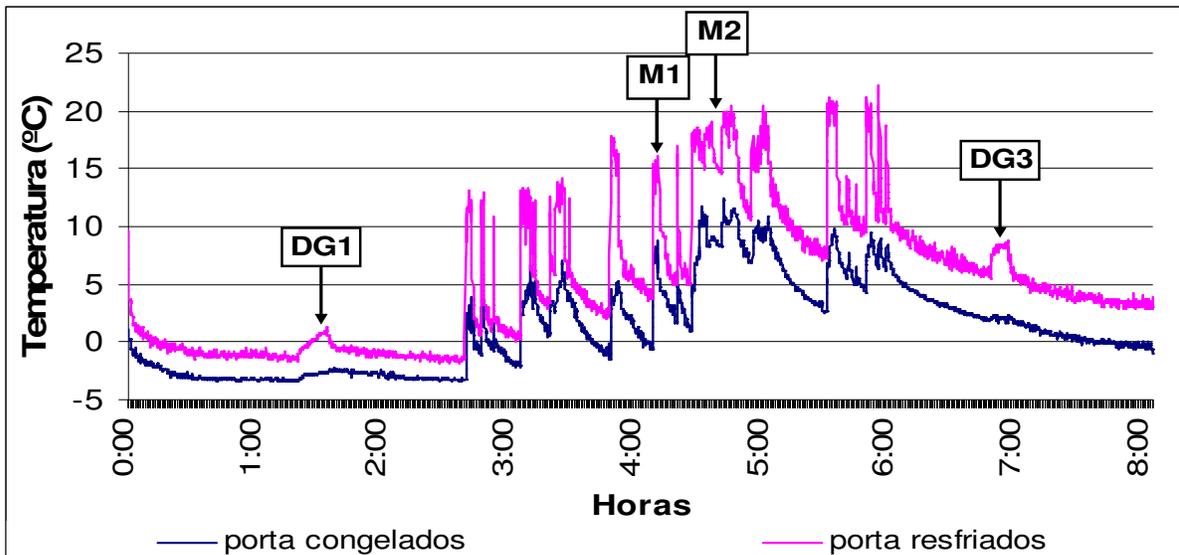


Figura 59 Histórico das temperaturas com a abertura de portas no 7º dia de monitoramento

Neste dia foram feitas 14 entregas com pequenos intervalos entre elas, sendo que em duas delas houve a parada do motor. No dia todo foram realizados três degelos. A Figura 60 e a Figura 61 mostram os momentos destes eventos.

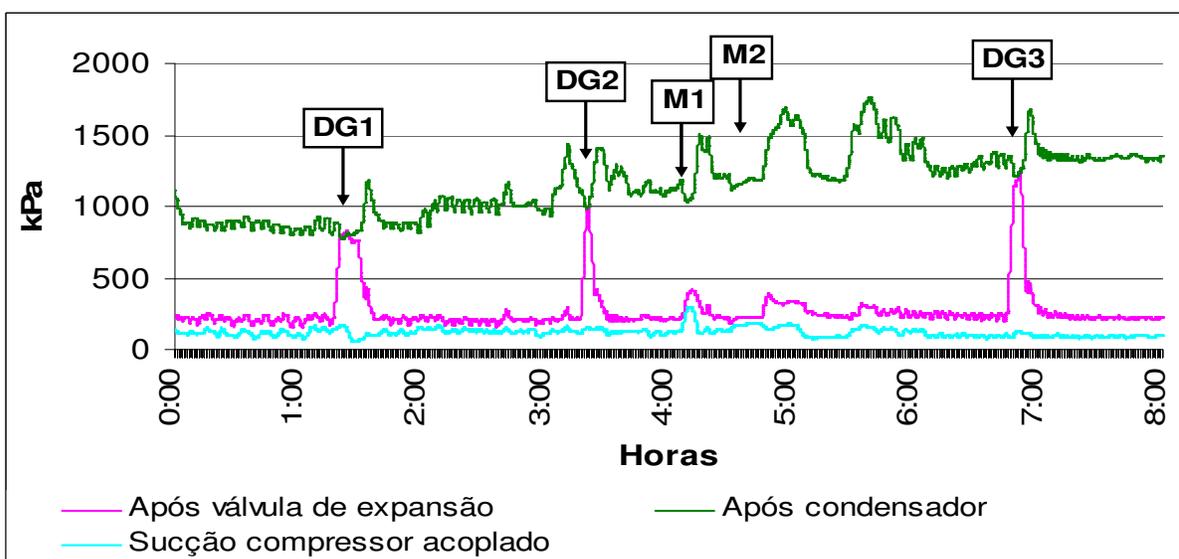


Figura 60 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 7º dia

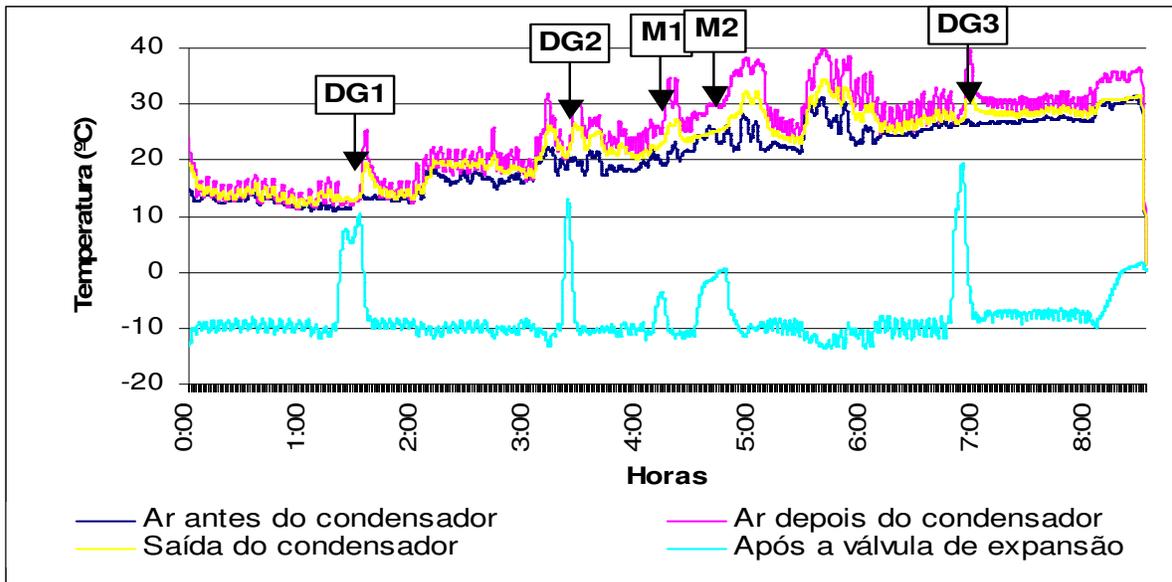


Figura 61 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração 7º dia

Na medida em que novas aberturas de porta eram feitas, o sistema de refrigeração não conseguia reduzir a tempo a temperatura interna do compartimento de resfriados, como pode ser visto na Figura 62.

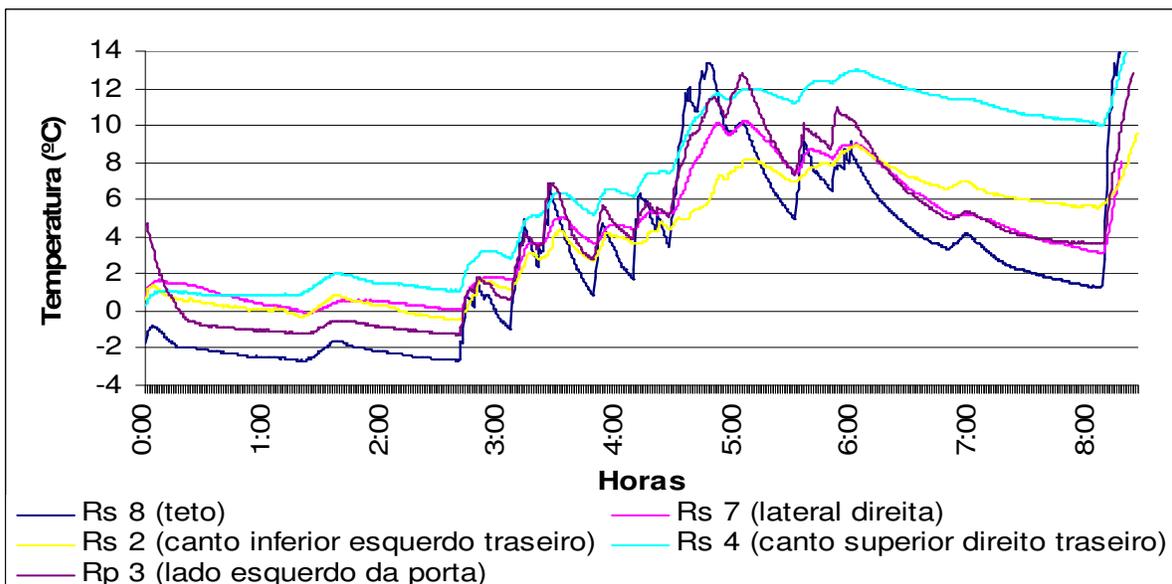


Figura 62 Histórico das temperaturas internas do compartimento de resfriados 7º dia

Como observado anteriormente em outros dias de teste, o sensor RS6 não foi usado neste dia também, uma vez que ele possuía uma bateria descarregada.

No compartimento de congelados o efeito acumulado de aberturas de porta não produziu uma reação tão significativa quanto à ocorrida no compartimento de resfriados, indicando que a câmara de congelados consegue suportar melhor as perturbações intensas ocorridas durante a constante abertura de portas. A Figura 63 ilustra a variação de temperatura no compartimento de congelados.

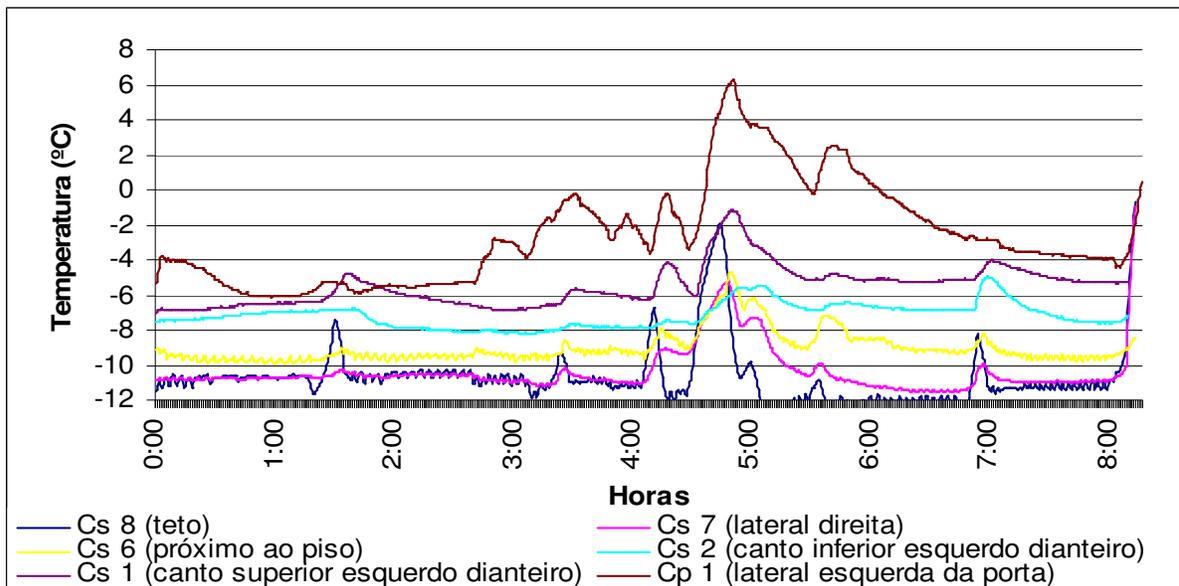


Figura 63 Histórico das temperaturas internas do compartimento de congelados 7º dia

Cada sensor interno registrou a maior variação de temperatura observada em todo o dia, em relação às temperaturas verificadas antes da primeira abertura de porta. Para os sensores RS2, RS4, RS7, RS8 e RP3 as maiores variações foram: 9,3 °C, 12,2 °C, 10,3 °C, 16,1 °C e 14,0 °C ($\Delta\bar{T} = 12,7 \pm 3,4$ °C). Para os sensores CS1, CS2, CS6, CS7, CS8 e CP1 as maiores variações foram: 5,6 °C, 3,0 °C, 4,8 °C, 6,6 °C, 8,5 °C e 12,1 °C ($\Delta\bar{T} = 7,6 \pm 4,6$ °C).

A Figura 64 mostra a variação de temperatura observada no ar de retorno e no de insuflamento neste dia. Como já comentado anteriormente, durante as paradas do motor e os degelos, não havia ar sendo insuflado do evaporador. Assim, os valores registrados nestes momentos são incorretos, já que não representam medidas reais do ar de insuflamento.

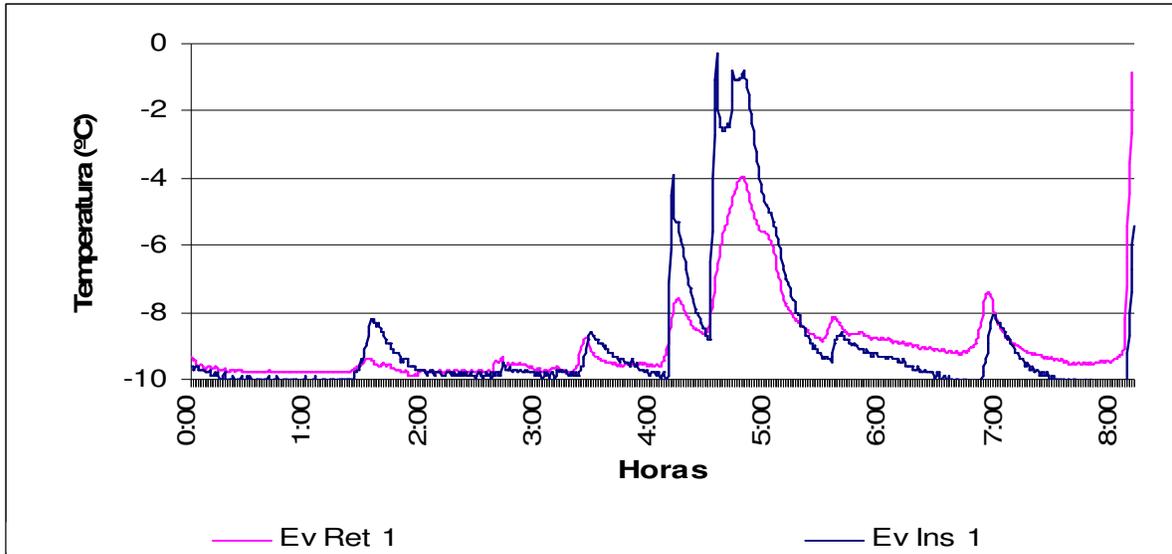


Figura 64 Histórico das temperaturas do ar de retorno e do de insuflamento no 7º dia de monitoramento.

A maior temperatura registrada pelo sensor EvRet1 foi de $-3,9\text{ °C}$ e a maior diferença de temperatura observada entre o ar de retorno e o de insuflamento foi de $0,9\text{ °C}$ em 6h41min.

Externamente, o comportamento das temperaturas superficiais está indicado na Figura 65 e na Figura 66. As superfícies que apresentaram as maiores temperaturas durante o percurso do centro de distribuição ao local da primeira entrega foram, como visto nos dias anteriores, a superfície da porta traseira (E2-2) e o piso (E1-3).

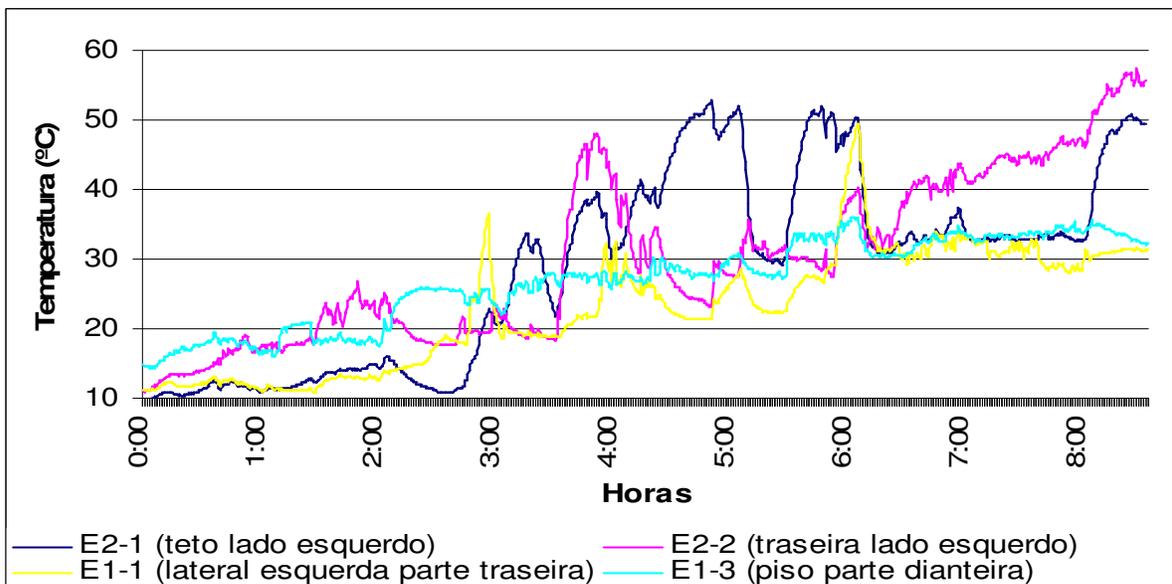


Figura 65 Histórico das temperaturas externas do teto, da lateral esquerda, do piso e da traseira da carroceria 7º dia

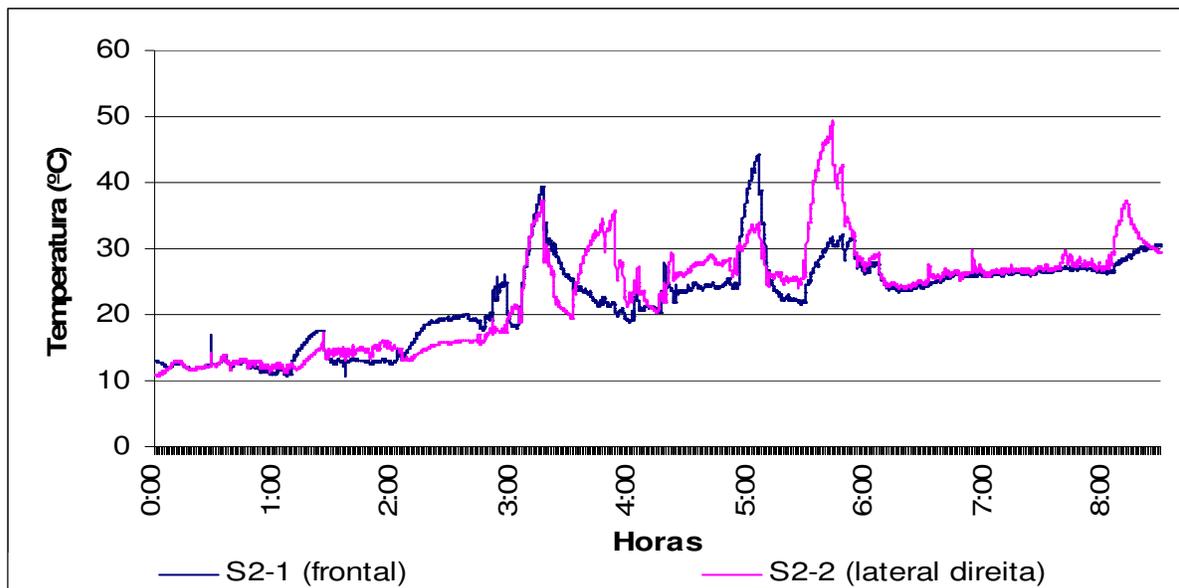


Figura 66 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria 7º dia

Já durante as entregas, a superfície externa da carroceria que apresentou a maior temperatura foi a do teto (E2-1), 52 °C.

5.8. Retomadas de temperatura pelo sistema de refrigeração

Diante dos resultados obtidos com as monitorações foram geradas figuras que detalham momentos em que o sistema de refrigeração atuou na redução da temperatura do ar do ambiente interno da carroceria, em ambos os compartimentos. Assim, será possível verificar se este sistema foi capaz de reduzir as temperaturas para os valores verificados inicialmente, antes da primeira abertura de portas do dia.

A Figura 67 mostra, para cada dia de monitoração, a diferença entre a temperatura média ao final do dia (retorno ao centro de distribuição) e a temperatura média no início do dia. As médias envolvem os dados registrados pelos sensores de ambos os compartimentos. A duração destes períodos de cada dia monitorado também está indicada nesta figura.

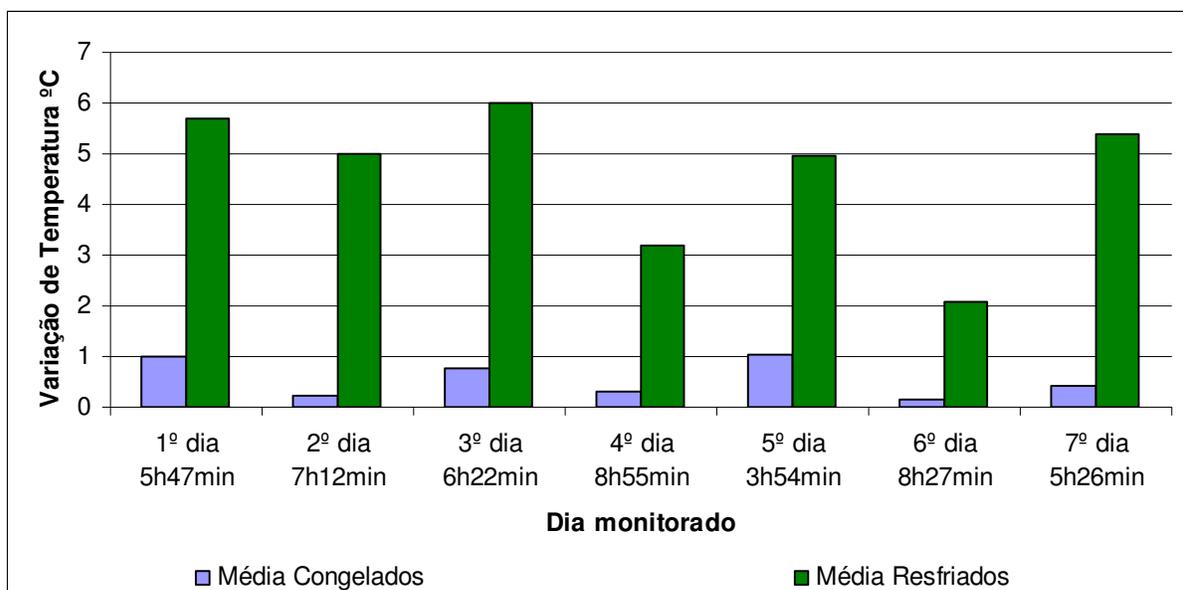


Figura 67 Médias das variações de temperatura entre a chegada ao centro de distribuição e o início do dia, registrada pelos sensores de ambos os compartimentos em todos os dias monitorados.

Verifica-se que em nenhum dos dias monitorados o sistema de refrigeração foi capaz de reduzir plenamente as temperaturas internas de todos os pontos da carroceria para os valores verificados inicialmente (antes da ocorrência das perturbações por abertura de portas). Isto demonstra que o sistema convencional de refrigeração utilizado em carrocerias frigorificadas não possui capacidade instantânea suficiente para atuar na redução das

temperaturas internas após o final das entregas. Isso é verificado principalmente no compartimento de resfriados.

Foi observado um efeito acumulativo de aumento da temperatura do ambiente interno da carroceria durante as entregas nos dias com mais aberturas de porta (4º dia e 7º dia), quando não havia tempo suficiente para o sistema de refrigeração atuar na redução da temperatura interna entre uma entrega e outra, de modo que sempre que uma nova entrega ocorria, esta contribuía com um novo aumento na temperatura interna da carroceria.

Observou-se que, além da existência do efeito acumulativo de aumento da temperatura do ar do ambiente refrigerado durante as entregas, as diferenças entre a temperatura média ao final do dia (retorno ao centro de distribuição) e a temperatura média no início do dia, para cada dia de monitoração, ocorreram devido ao somatório de outros fatores, que são citados a seguir:

- Parada do motor do caminhão durante os momentos de espera pela liberação do descarregamento nos estabelecimentos comerciais – esta prática foi observada algumas vezes nos dias de monitoração. No 5º dia, mesmo com a ocorrência de apenas duas entregas, a ação do sistema de refrigeração durante a retomada das temperaturas internas ao final do dia foi prejudicada, pois o motor do caminhão ficou desligado continuamente por 1h07min.
- Duração das entregas – nas entregas em que as portas ficaram abertas por longos períodos, a perturbação térmica provocada dificultou o trabalho do sistema de refrigeração, como foi observado no 1º, 2º, 3º e no 5º dias de monitoração, quando a carroceria ficou com as portas abertas por períodos superiores a 30 minutos durante os descarregamentos dos produtos.
- Realização das entregas com o motor do caminhão desligado – esta prática é considerada correta, pois evita a troca excessiva de ar entre os ambientes interno e externo durante as aberturas de porta da carroceria. Este procedimento foi verificado em todas as entregas do 6º dia de monitoração, o dia que apresentou a menor média de variação de temperatura entre a chegada

do caminhão ao centro de distribuição ao final do dia de entregas e o momento imediatamente anterior à primeira abertura de portas, no início do dia.

- Tempo disponível para a retomada das temperaturas pelo sistema de refrigeração entre o final da última entrega do dia e a chegada ao centro de distribuição – nestes períodos em que as portas permaneceram fechadas e com a carroceria vazia, o sistema pôde atuar na redução das temperaturas internas. Os dois dias que tiveram o maior tempo para a retomada das temperaturas após o final das entregas foram o 4º dia (2h35min) e o 6º dia (2h52min), justamente os que apresentaram as menores médias de variação de temperatura.

Serão discutidos também alguns eventos de retomada de temperatura, os quais foram escolhidos devido às suas peculiaridades que os destacaram dos demais eventos de retomada. Em seguida, os dados obtidos nesses eventos serão mostrados juntamente com uma discussão.

Nas figuras seguintes são mostradas as variações de temperatura (ΔT) registradas pelos sensores durante as retomadas, compreendidas desde o momento imediatamente posterior ao fechamento das portas ao final de uma entrega até o momento imediatamente anterior a uma nova perturbação, seja uma abertura de porta ou uma parada do motor.

Evento 1: Retomada das temperaturas pelo sistema de refrigeração após o término da última entrega do 1º dia de monitoração. Nesta entrega, que teve duração de 38 minutos, o motor do caminhão estava ligado durante as aberturas das portas da carroceria e o terceiro degelo ocorreu. O processo de retomada durou 1h31min.

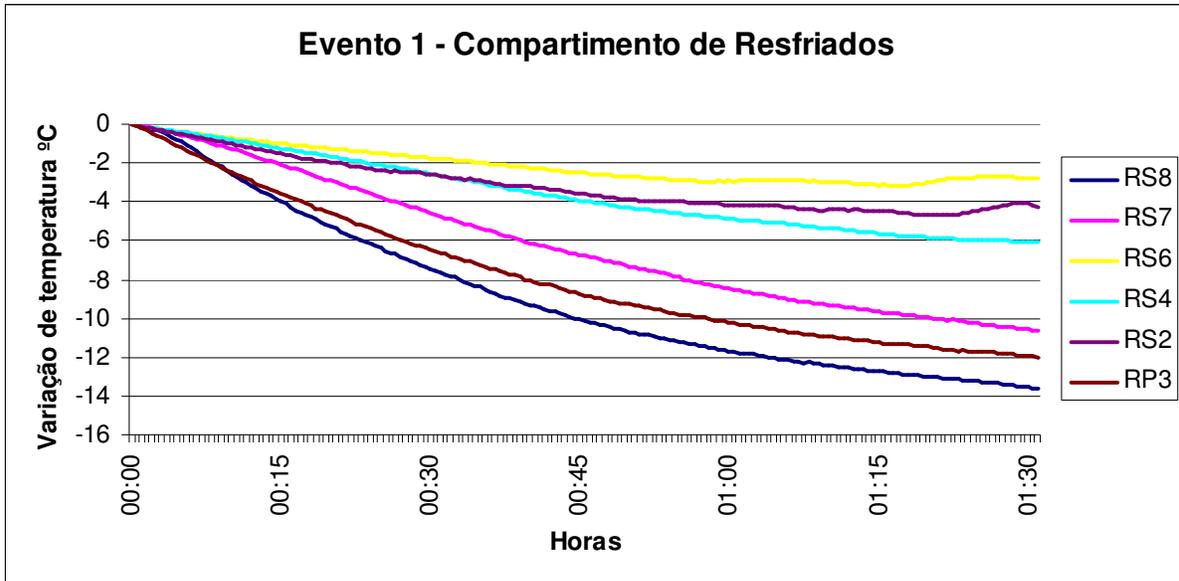


Figura 68 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 1 - Compartimento de resfriados

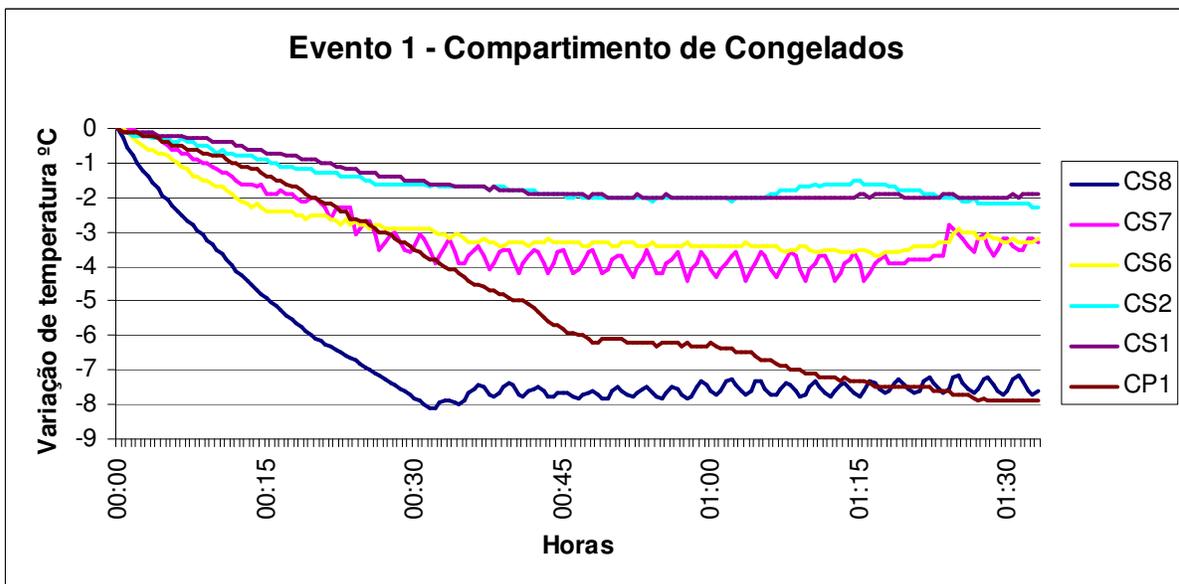


Figura 69 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 1 - Compartimento de congelados

Evento 2: Retomada das temperaturas pelo sistema de refrigeração após o término da primeira entrega do 2º dia de monitoração. A entrega durou 44 minutos e durante todo o tempo em que as portas da carroceria permaneceram abertas o motor do caminhão permaneceu

desligado. Não houve a ocorrência de degelo durante esta entrega. O processo de retomada durou 1h15min.

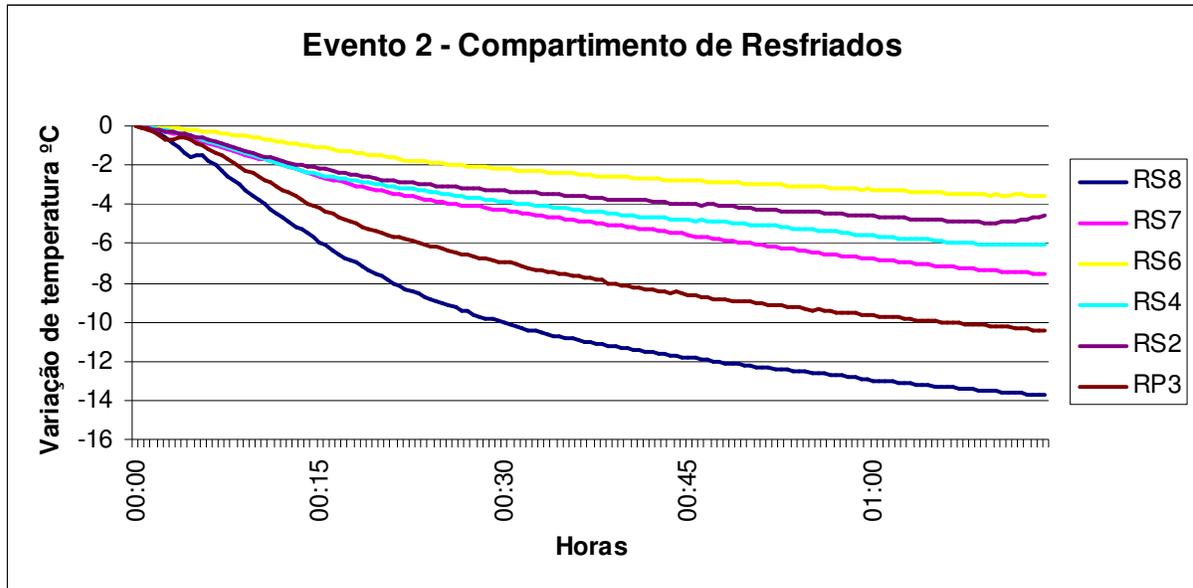


Figura 70 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 2 - Compartimento de resfriados

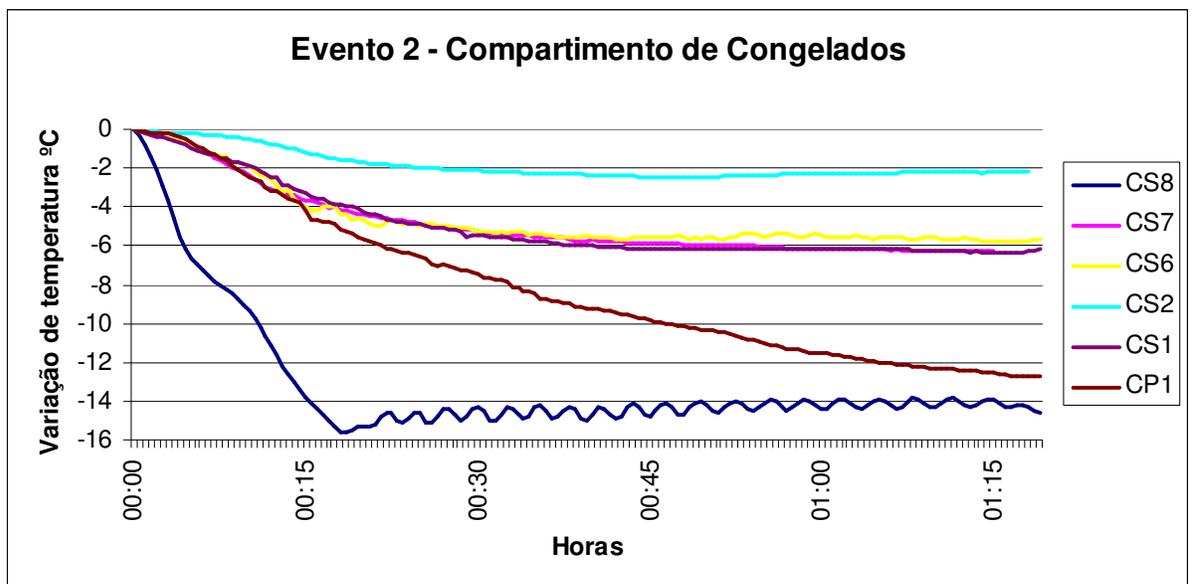


Figura 71 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 2 - Compartimento de congelados

Evento 3: Retomada das temperaturas pelo sistema de refrigeração após o término da última entrega do 4º dia de monitoração. Este dia se destacou dos demais devido ao maior número de entregas realizados no dia. O processo de retomada durou 2h35min.

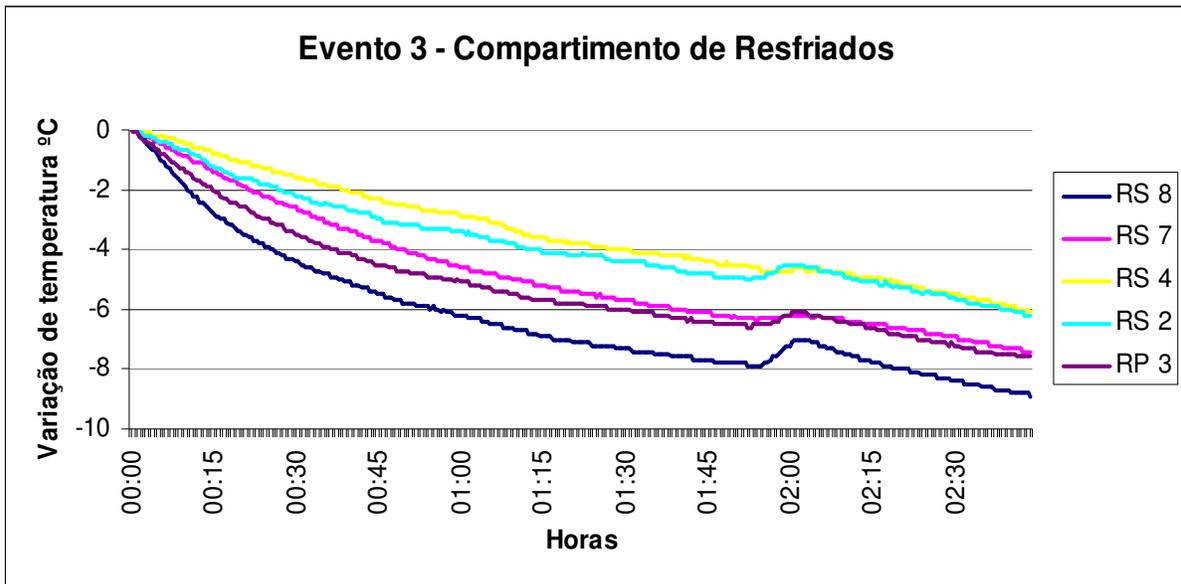


Figura 72 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 3 - Compartimento de resfriados

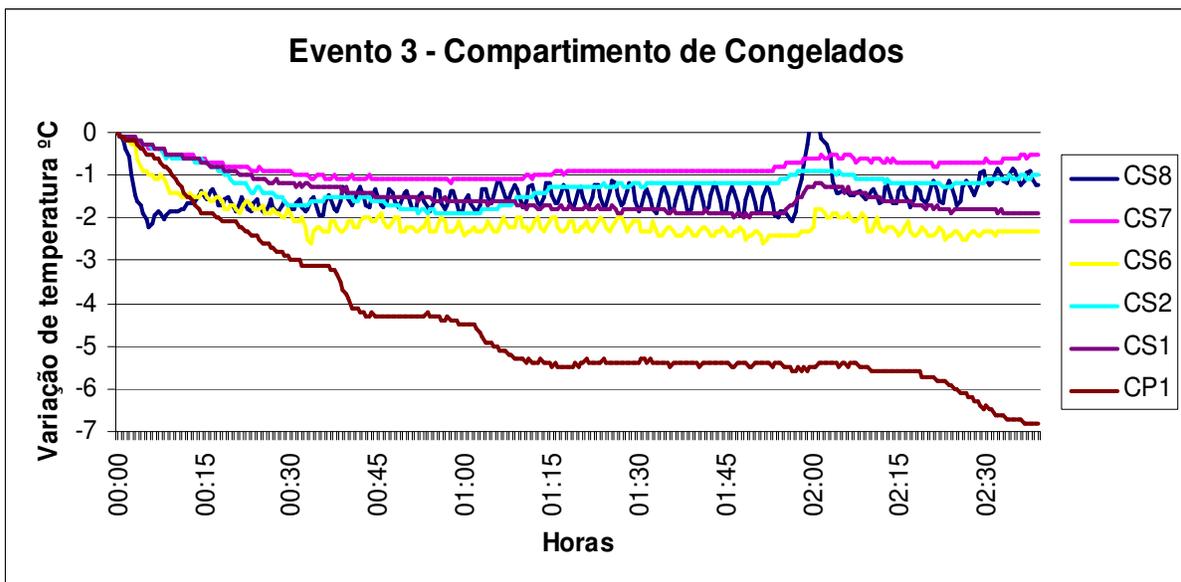


Figura 73 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 3 - Compartimento de congelados

Evento 4: Retomada das temperaturas pelo sistema de refrigeração após o término da primeira entrega do 5º dia de monitoração. Esta entrega se destaca por ter sido longa, aproximadamente 1h10min. Durante toda sua execução o motor do caminhão estava ligado e o primeiro degelo do dia ocorreu. O processo de retomada durou 31 minutos.

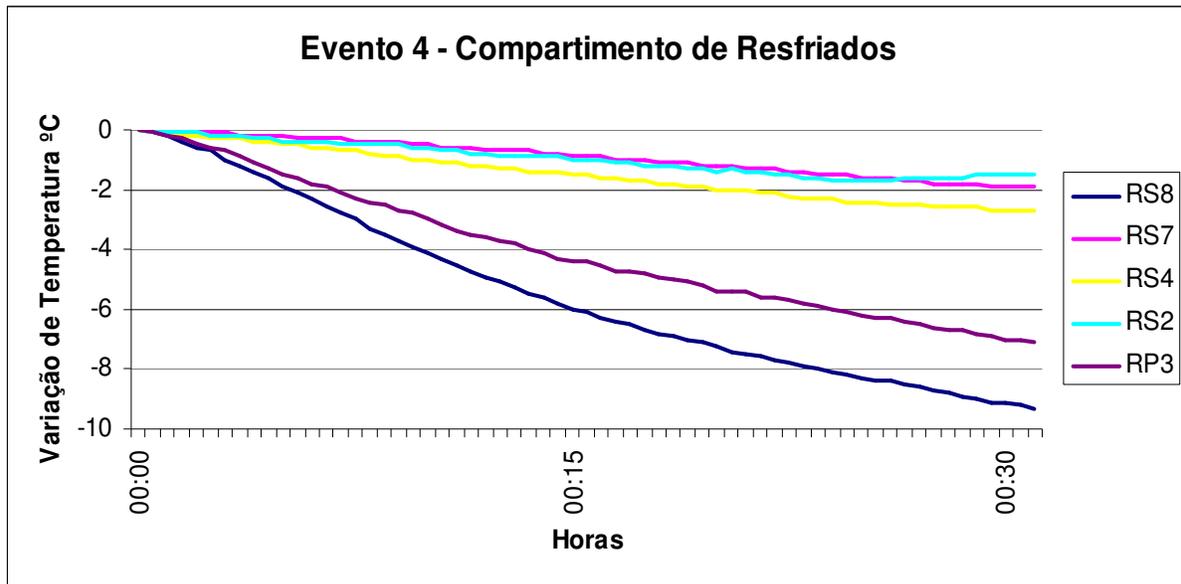


Figura 74 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 4 - Compartimento de resfriados

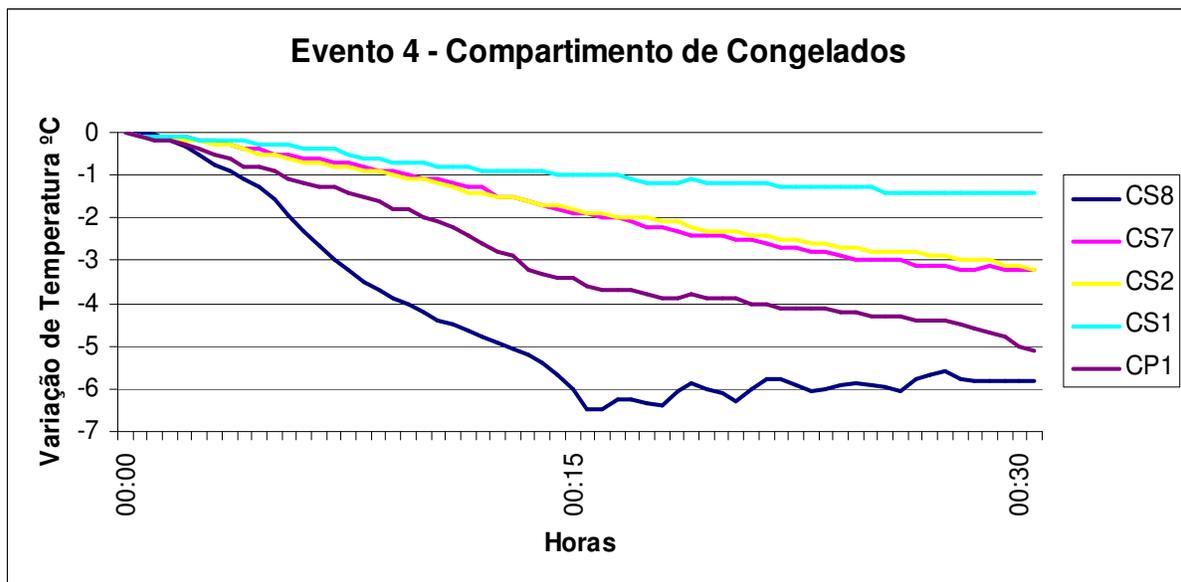


Figura 75 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 4 - Compartimento de congelados

Evento 5: Retomada das temperaturas pelo sistema de refrigeração após o término da segunda entrega do 5º dia de monitoração. Esta entrega teve a duração de 24 minutos e, durante todo o tempo, o motor do caminhão permaneceu desligado. Esta entrega se destaca pelo fato de que o motor do caminhão havia sido desligado 43 minutos antes do início do descarregamento, ou seja, ao final da entrega o motor havia ficado 1h07min inoperante. Outro fato foi que a porta do compartimento de congelados foi aberta somente 15 minutos após a abertura da de resfriados. O processo de retomada durou 1h15min.

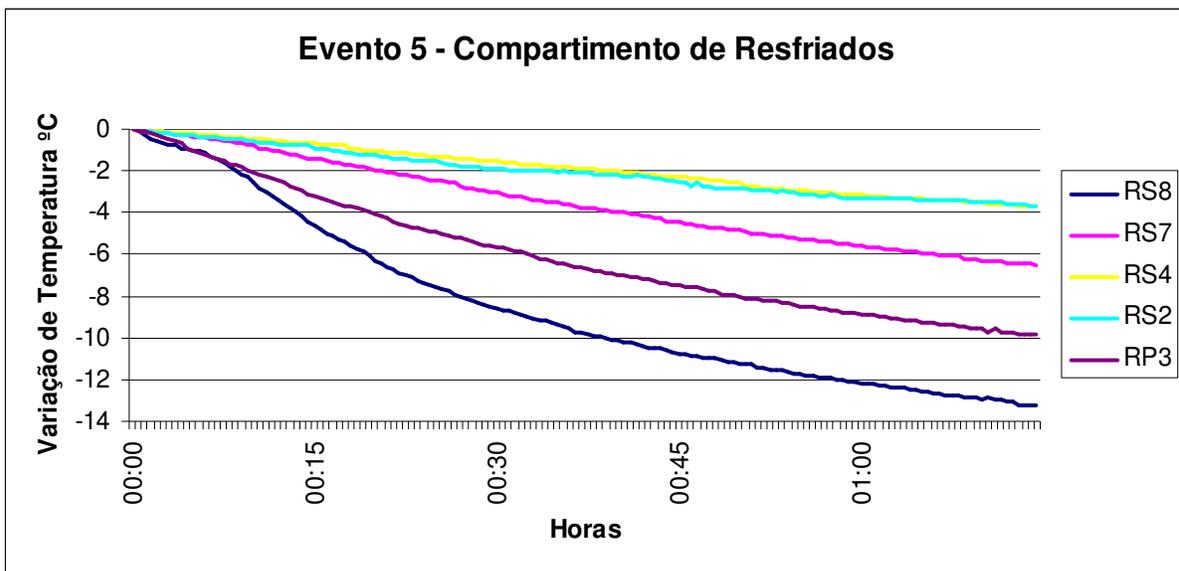


Figura 76 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 5 - Compartimento de resfriados

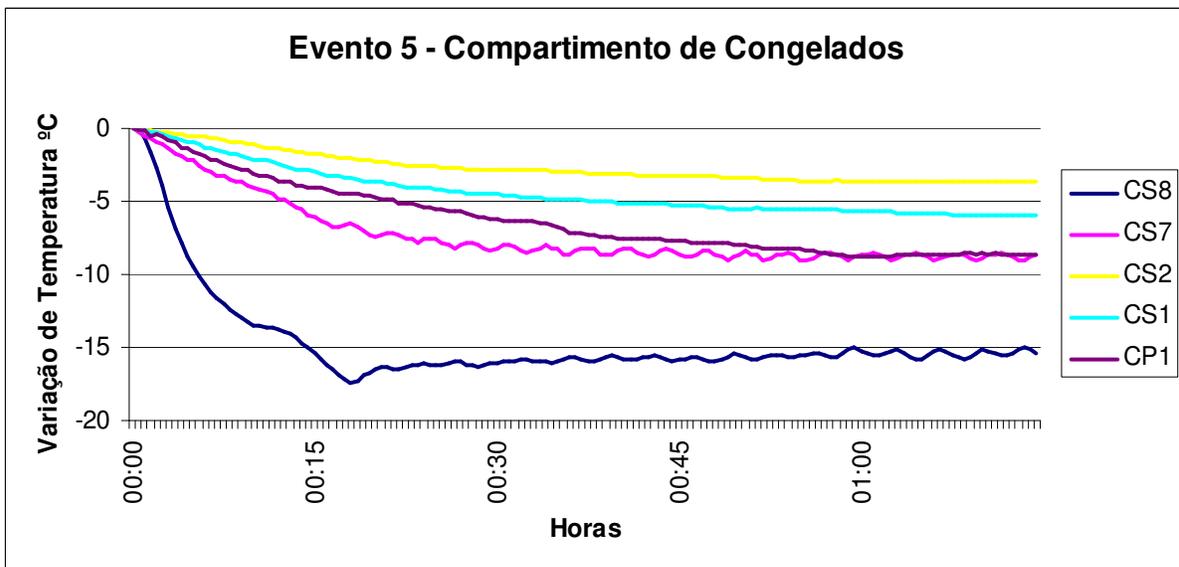


Figura 77 Histórico da retomada das temperaturas - Evento 5 - Compartimento de congelados

A Tabela 1 e a Tabela 2 mostram as variações de temperatura (ΔT) entre as temperaturas no final das retomadas e as encontradas no início do dia, nos momentos imediatamente anteriores à primeira abertura de portas.

Tabela 1 Retomada de temperatura pelo sistema de refrigeração nos 3 primeiros eventos.

	T(°C) do evento 1 (duração: 1h31)				T(°C) do evento 2 (duração: 1h15)				T(°C) do evento 3 (duração: 2h35)			
	Início da retomada	Final da retomada	Início do dia	ΔT	Início da retomada	Final da retomada	Início do dia	ΔT	Início da retomada	Final da retomada	Início do dia	ΔT
CS1	-2,6	-4,6	-7,9	3,3	1,3	-5,1	-6,7	1,6	-2,7	-4,6	-2,5	-2,1
CS2	-4,7	-6,9	-7,3	0,4	-3,0	-5,2	-5,1	-0,1	-5,2	-6,3	-5,5	-0,8
CS6	-5,7	-9,0	-9,8	0,8	-3,3	-9,1	-9,9	0,8	-7,5	-9,8	-8,8	-1,0
CS7	-7,1	-10,6	-9,8	-0,6	-3,9	-10,2	-10,7	0,5	-9,4	-10,0	-10,0	0,0
CS8	-4,0	-11,2	-10,1	-1,1	2,9	-11,0	-11,1	0,1	-9,8	-10,7	-10,8	0,1
CP1	6,4	-1,5	-7,0	5,5	8,5	-4,0	-4,2	0,2	4,0	-2,7	-3,7	1,0
EvRet1	-0,1	-9,4	-9,8	0,4	-1,0	-8,9	-10,3	1,4	-7,6	-9,8	-9,8	0,0
Média	-2,5	-7,6	-8,8	1,2	0,2	-7,6	-8,3	0,7	-5,5	-7,7	-7,3	-0,4
RS2	10,3	6,0	-0,5	6,5	8,3	3,7	-0,4	4,1	12,4	6,5	3,4	3,1
RS4	16,4	10,3	1,2	9,1	12,1	6,1	2,7	3,4	17,1	11,4	4,3	7,1
RS6	6,8	4,0	-1,9	5,9	4,9	1,4	-1,2	2,6	-	-	-	-
RS7	15,3	4,7	0,2	4,5	10,5	2,9	2,5	0,4	11,2	4,1	3,8	0,3
RS8	16,3	2,7	-2,9	5,6	14,3	0,5	-1,9	2,4	10,5	1,9	0,4	1,5
RP3	16,0	4,0	-1,6	5,6	12,4	1,9	-0,8	2,7	11,0	3,6	0,7	2,9
Média	13,5	5,3	-0,9	6,2	10,4	2,8	0,2	2,6	12,4	5,5	2,5	3,0

Tabela 2 Retomada de temperatura pelo sistema de refrigeração nos 2 últimos eventos.

	T(°C) do evento 4 (duração: 31min)				T(°C) do evento 5 (duração: 1h15)			
	Início da retomada	Final da retomada	Início do dia	ΔT	Início da retomada	Final da retomada	Início do dia	ΔT
CS1	-3,9	-5,3	-7,0	1,7	1,7	-4,3	-7,0	2,7
CS2	-3,6	-6,8	-6,7	-0,1	-2,3	-6,0	-6,7	0,7
CS6	-	-	-	-	-	-	-	-
CS7	-6,2	-9,4	-11,2	1,8	-2,6	-11,1	-11,2	0,1
CS8	-6,0	-11,8	-11,0	-0,8	3,5	-12,1	-11,0	-1,1
CP1	4,0	-1,1	-4,9	3,8	7,1	-1,6	-4,9	3,3
EvRet1	-3,5	-8,9	-9,4	0,5	-1,2	-9,1	-9,4	0,3
Média	-3,2	-7,2	-8,4	1,2	1,0	-7,4	-8,4	1,0
RS2	8,0	6,5	1,6	4,9	10,4	6,7	1,6	5,1
RS4	13,0	10,3	3,0	7,3	15,0	11,3	3,0	8,3
RS6	-	-	-	-	-	-	-	-
RS7	8,4	6,5	2,7	3,8	11,5	5,0	2,7	2,3
RS8	14,0	4,7	-1,5	6,2	17,2	4,0	-1,5	5,5
RP3	14,0	6,9	-0,5	7,4	15,0	5,2	-0,5	5,7
Média	11,5	7,0	1,1	5,9	13,8	6,4	1,1	5,3

A carga térmica (Q) retirada de uma massa de ar (m) pelo sistema de refrigeração para reduzir a sua temperatura em ΔT é expressa pela equação $Q = mCp_{ar}\Delta T$. Dividindo-se ambos os lados da equação pelo tempo gasto na retomada (Δt) pelo sistema de refrigeração para reduzir a temperatura do ar em ΔT , tem-se a potência $P = mCp_{ar}\Delta T / \Delta t$ do sistema durante o processo de retomada. Assim, a relação $\Delta T / \Delta t$ é um indicativo da potência do sistema durante a retomada de temperatura. O raciocínio não contempla o efeito que os produtos presentes no interior da carroceria têm sobre a redução da temperatura do ar, uma vez que eles também auxiliam na redução da carga térmica do ambiente pela absorção de calor.

A Tabela 3 mostra as variações de temperatura (ΔT) durante as retomadas de cada evento citado anteriormente, além dos valores dos tempos de retomada (Δt) e a relação $\Delta T / \Delta t$ para cada sensor. Foi feita uma média aritmética dos valores desta relação com o intuito de se encontrar um valor médio que representasse cada evento.

Os valores médios encontrados de $\Delta T / \Delta t$ são apenas indicativos da potência do sistema de refrigeração, porém, como comentado anteriormente, não pôde ser estimado o efeito da retirada de carga térmica pelos produtos localizados no interior da carroceria e, uma vez que em cada evento a quantidade e o tipo de produto transportado eram diferentes, o efeito dos produtos na redução da temperatura interna foi variável em cada situação. Assim, os valores médios de $\Delta T / \Delta t$ dão apenas uma idéia da potência frigorífica do sistema em cada evento.

Tabela 3 Valores de $\Delta T/\Delta t$ para cada sensor interno

	Evento 1		Evento 2		Evento 3		Evento 4		Evento 5	
	$\Delta t = 91 \text{ min}$		$\Delta t = 75 \text{ min}$		$\Delta t = 155 \text{ min}$		$\Delta t = 31 \text{ min}$		$\Delta t = 75 \text{ min}$	
	ΔT	$\Delta T/\Delta t$	ΔT	$\Delta T/\Delta t$	ΔT	$\Delta T/\Delta t$	ΔT	$\Delta T/\Delta t$	ΔT	$\Delta T/\Delta t$
	°C	°C/min	°C	°C/min	°C	°C/min	°C	°C/min	°C	°C/min
CS1	-2,0	-0,02	-6,4	-0,09	-1,9	-0,01	-1,4	-0,05	-6,0	-0,08
CS2	-2,2	-0,02	-2,2	-0,03	-1,1	-0,01	-3,2	-0,10	-3,7	-0,05
CS7	-3,5	-0,04	-6,3	-0,08	-0,6	0,00	-3,2	-0,10	-8,5	-0,11
CS8	-7,2	-0,08	-13,9	-0,19	-0,9	-0,01	-5,8	-0,19	-15,6	-0,21
CP1	-7,9	-0,09	-12,5	-0,17	-6,7	-0,04	-5,1	-0,16	-8,7	-0,12
EvRet1	-9,3	-0,10	-7,9	-0,11	-2,2	-0,01	-5,4	-0,17	-7,9	-0,11
RS2	-4,3	-0,05	-4,6	-0,06	-5,9	-0,04	-1,5	-0,05	-3,7	-0,05
RS4	-6,1	-0,07	-6,0	-0,08	-5,7	-0,04	-2,7	-0,09	-3,7	-0,05
RS7	-10,6	-0,12	-7,6	-0,10	-7,1	-0,05	-1,9	-0,06	-6,5	-0,09
RS8	-13,6	-0,15	-13,8	-0,18	-8,6	-0,06	-9,3	-0,30	-13,2	-0,18
RP3	-12,0	-0,13	-10,5	-0,14	-7,4	-0,05	-7,1	-0,23	-9,8	-0,13
Média		-0,08		-0,11		-0,03		-0,14		-0,11

Observa-se que os valores encontrados foram próximos ($\sim 0,1 \text{ }^\circ\text{C/min}$), o que sugere que independente das peculiaridades de cada evento o sistema de refrigeração teve capacidades de retomada de temperatura semelhantes. Uma hipótese para tal fato é que o compressor acoplado, que tem capacidade variável conforme a rotação momentânea do eixo do motor, estava funcionando em rotações semelhantes durante os processos de retomada em cada evento, já que o caminhão encontrava-se em deslocamento em todos os casos.

O evento 3 foi o que apresentou o menor valor médio de $\Delta T/\Delta t$. O efeito de perturbação devido às constantes aberturas de porta no dia monitorado provocou um aumento na entrada de carga térmica no ambiente frigorificado, dificultando o trabalho de redução da temperatura interna pelo sistema de refrigeração. Além disso, ainda devido ao grande número de entregas realizadas no dia em questão, o tempo total em que o caminhão permaneceu parado (com o motor em baixa rotação) foi elevado, o que implicou no trabalho do compressor

acoplado abaixo de sua capacidade máxima, influenciando negativamente na capacidade frigorífica do sistema de refrigeração.

5.9. Teste de variação de temperatura de produtos

Foi feito o acompanhamento da temperatura de produtos-teste resfriados e congelados durante períodos de entregas. Os produtos, disponibilizados por uma empresa fabricante de produtos cárneos industrializados, foram instrumentados por termopares com o objetivo de verificar como as perturbações térmicas do transporte, durante o período de entregas, influenciavam a variação da temperatura dos alimentos.

Dois embalagens de presunto cozido no compartimento de resfriados e duas embalagens de lingüiça congelada no compartimento de congelados tiveram suas superfícies monitoradas continuamente pelos sensores de temperatura. A disposição dos sensores foi a seguinte:

- Produtos congelados:
 - Cada uma das duas amostras (embalagem plástica de 6 kg de lingüiça) recebeu um termopar tipo K (I2-1 e I2-2) que foi fixado sobre a superfície da embalagem primária (embalagem plástica).
- Produtos resfriados:
 - Cada uma das duas amostras (caixa de papelão de 6,9 kg com duas peças de presunto cozido) recebeu um termopar tipo K (I1-1 e I1-3), também fixado sobre a superfície da embalagem primária (embalagem plástica), sob a caixa de papelão.
 - Como somente as embalagens de presunto cozido (resfriados) possuíam uma embalagem secundária de papelão (as embalagens de lingüiça possuíam somente uma embalagem primária plástica), um outro termopar (I1-2), foi fixado sobre a superfície da embalagem secundária (caixa de papelão externa) de uma das duas caixas contendo presunto cozido resfriado.

Foram utilizados, portanto, dois sensores nas embalagens primárias dos produtos congelados e dois sensores nas embalagens primárias dos produtos resfriados, além de um sensor em uma das embalagens secundárias dos produtos resfriados.

A realização dos testes foi feita utilizando-se sempre as mesmas caixas dos produtos-teste em todos os dias de monitoração. Devido a problemas internos na empresa produtora dos alimentos, não foi possível retirar diariamente os produtos-teste das câmaras de estocagem da empresa, de modo que, a partir do momento que os produtos-teste entraram na carroceria, os mesmos permaneceram lá até o final do último dia de teste. Durante a noite, quando não havia entrega, o caminhão permanecia estacionado no pátio da empresa com os produtos-teste no interior da carroceria. O sistema de refrigeração funcionava ininterruptamente através do uso de seu compressor semi-hermético, acionado pela rede elétrica da empresa. Assim, no dia seguinte, ao iniciar o dia de entregas, a temperatura inicial dos produtos-teste não representava a que deveria ser encontrada nos produtos recém tirados da câmara de estocagem de produtos da empresa.

Os produtos foram monitorados por três dias consecutivos no final do período de 14 dias de monitoração (12º, 13º e 14º dias), quando vários sensores de temperatura instalados internamente na carroceria já apresentavam problemas e não podiam ser inicializados. Assim, serão mostradas, juntamente com os dados referentes às variações de temperatura dos produtos-teste, somente as informações sobre as aberturas das portas e sobre os momentos de parada do motor e de degelo.

Da Figura 78 à Figura 83 pode-se verificar o comportamento das temperaturas dos produtos nos três dias de teste. No primeiro dia de teste ocorreram três entregas. A primeira teve a duração de 32 minutos e foi realizada com o motor do caminhão desligado (M1). Entre a primeira e a segunda entrega, o motor do caminhão foi desligado (M2) durante a espera pela autorização do início da entrega. A segunda entrega teve a duração de 42 minutos e também foi feita com o motor desligado (M3). A terceira entrega durou 19 minutos e desta vez o motor permaneceu ligado.

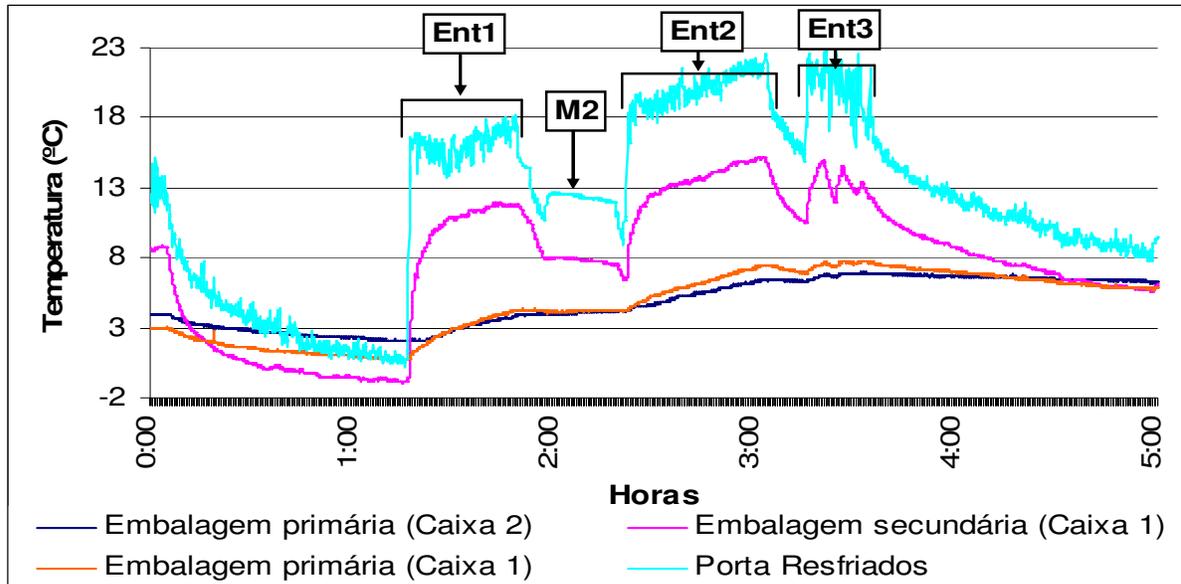


Figura 78 Histórico das temperaturas dos produtos resfriados no primeiro dia de teste

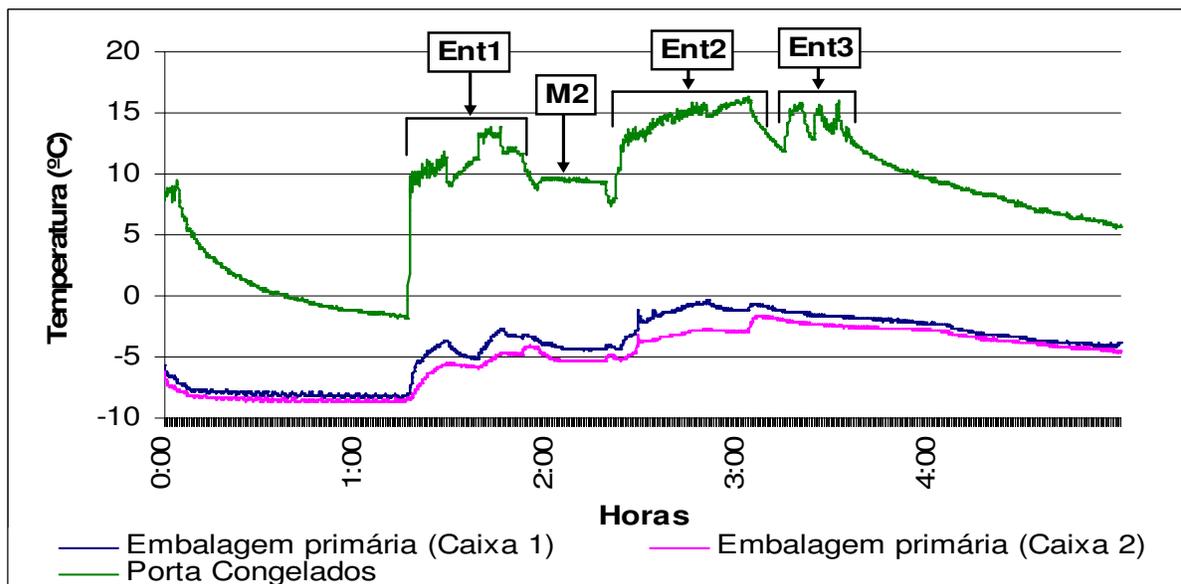


Figura 79 Histórico das temperaturas dos produtos congelados no primeiro dia de teste

No segundo dia de teste com os produtos, 28 entregas ocorreram. O motorista optou por não desligar o motor do caminhão ao longo do dia e, durante as entregas, 4 degelos ocorreram.

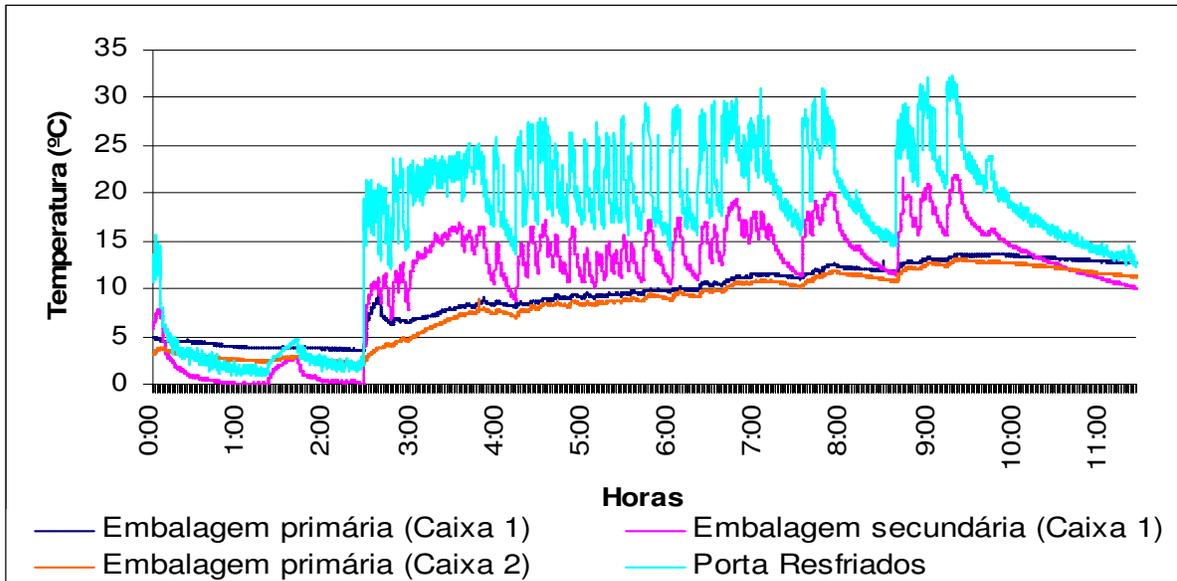


Figura 80 Histórico das temperaturas dos produtos resfriados no segundo dia de teste

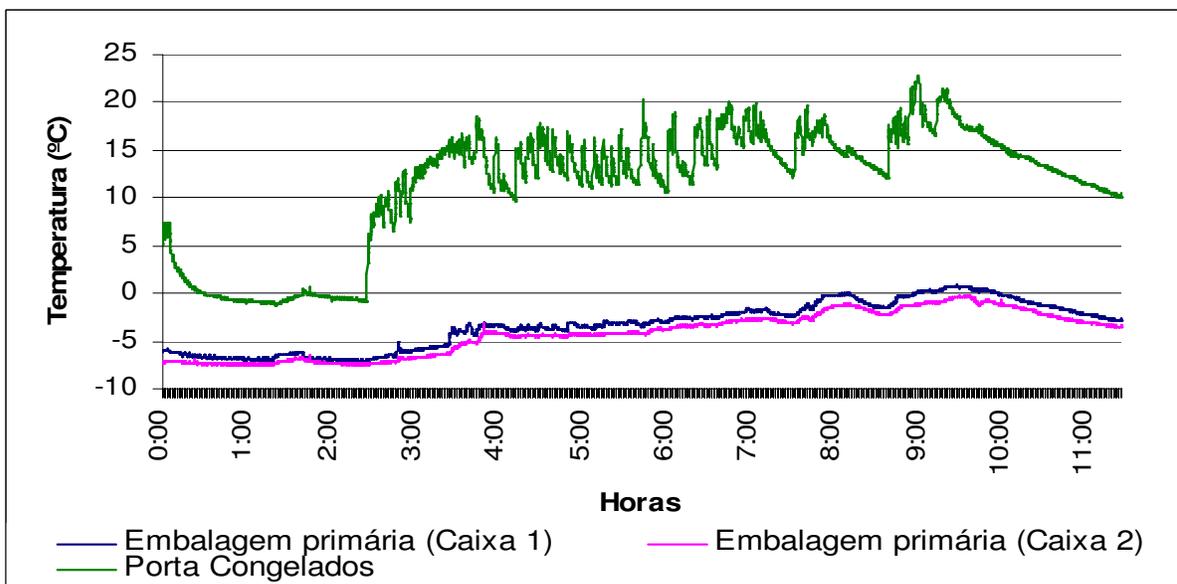


Figura 81 Histórico das temperaturas dos produtos congelados no segundo dia de teste

No terceiro dia de teste, 9 entregas ocorreram, sendo que apenas na segunda, na quarta e na sétima entrega o motor do caminhão foi desligado. No dia todo ocorreram somente 2 degelos.

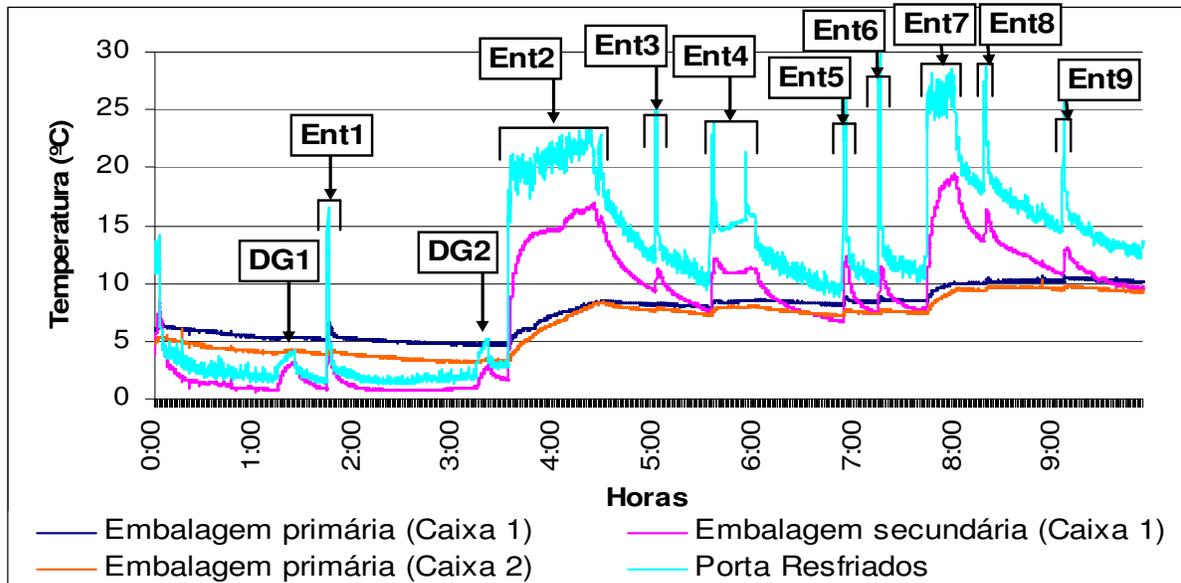


Figura 82 Histórico das temperaturas dos produtos resfriados no terceiro dia de teste

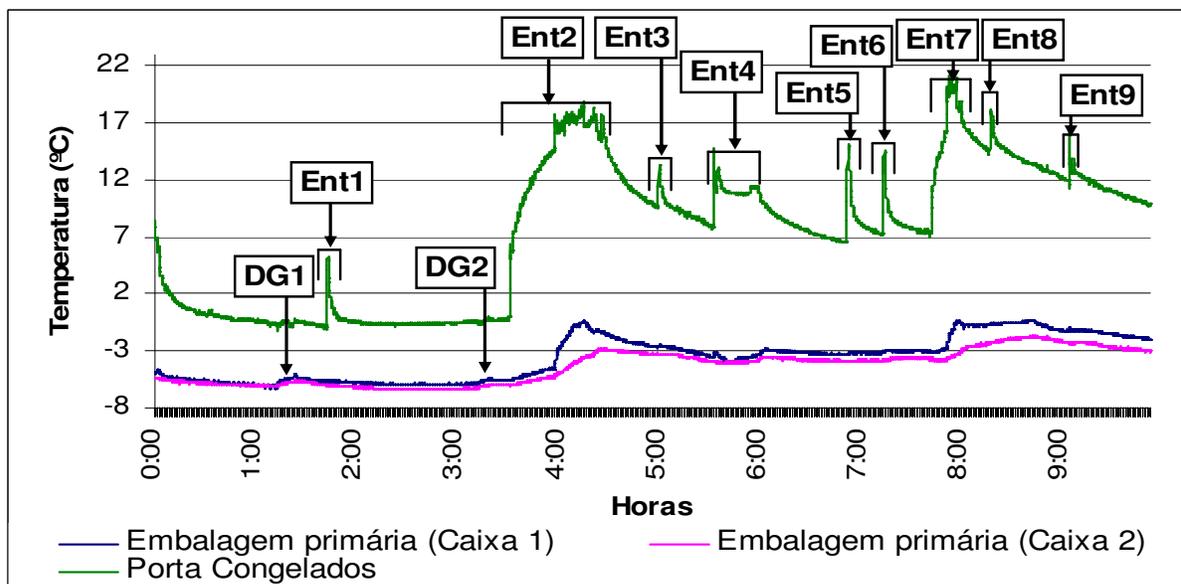


Figura 83 Histórico das temperaturas dos produtos congelados no terceiro dia de teste

A Tabela 4 mostra as máximas temperaturas registradas nos produtos-teste e as temperaturas finais ao chegar ao centro de distribuição.

Tabela 4 Máximas temperaturas verificadas e temperaturas finais nos produtos nos 3 dias de teste.

Amostra	1º dia		2º dia		3º dia		
	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	T (°C)	
	máxima	final	máxima	final	máxima	final	
Resfriados	Emb. Primária (caixa 1)	7,7	5,8	13,6	12,6	10,5	9,7
	Emb. Primária (caixa 2)	6,9	6,3	13,1	11,3	9,7	9,2
	Emb. Secundária (caixa1)	15,0	6,1	21,9	10,0	19,4	9,7
Congelados	Emb. Primária 1 (caixa 1)	-0,3	-3,9	0,8	-2,8	-0,4	-2,0
	Emb. Primária 2 (caixa 2)	-1,7	-4,5	-0,3	-3,5	-1,7	-3,1

Segundo a NBR 14701 (ABNT, 2001) o produto resfriado deve ser mantido durante todo o transporte a uma temperatura entre 0 °C e 5 °C para a manutenção da sua qualidade. Analisando-se as temperaturas registradas no segundo dia de teste com os produtos, observou-se que os produtos resfriados ficaram durante 8h56min a uma temperatura superior a 5 °C.

A Tabela 4 indica que as temperaturas atingidas nas superfícies primárias dos produtos resfriados representaram um risco para a qualidade dos produtos. Nos produtos congelados, as temperaturas superficiais atingidas no segundo dia ocasionaram o descongelamento de parte do produto, o que foi verificado durante uma das entregas, criando condições para uma possível perda de qualidade sensorial.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas monitorações permitem concluir que:

A abertura de portas durante as entregas resulta em uma perturbação térmica que eleva a temperatura interna da carroceria acima dos valores recomendados para a conservação adequada e sanidade dos produtos transportados – No primeiro dia de monitoração foi registrado durante a quinta entrega uma temperatura máxima de 16,6 °C no compartimento de resfriados. No quinto dia de monitoração, durante a segunda entrega, quando o motor do caminhão permaneceu desligado, verificou-se um máximo de 17,2 °C. A temperatura de *set-point* deste compartimento estava ajustada para 0 °C.

O aumento do número de entregas no dia provoca um efeito acumulativo de aumento da temperatura interna durante as entregas, principalmente no compartimento de resfriados - No quarto dia de monitoração, quando foram efetuadas 28 entregas, foram registradas as temperaturas máximas de 18,9 °C para o compartimento de resfriados e de 9,2 °C para o de congelados.

O sistema convencional não é capaz de manter a temperatura dos alimentos transportados durante as entregas - A abertura de portas resulta em aumento considerável na temperatura superficial dos produtos, tendo sido detectadas as temperaturas máximas de 13,6 °C na superfície da embalagem primária do produto resfriado e de 0,8 °C na do produto congelado.

Os aumentos nas temperaturas superficiais dos produtos registrados nas monitorações podem ter contribuído para a perda de sua qualidade - No compartimento de resfriados, as temperaturas superficiais registradas representaram um risco potencial para a qualidade dos alimentos transportados, uma vez que atingiram valores de até 13,6 °C, quando deveriam estar entre 0 °C e 5 °C. Já os produtos congelados sofreram descongelamento parcial, o que pode ter prejudicado a qualidade sensorial.

O sistema convencional não possui capacidade instantânea suficiente para retomar a temperatura entre as entregas. – O sistema de refrigeração atualmente utilizado na distribuição de alimentos refrigerados e congelados sob condições tropicais apresenta

limitações quanto à manutenção da temperatura interna da carroceria durante a rotina real de distribuição. Em instantes de elevada carga térmica, como ocorre durante a abertura das portas da carroceria para o descarregamento dos produtos, o sistema de refrigeração não é capaz de responder rapidamente à perturbação ocorrida, uma vez que a sua capacidade frigorífica máxima é dimensionada para condições em regime permanente e não para quando há cargas térmicas instantâneas intensas (regime transiente). Verificou-se que mesmo com períodos entre 1h e 2h de retomada, o sistema não foi capaz de reduzir plenamente as temperaturas internas para os valores encontrados no início de cada dia.

O ato de desligar o motor do caminhão durante as aberturas das portas reduz a necessidade de realização de degelo da serpentina do evaporador – Desligando-se o motor do caminhão, os ventiladores do evaporador permanecem inoperantes, não havendo, portanto, uma maior substituição do ar refrigerado por ar quente e úmido do ambiente externo enquanto as portas estão abertas, reduzindo-se a necessidade da realização de degelos.

O compartimento de resfriados atua como uma antecâmara para o compartimento de congelados – Durante as entregas, parte da carga térmica proveniente do ambiente externo era retirada no ambiente de resfriados, de modo que quando o ar entrava no compartimento de congelados, o impacto neste compartimento era menor.

Durante a espera pela liberação do descarregamento nos estabelecimentos comerciais as temperaturas superficiais externas da carroceria se elevam consideravelmente – As temperaturas alcançadas durante estes períodos de espera sugerem a necessidade do uso de docas cobertas para reduzir o impacto causado pela radiação solar sobre a carroceria.

A superfície do piso, externamente, apresenta a temperatura mais elevada dentre as superfícies externas da carroceria durante o deslocamento do caminhão pela rodovia – Devido à influência do asfalto quente da rodovia, juntamente com o ar quente proveniente do motor do caminhão, a superfície do piso é aquecida durante o deslocamento do caminhão pela rodovia.

Os operadores de transporte envolvidos na distribuição de alimentos refrigerados precisam receber um melhor treinamento para que o transporte seja realizado corretamente – Os motoristas e os ajudantes devem ser treinados para operarem

adequadamente o caminhão com a carroceria frigorificada. Durante o acompanhamento das monitorações foi possível identificar a falta de conhecimento por parte destes funcionários em relação a práticas fundamentais de manutenção das condições de transporte. As pessoas envolvidas no processo de carregamento dos produtos no centro de distribuição precisam realizar um planejamento prévio da disposição dos produtos no interior da carroceria, visando agilizar o processo de descarregamento durante as entregas, o que diminuiria o impacto causado pela entrada da carga térmica externa no ambiente refrigerado.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Monitoração em diferentes épocas do ano – Poderia ser feita a monitoração do transporte de produtos resfriados e congelados em outros meses do ano para verificar a influência das condições externas sobre a carroceria em movimento e durante as entregas.

Monitoração em outras regiões do país – Realizar os ensaios de monitoração em outros locais do país, tanto em regiões mais quentes quanto em mais frias, seria interessante para analisar o comportamento das variáveis durante o transporte.

Monitoração com outros tipos de carroceria – A utilização de carrocerias de outros modelos e tamanhos durante as monitorações seria útil para determinar o desempenho de cada uma delas.

Monitoração com produtos recém retirados da câmara de estocagem do centro de distribuição – Como não foi possível neste trabalho realizar os testes com os produtos recém retirados da câmara de estocagem da empresa produtora dos alimentos, sugere-se uma monitoração das variações de temperaturas dos produtos logo após a saída destes da câmara, de modo que os resultados irão representar de forma mais realista as condições de transporte.

Analisar o funcionamento do compressor acoplado durante a monitoração – Neste trabalho, a análise das rotações do compressor acoplado durante as monitorações não pôde ser realizado, pois o instrumento de medição foi danificado durante os testes e foi inutilizado. Assim, sugere-se uma monitoração das condições de transporte juntamente com a medida destas rotações.

Desenvolvimento de um resfriador termoacumulado de ar – Visando suprir a necessidade de refrigeração instantânea durante os momentos de maior demanda frigorífica, como ocorre durante as aberturas das portas nas entregas de mercadorias, poderia ser utilizada a termoacumulação com o intuito de armazenar a capacidade excedente proveniente dos momentos de capacidade ociosa do sistema de refrigeração convencional e utiliza-la nos momentos de alta demanda térmica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Transporte de produtos alimentícios refrigerados – procedimentos e critérios de temperatura - NBR 14701. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001, 7p.
2. ASHBY, B. H. et al. **Protecting Perishable Foods During Transport by Truck** - Agricultural Handbook N° 669. Washington: USDA, 1987, 94 p.
3. ASHRAE. Cargo containers, rail cars, trailers, and trucks. In: **Handbook: Refrigeration**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. Atlanta: ASHRAE, 2002.
4. **ASTM Manual on the use of thermocouples in temperature measurement**. Filadélfia: American Society for testing and materials. 1974, 252p.
5. BAPTISTA, V. **Controle preciso, monitoramento em tempo real**. Revista ABRAVA, edição 226, junho/2005, p.48-50.
6. BØGH-SØRENSEN, L. Frozen food legislation. **Bulletin of the IIR**, Paris, n.4, p.5-18, 2002.
7. COMMÈRE, B. Controlling the cold chain to ensure food hygiene and quality. **Bulletin of the IIR**, Paris, n.2, p.5-13, 2003.
8. DOSSAT, R. J. **Princípios de Refrigeração**. São Paulo: Hemus, 1980. 884p.
9. ESTRADA-FLORES, S.; EDDY, A. Thermal performance indicators for refrigerated road vehicles. **International Journal of Refrigeration**, Paris, v.29, p.889-898, 2006.
10. GODDARD, W.F. The floor – a common denominator for refrigerated transport problems. In: **Transport of perishable produce in refrigerated vehicles and containers**. International Institute of Refrigeration -Commision D2, Wageningen. Paris: IIR, 1974, p.39-49.

11. HEAP, R. D. Cold chain performance issues now and in the future. **Bulletin of the IIR**, Paris, n.4, p.1-11, 2006.
12. HEAP, R., KIERSTAN, M., FORD, G. Food transportation. Londres: Blackie A & P. 1998, 242p.
13. HIRA, R. **Manual de Transporte Frigorificado**. SãoPaulo: Thermoking, 2001. 78p.
14. IIR. **Recommendations for the processing and handling of frozen foods**. Paris: IIR, 1986. 418p.
15. IIR. Recommendations of the IIR on the quick-frozen-foods cold chain: quick-freezer design and construction, cold stores, transport, retail. **International Institute of Refrigeration**. Paris: IIR, 2006, 11p.
16. IIR **Temperature indicators and time-temperature integrators** – 3rd informatory note on refrigeration and food. International Institute of Refrigeration. Paris: IIR, 2004, 3p.
17. IIR **Guide to refrigerated storage**. International Institue of Refrigeration. Paris: IIR, 1976, 188p.
18. ISMAIL, K. A. R. **Técnicas de medidas e instrumentação**. Campinas: Ed do autor, 2003. 514p.
19. ISO **Series 1 Freight Containers – Specification and Testing- Part 2: Thermal Containers - ISO 1496/2**, 4th ed. Genève: International Organization for Standardization, 1996, 51p.
20. MEDEROS, B. J. T. **Uso de containeres refrigerados para o armazenamento de produtos agrícolas**. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 108p, 1996.
21. MERCANTILA. **Guide to food transport – fruit and vegetables**. Copenhagen: Mercantila Publishers, 1989. 247p.

22. NEVES Fo., L. C. Estocagem e distribuição frigorificadas. In: **Refrigeração e alimentos**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas /IBF, 2004, 322p.
23. PEÃO, G. F. R. **Instrumentação e monitoração de uma carroceria comercial frigorificada com avaliação da temperatura de transporte**. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 121p, 1998.
24. SCRINE, G. R. Factors affecting the carriage of meat in containers. In: **Refrigeration of perishable products for distant markets**. International Institute of Refrigeration - Commissions C2-D1-D2-D3, Hamilton. Paris: IIR, 1982, p.225-266.
25. SIGHIERI, L., NISHINARI, A. **Controle automático de processos industriais – Instrumentação**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda. 1998, 234p.
26. SPIESS, W. E. L. The requirements of the cargo: fresh and frozen foods In: **Transport of perishable produce in refrigerated vehicles and containers**. International Institute of Refrigeration - Commission D2, Wageningen. Paris: IIR, 1974, p.31-38.
27. STOECKER, W. F., JABARDO, J. M. S. **Refrigeração industrial**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2002, 371p.
28. TRESSLER, D. K. **The freezing preservation of foods**. Westport: Avi, 1968. v.1, p.199-301.

9. ANEXOS

9.1. Fixação dos sensores na carroceria frigorificada

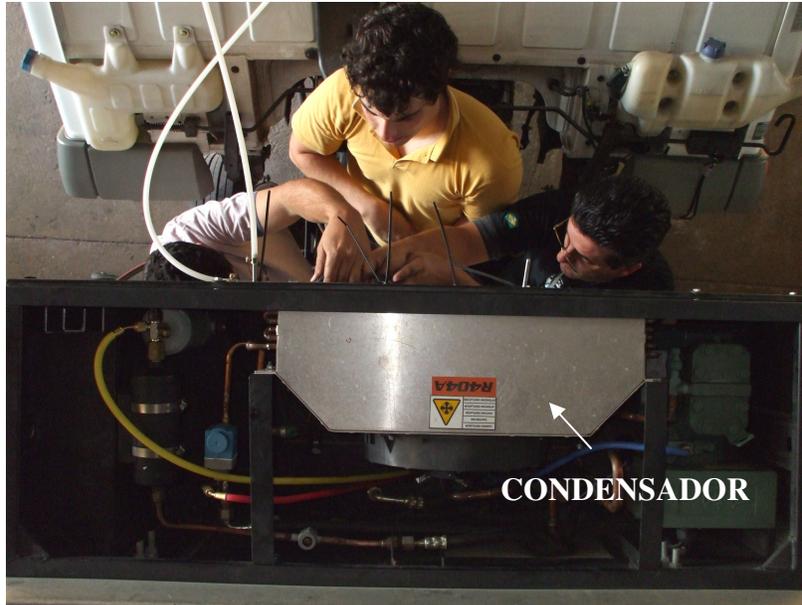


Figura 84 Fixação de sensores no condensador do sistema de refrigeração

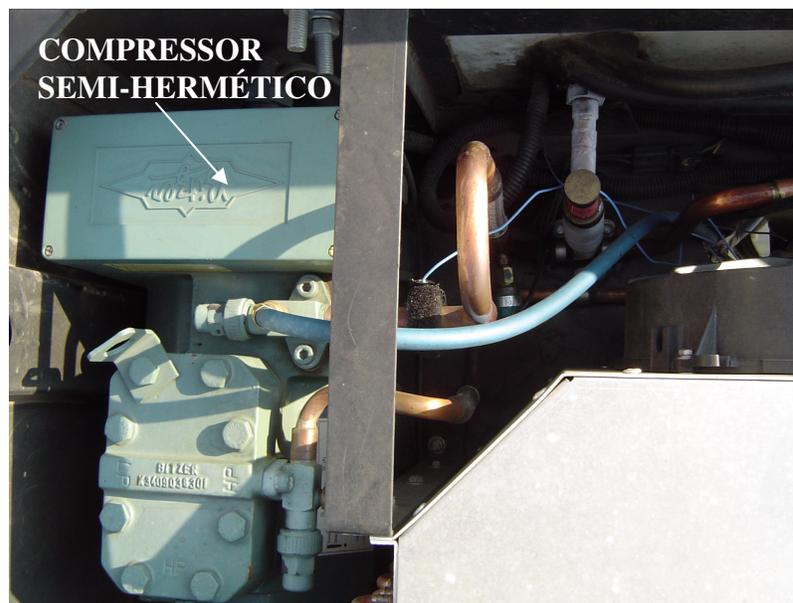


Figura 85 Vista do compressor elétrico-semi-hermético



Figura 86 Fixação dos termopares E1-1 e E1-4 na superfície externa da carroceria



Figura 87 Fixação dos sensores externos E1-2 e E1-3 no piso da carroceria

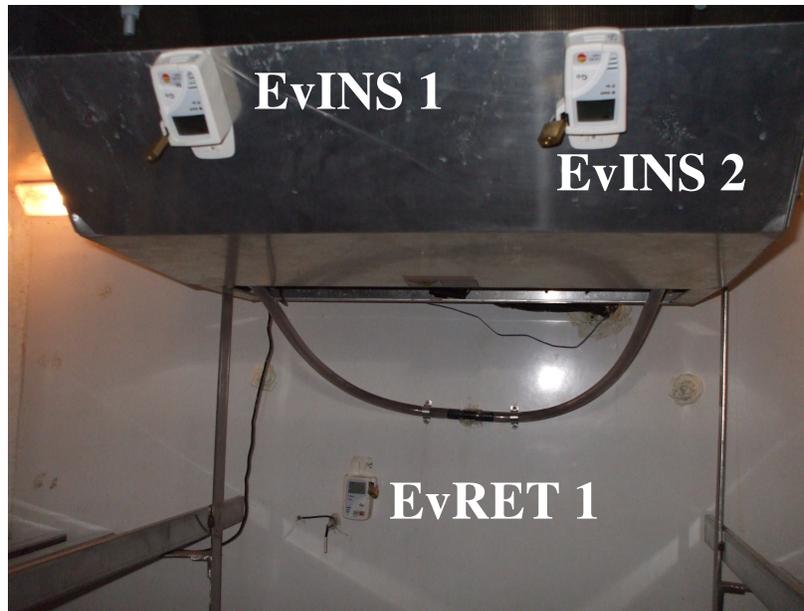


Figura 88 Fixação, na superfície do evaporador, dos sensores EvIns1 e EvIns2 e do sensor EvRet1 na superfície frontal da carroceria.



Figura 89 Fixação dos sensores RP1, RS4, RS8 e do data-logger I1, no compartimento de resfriados.

9.2. 1º dia de monitoração:

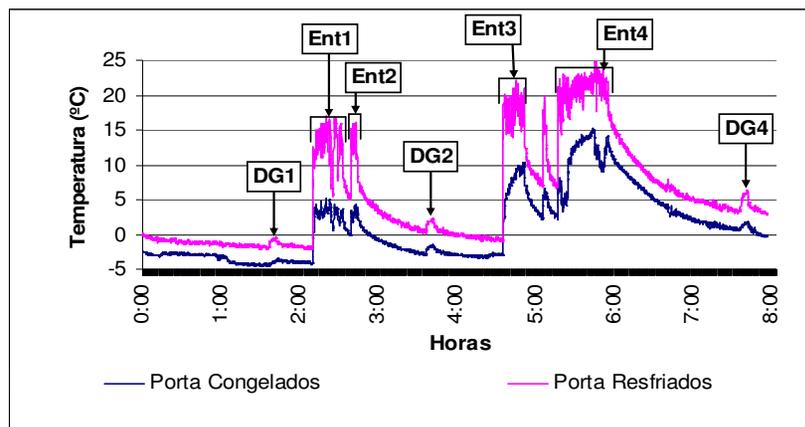


Figura 90 Histórico da abertura de portas no 1º dia de monitoramento.

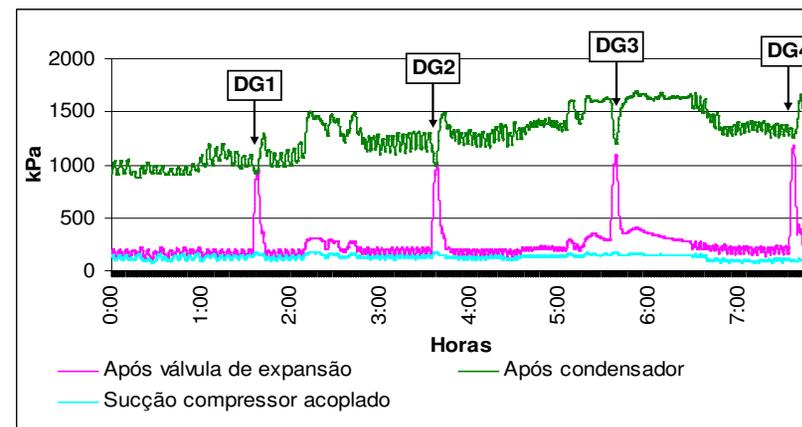


Figura 91 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 1º dia de monitoramento.

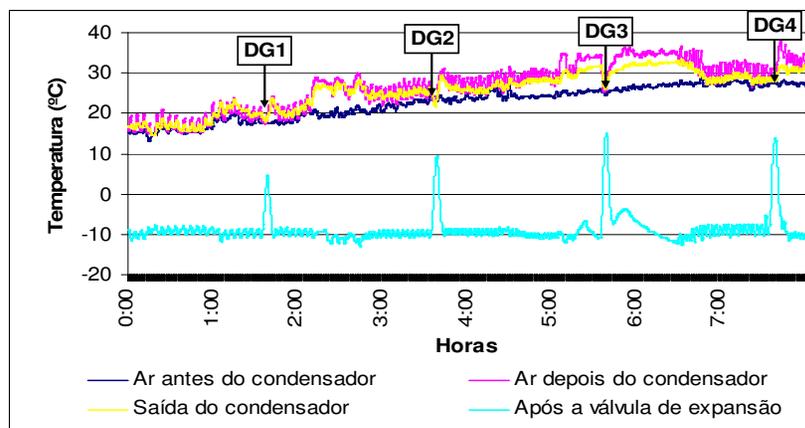


Figura 92 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 1º dia de monitoramento

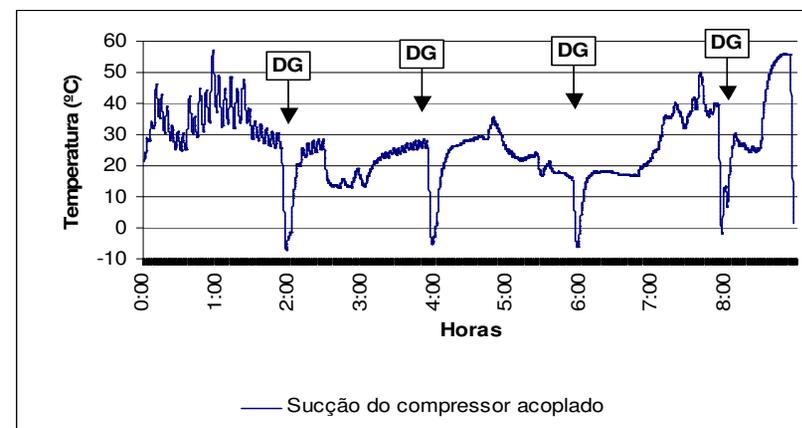


Figura 93 Histórico da temperatura na linha de sucção do compressor acoplado no 1º dia de monitoramento.

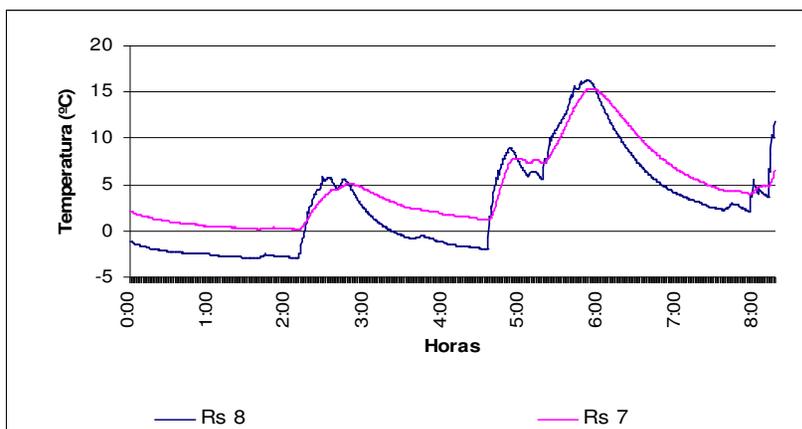


Figura 94 Sensores RS7 e RS8 no 1º dia de monitoramento.

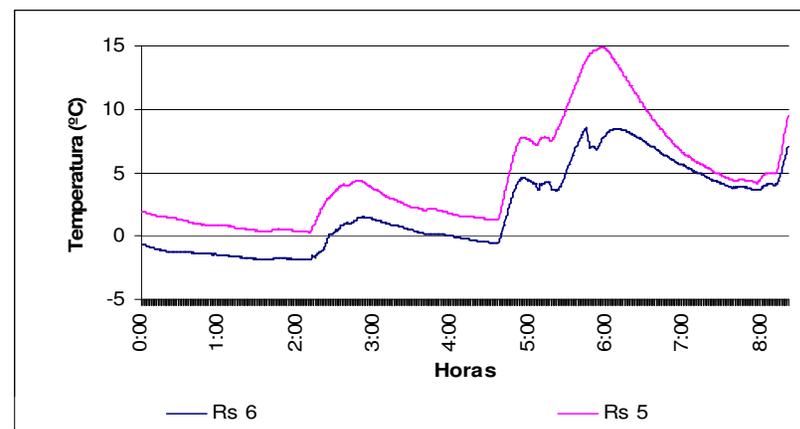


Figura 95 Sensores RS5 e RS6 no 1º dia de monitoramento.

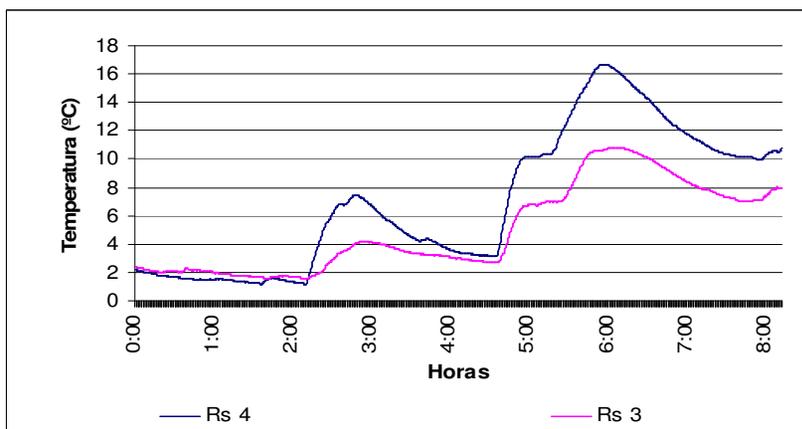


Figura 96 Sensores RS3 e RS4 no 1º dia de monitoramento.

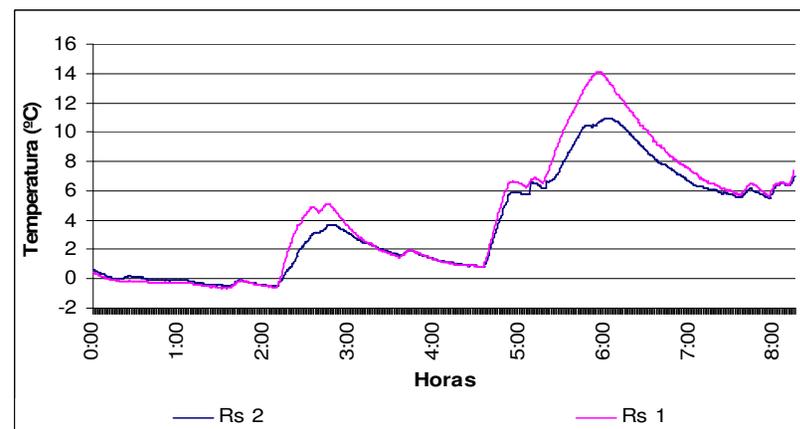


Figura 97 Sensores RS1 e RS2 no 1º dia de monitoramento.

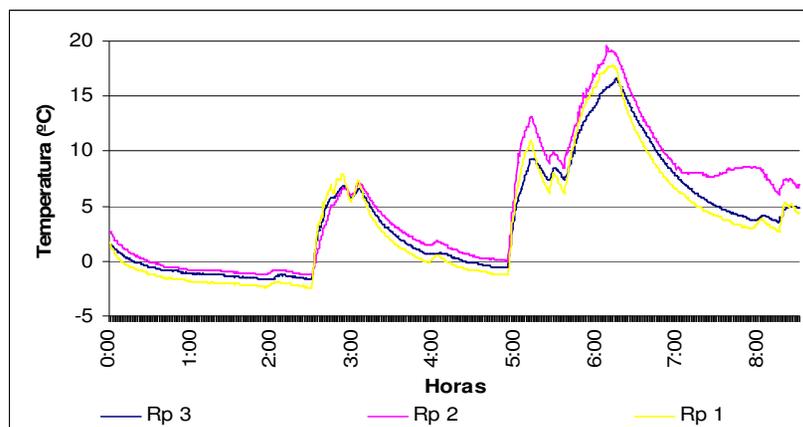


Figura 98 Sensores RP1 a RP3 no 1º dia de monitoramento.

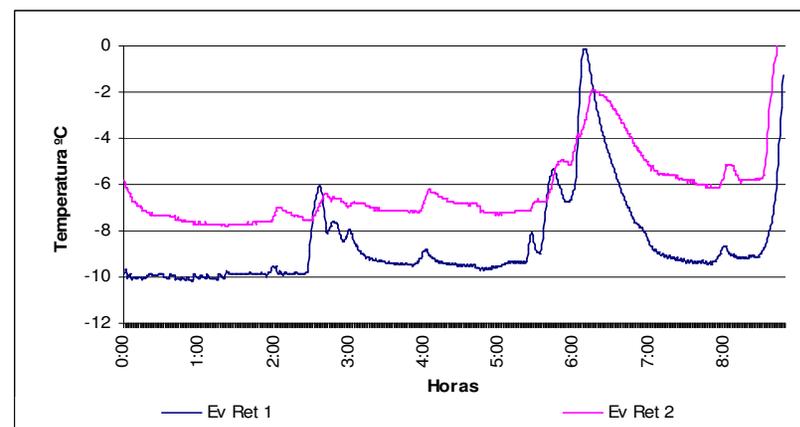


Figura 99 Histórico das temperaturas do ar de retorno no 1º dia de monitoramento.

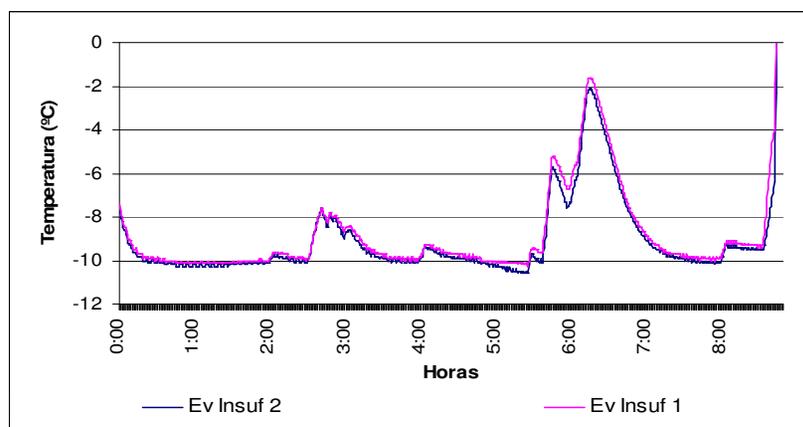


Figura 100 Histórico das temperaturas do ar de insuflamento no 1º dia de monitoramento.

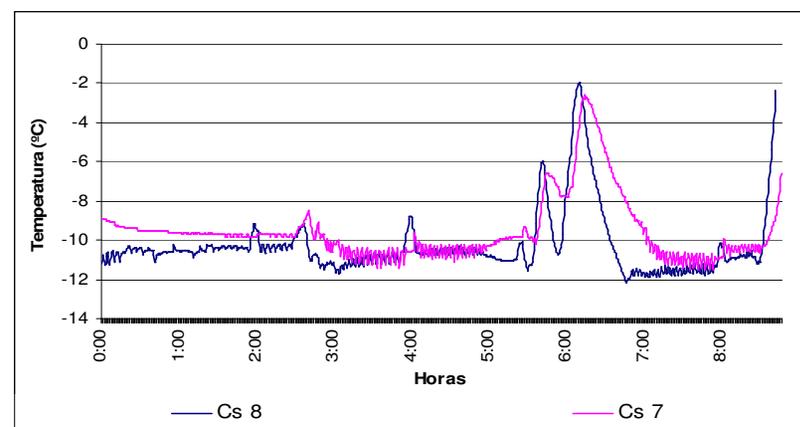


Figura 101 Sensores CS7 e CS8 no 1º dia de monitoramento.

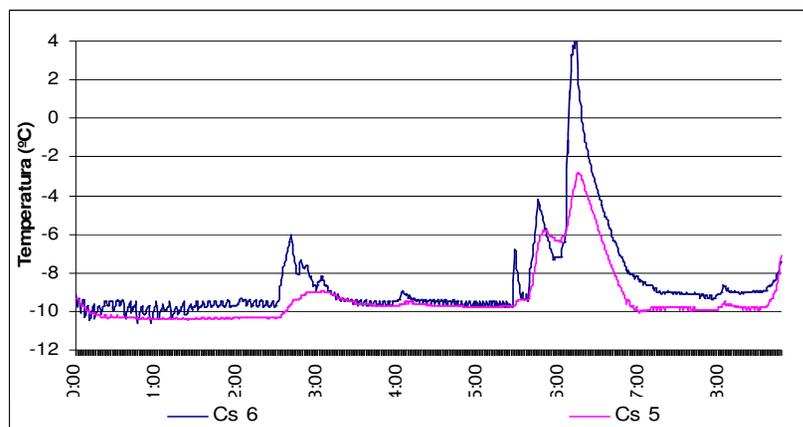


Figura 102 Sensores CS5 e CS6 no 1º dia de monitoramento.

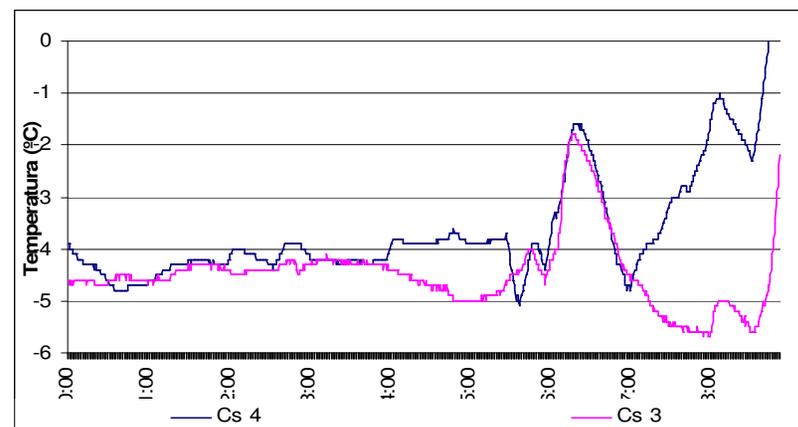


Figura 103 Sensores CS3 e CS4 no 1º dia de monitoramento.

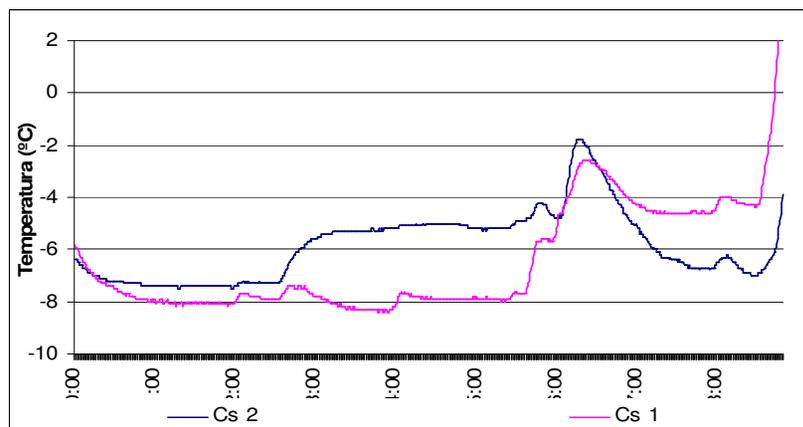


Figura 104 Sensores CS1 e CS2 no 1º dia de monitoramento.

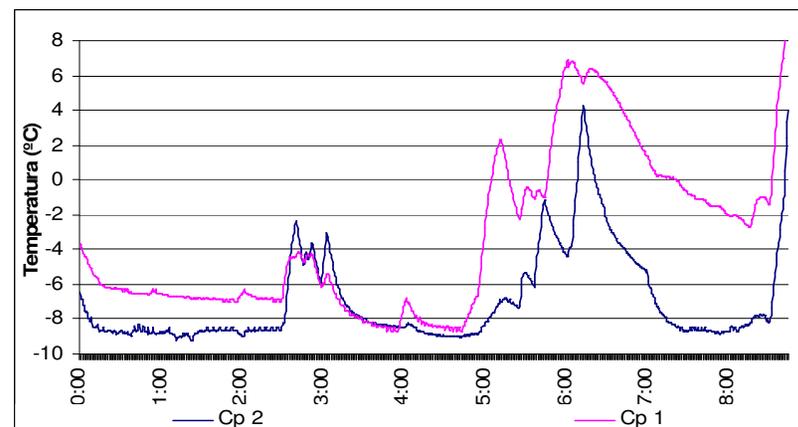


Figura 105 Sensores CP1 e CP2 no 1º dia de monitoramento.

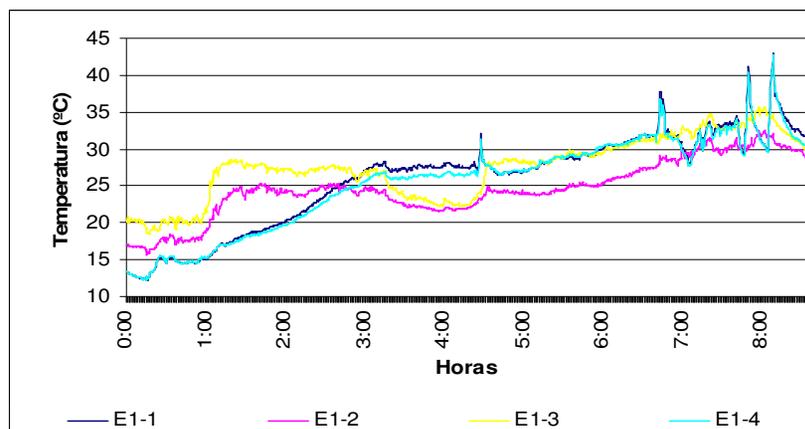


Figura 106 Histórico das temperaturas externas da lateral esquerda e do piso da carroceria no 1º dia de monitoramento.

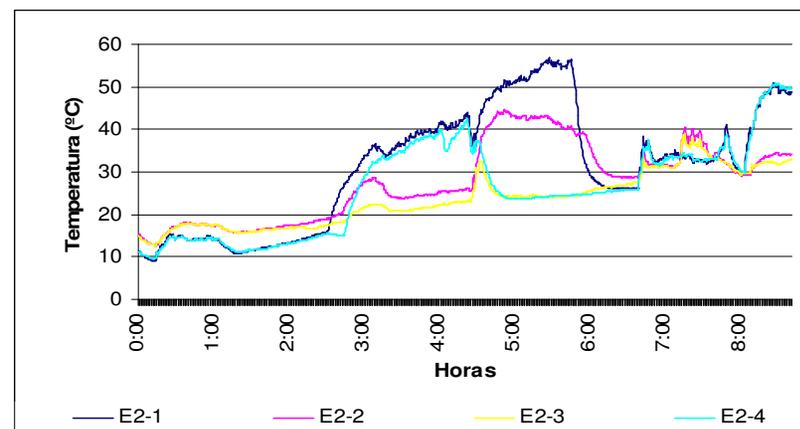


Figura 107 Histórico das temperaturas externas do teto e da traseira da carroceria no 1º dia de monitoramento.

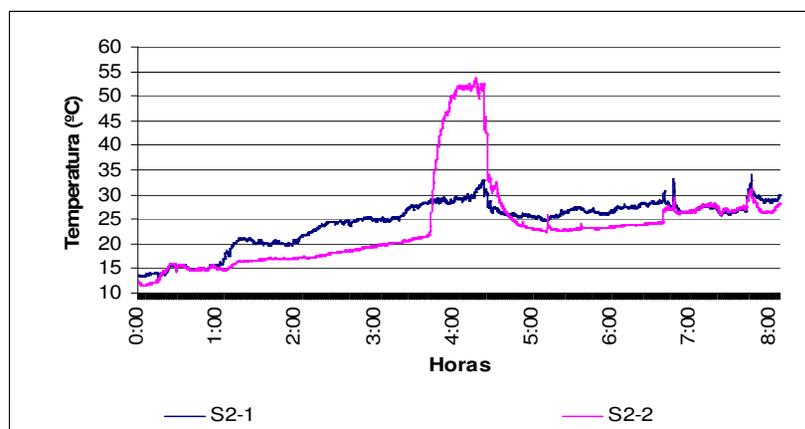


Figura 108 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 1º dia de monitoramento.

9.3. 2º dia de monitoração:

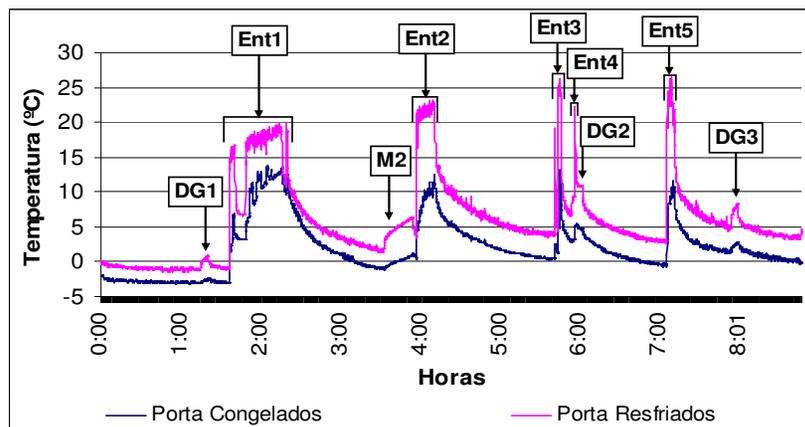


Figura 109 Histórico das temperaturas com a abertura de portas no 2º dia de monitoramento

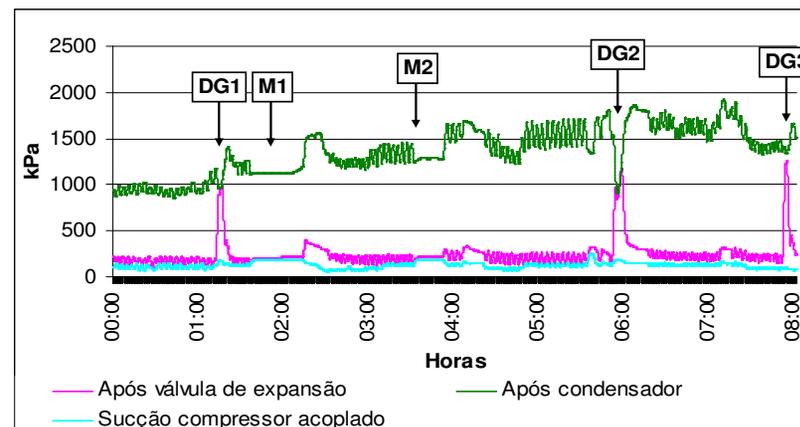


Figura 110 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 2º dia de monitoramento.

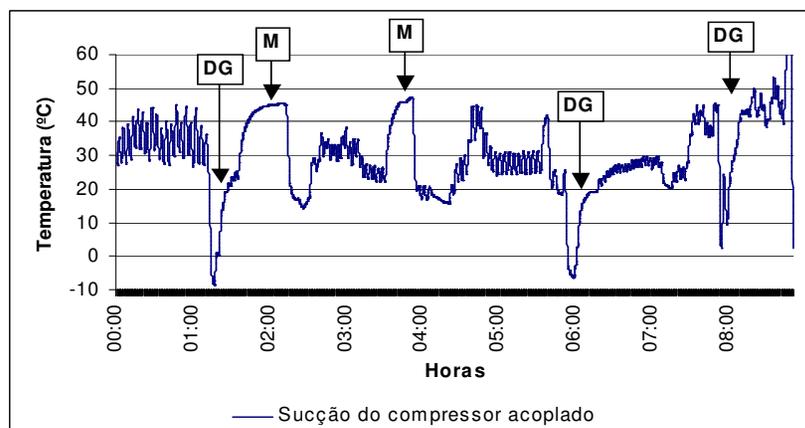


Figura 111 Temperatura na linha de sucção do compressor acoplado no 2º dia de monitoramento.

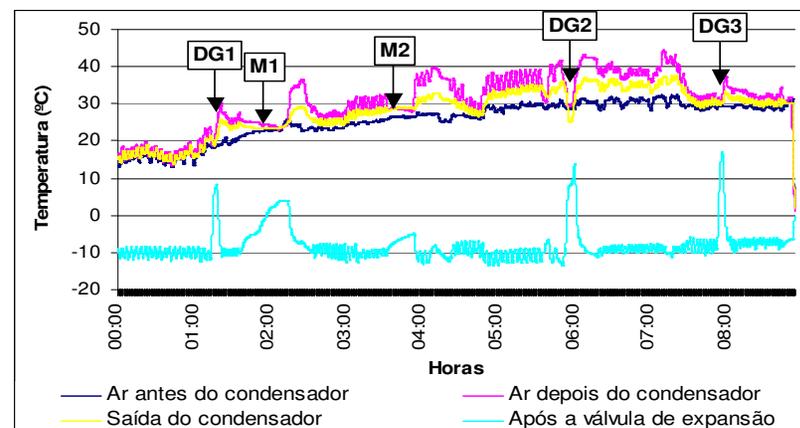


Figura 112 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 2º dia de monitoramento.

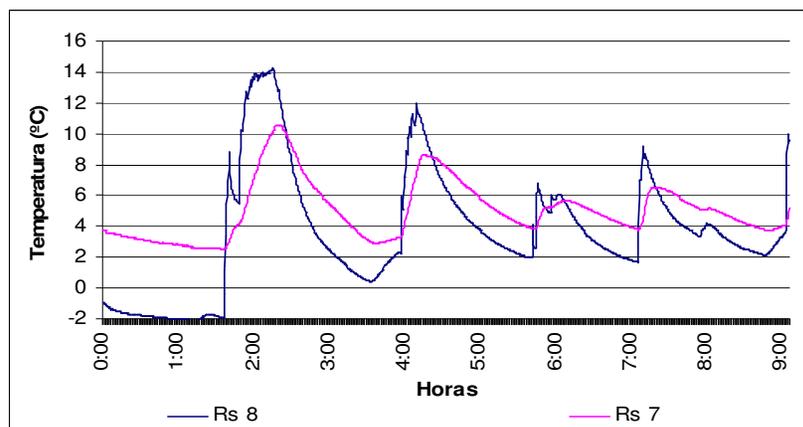


Figura 113 Sensores RS7 e RS8 no 2º dia de monitoramento.

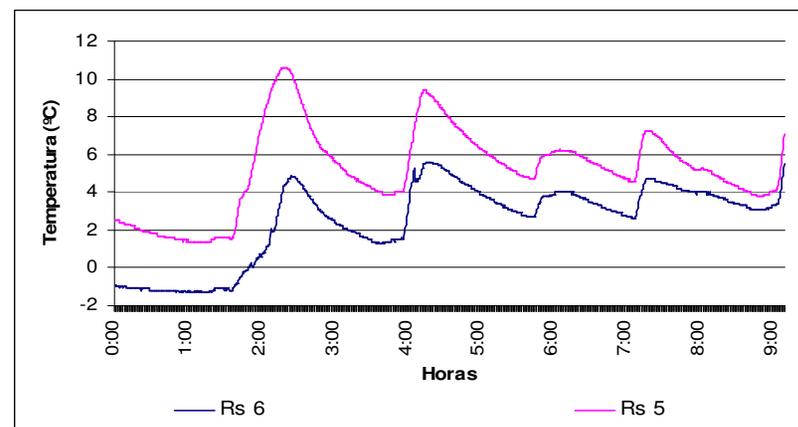


Figura 114 Sensores RS5 e RS6 no 2º dia de monitoramento.

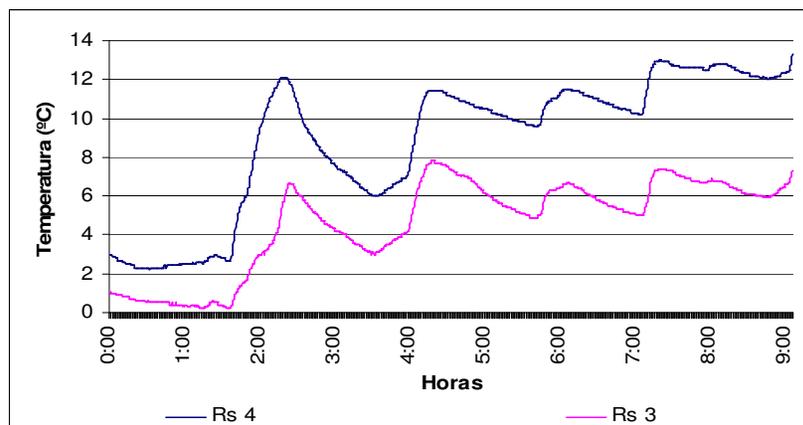


Figura 115 Sensores RS3 e RS4 no 2º dia de monitoramento.

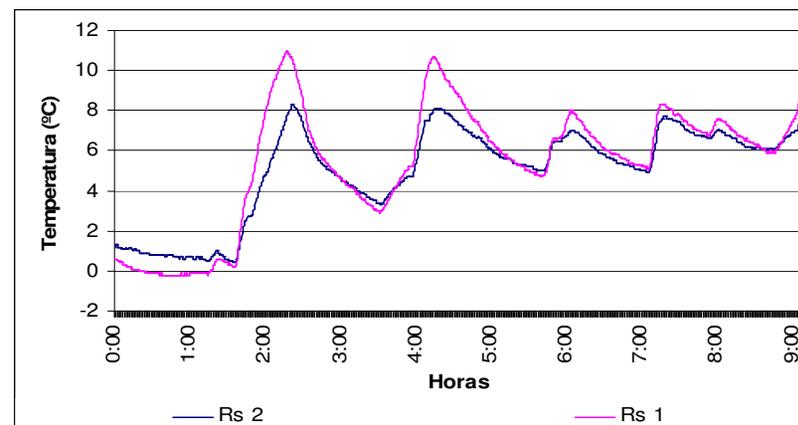


Figura 116 Sensores RS1 e RS2 no 2º dia de monitoramento.

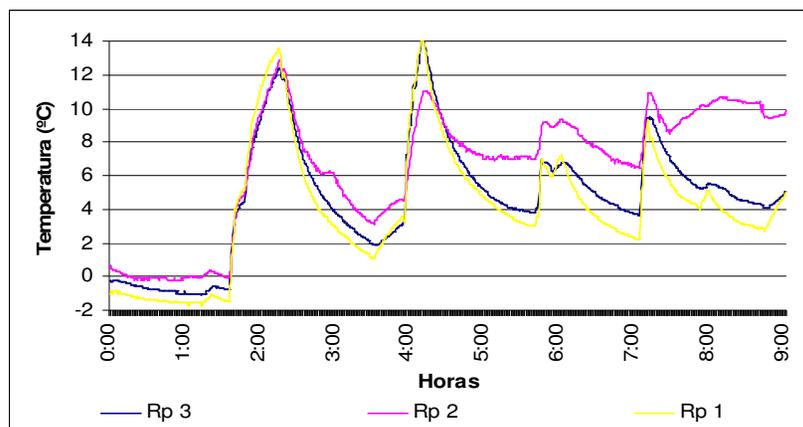


Figura 117 Sensores RP1 a RP3 no 2º dia de monitoramento.

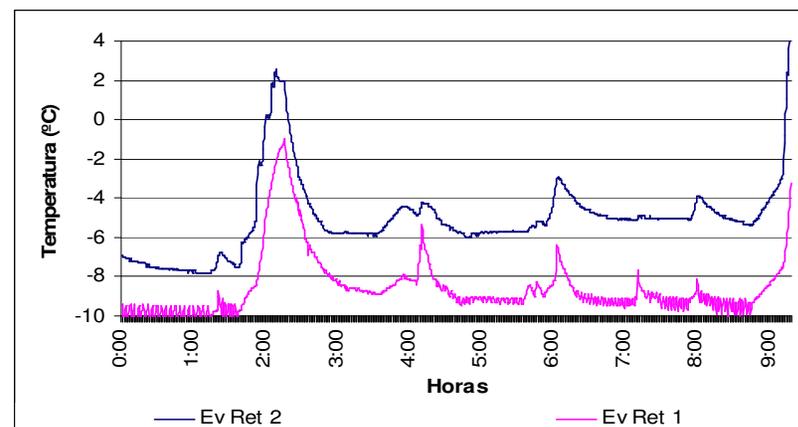


Figura 118 Histórico das temperaturas do ar de retorno no 2º dia de monitoramento.

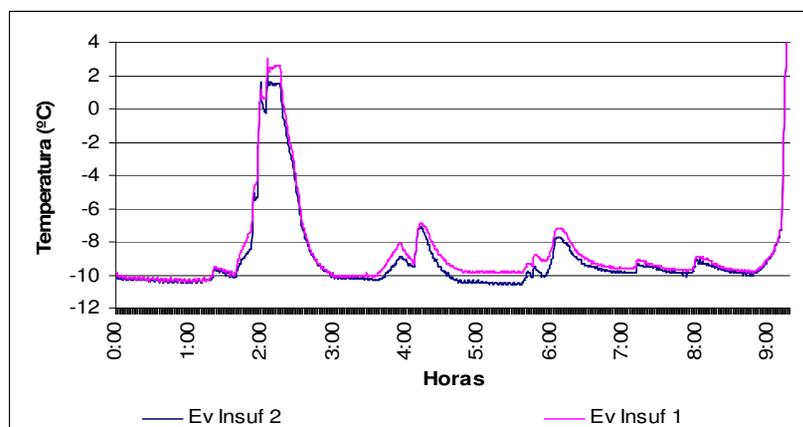


Figura 119 Histórico das temperaturas do ar de insuflamento no 2º dia de monitoramento.

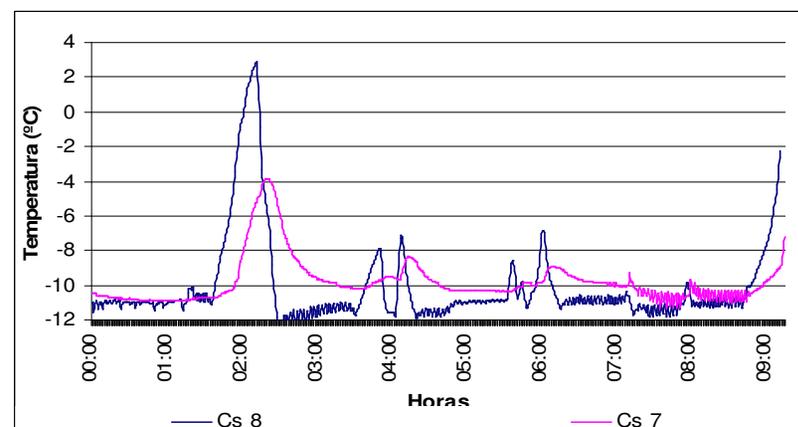


Figura 120 Sensores CS7 e CS8 no 2º dia de monitoramento.

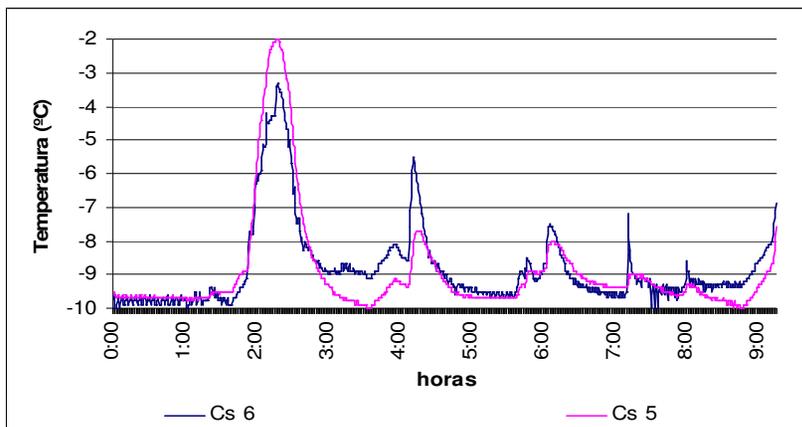


Figura 121 Sensores CS5 e CS6 no 2º dia de monitoramento.

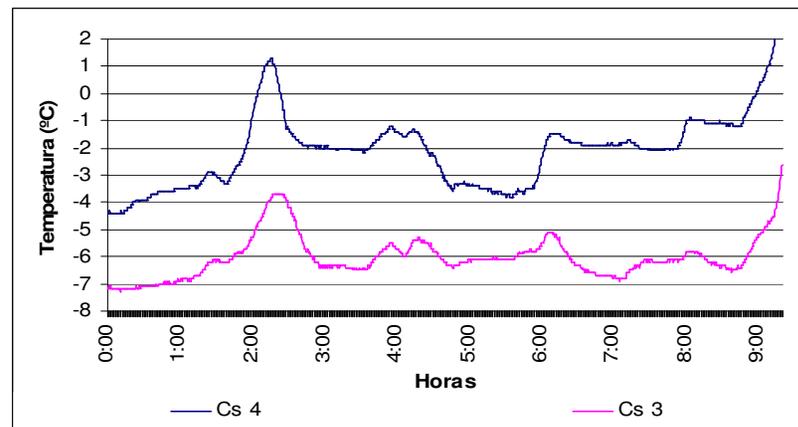


Figura 122 Sensores CS3 e CS4 no 2º dia de monitoramento.

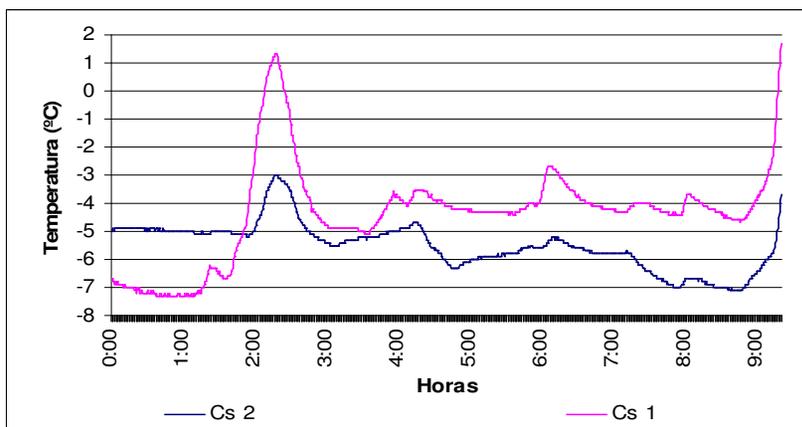


Figura 123 Sensores CS1 e CS2 no 2º dia de monitoramento

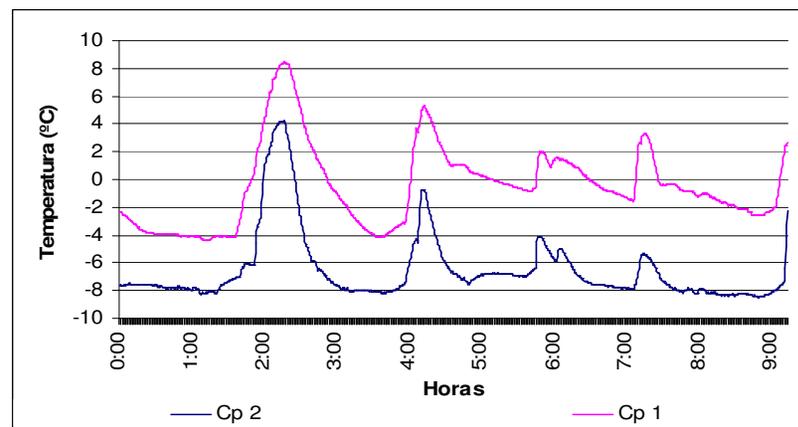


Figura 124 Sensores CP1 e CP2 no 2º dia de monitoramento.

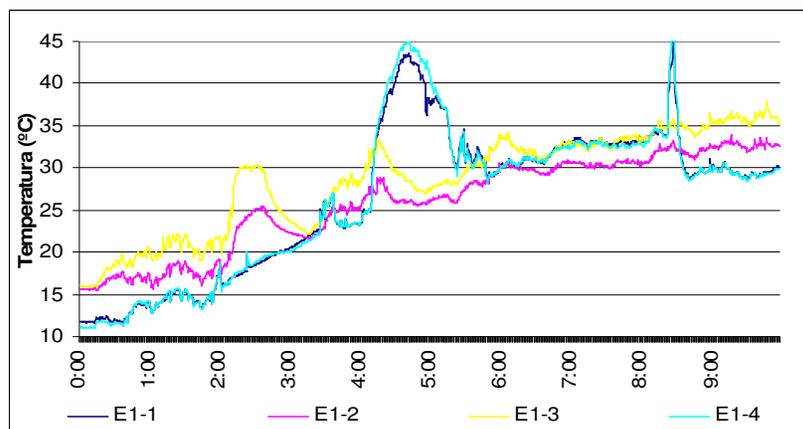


Figura 125 Histórico das temperaturas externas da lateral esquerda e do piso da carroceria no 2º dia de monitoramento.

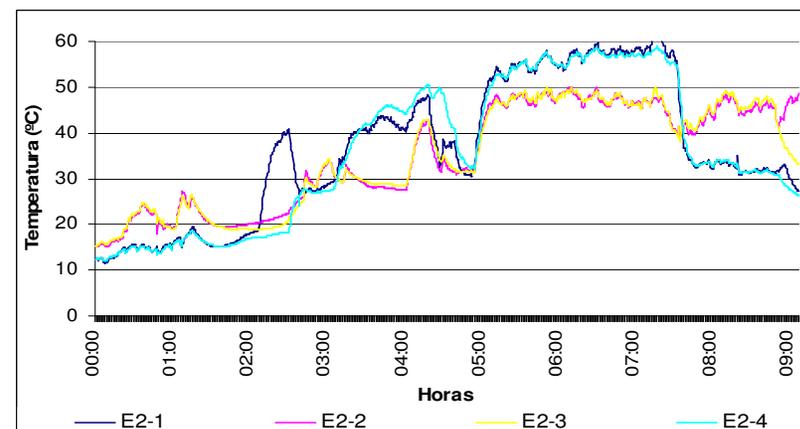


Figura 126 Histórico das temperaturas externas do teto e da traseira da carroceria no 2º dia de monitoramento.

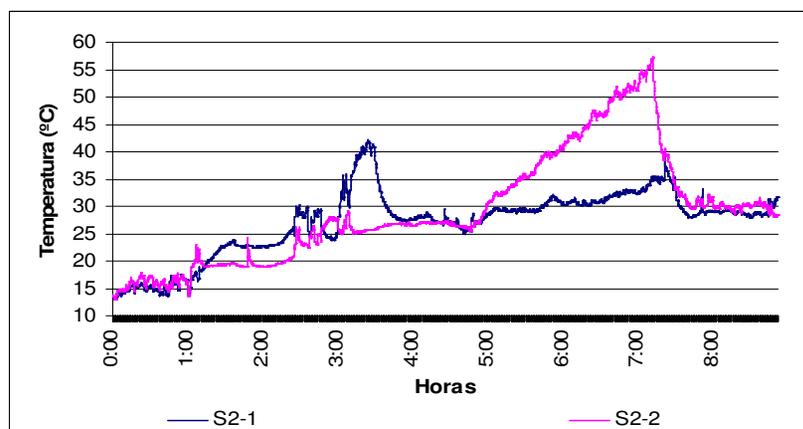


Figura 127 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 2º dia de monitoramento.

9.4. 3º dia de monitoração:

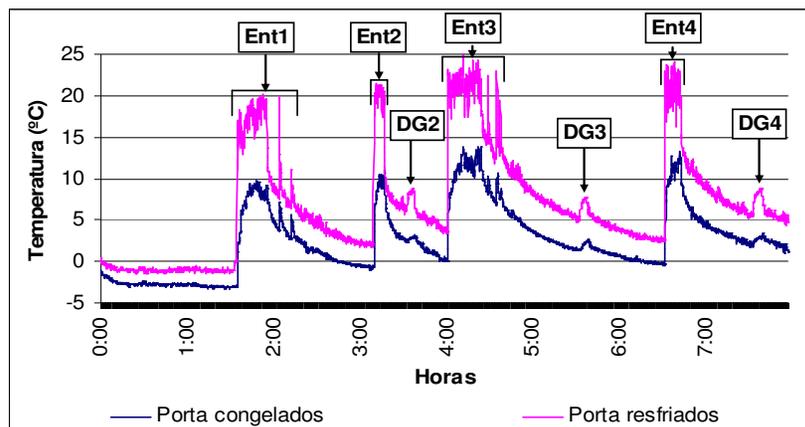


Figura 128 Histórico das temperaturas com a aberturas de portas no 3º dia de monitoramento

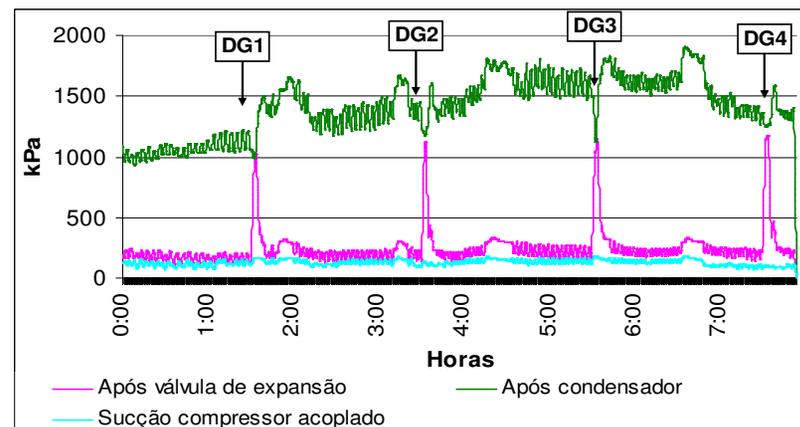


Figura 129 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 3º dia de monitoramento.

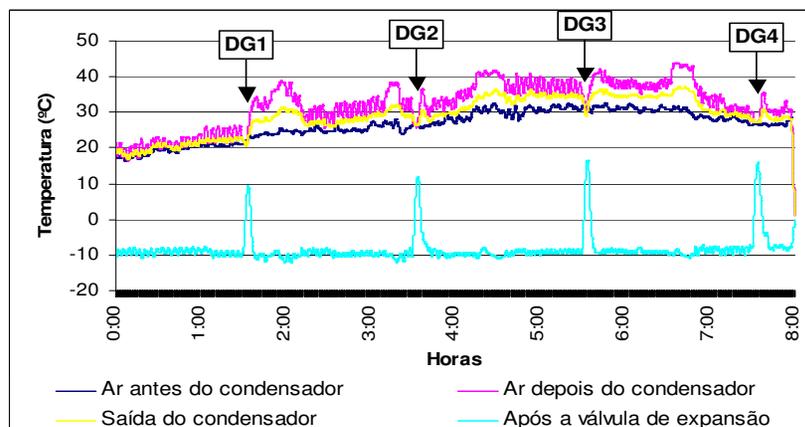


Figura 130 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 3º dia de monitoramento

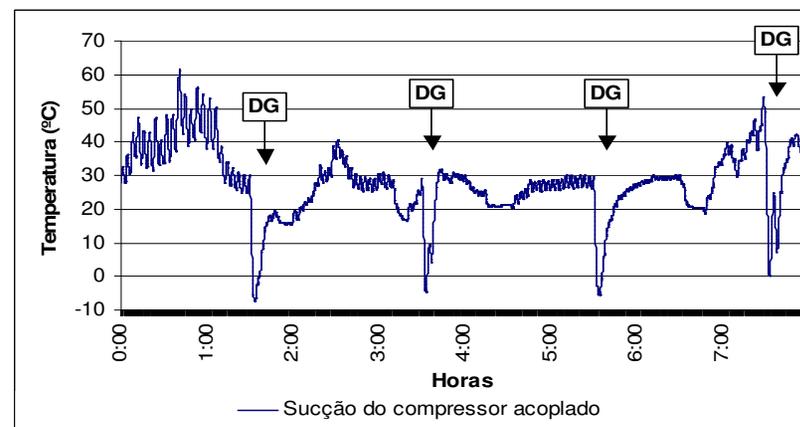


Figura 131 Temperatura na linha de sucção do compressor acoplado no 3º dia de monitoramento.

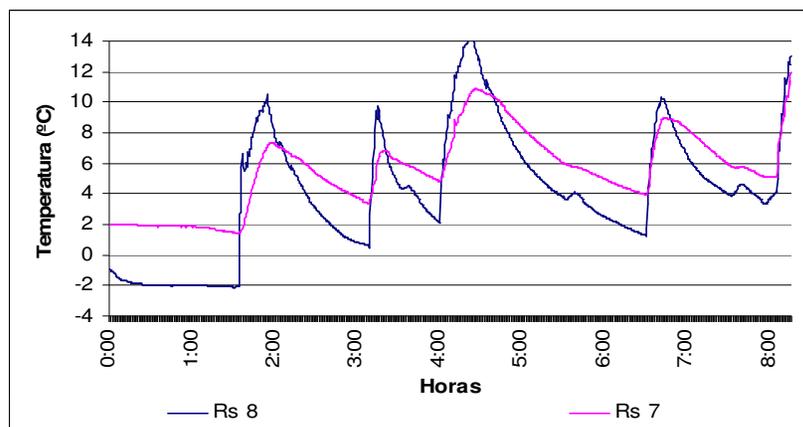


Figura 132 Sensores RS7 e RS8 no 3º dia de monitoramento.

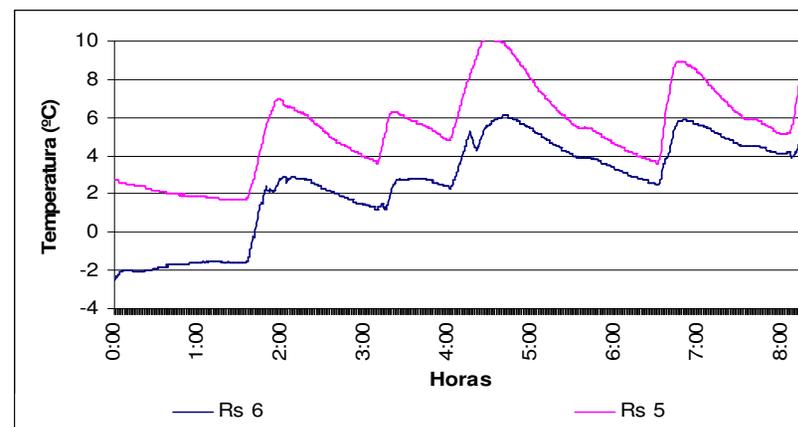


Figura 133 Sensores RS5 e RS6 no 3º dia de monitoramento.

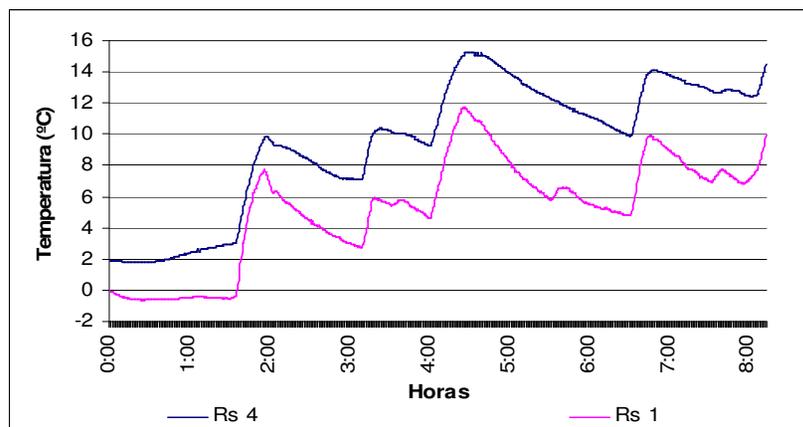


Figura 134 Sensores RS1 e RS4 no 3º dia de monitoramento

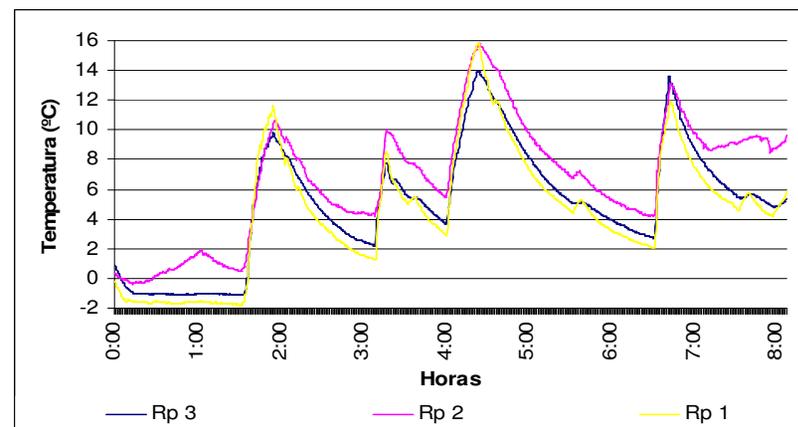


Figura 135 Sensores RP1 a RP3 no 3º dia de monitoramento.

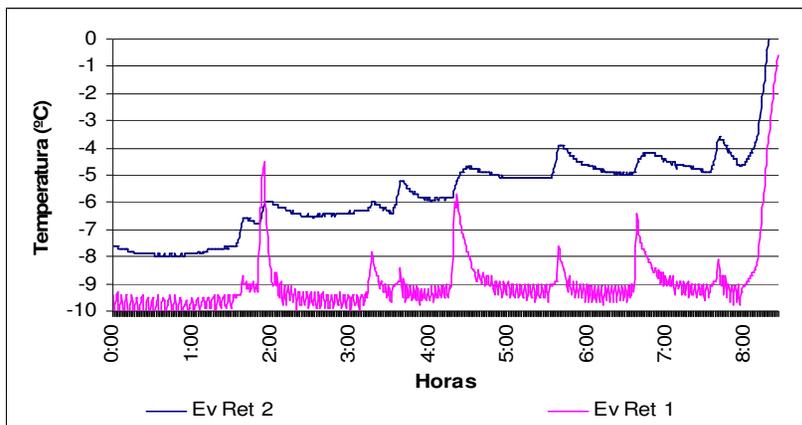


Figura 136 Histórico das temperaturas do ar de retorno no 3º dia de monitoramento.

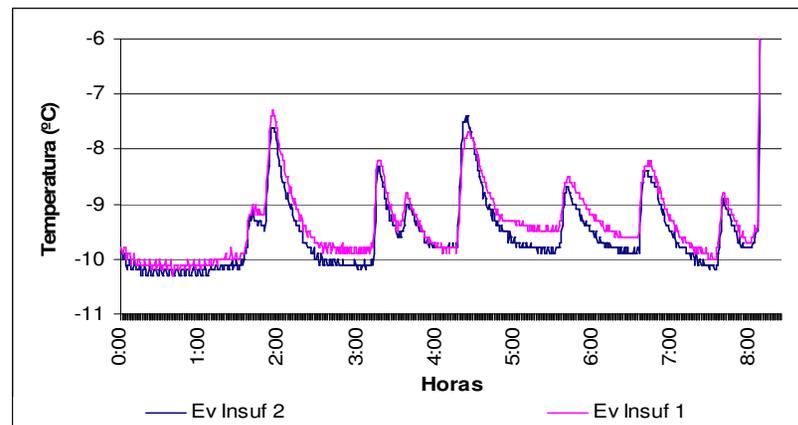


Figura 137 Histórico das temperaturas do ar de insuflamento no 3º dia de monitoramento.

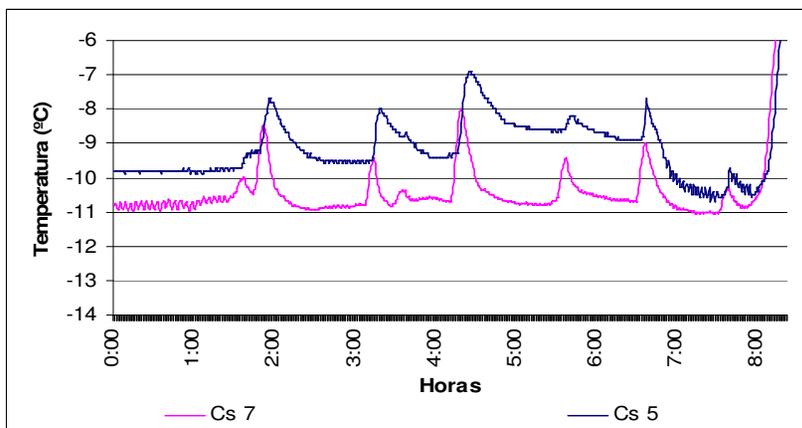


Figura 138 Sensores CS5 e CS7 no 3º dia de monitoramento.

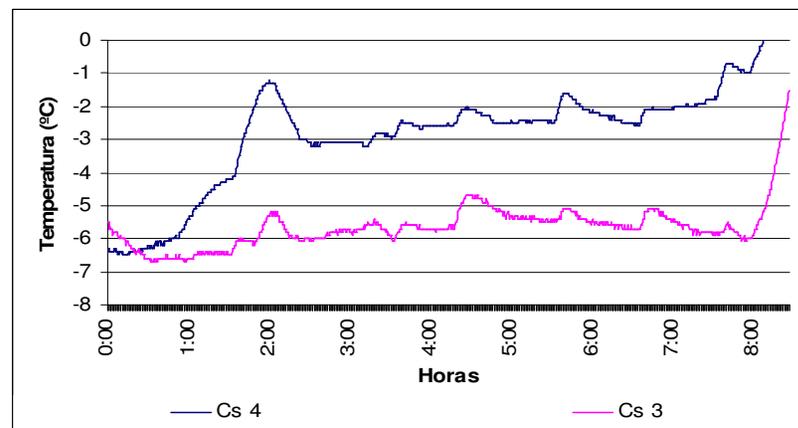


Figura 139 Sensores CS3 e CS4 no 3º dia de monitoramento.

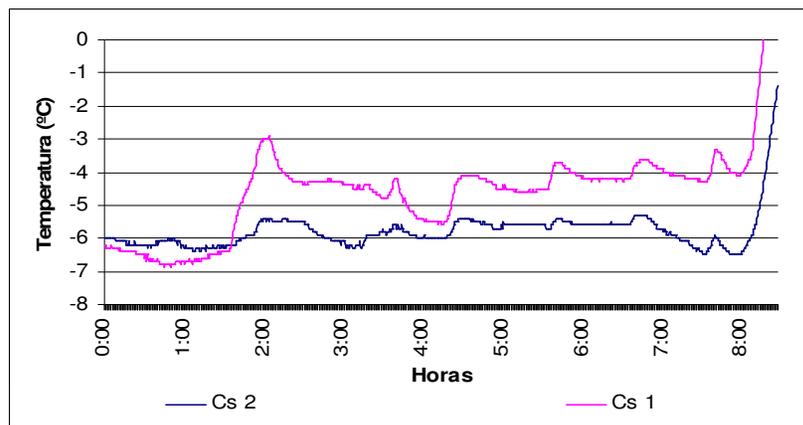


Figura 140 Sensores CS1 e CS2 no 3º dia de monitoramento.

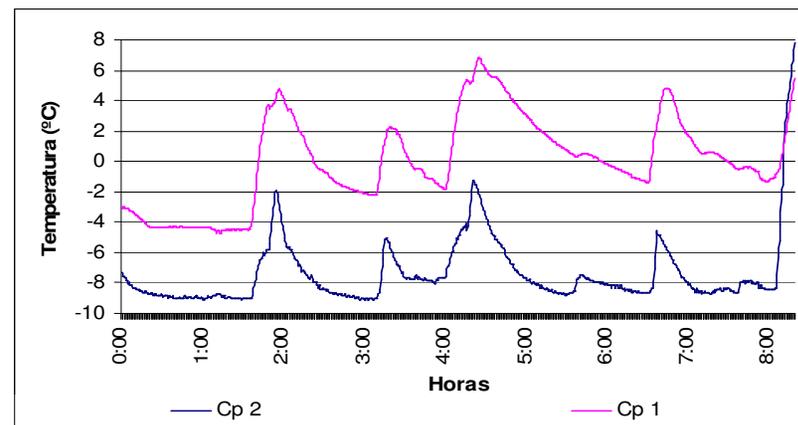


Figura 141 Sensores CP1 e CP2 no 3º dia de monitoramento.

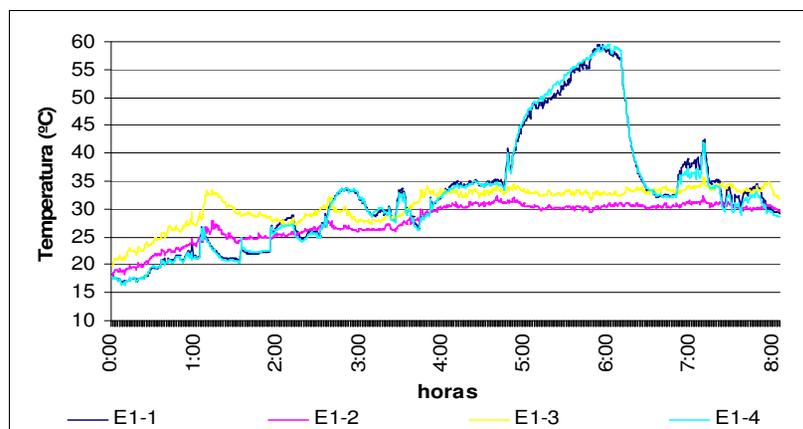


Figura 142 Histórico das temperaturas externas da lateral esquerda e do piso da carroceria no 3º dia de monitoramento.

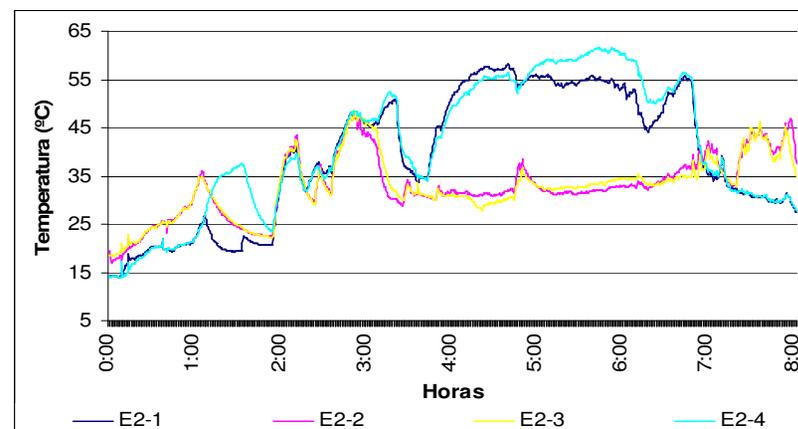


Figura 143 Histórico das temperaturas externas do teto e da traseira da carroceria no 3º dia de monitoramento.

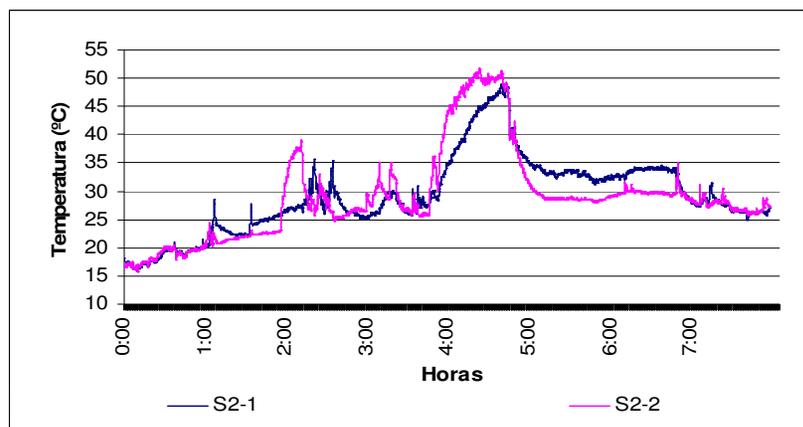


Figura 144 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 3º dia de monitoramento.

9.5.4º dia de monitoração:

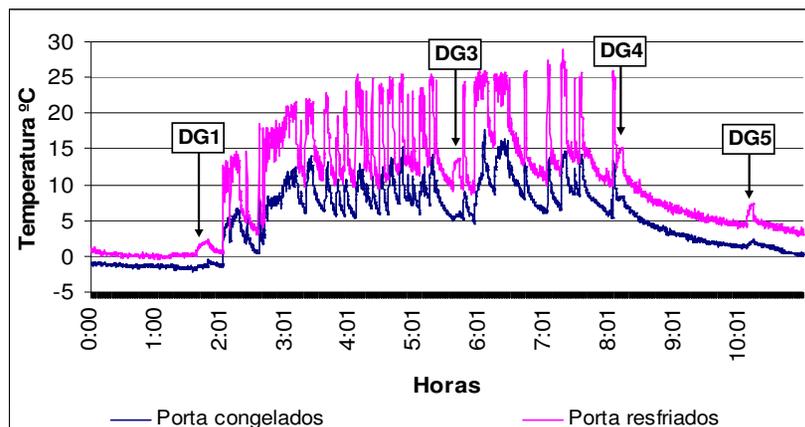


Figura 145 Histórico das temperaturas com a aberturas de portas no 4º dia de monitoramento

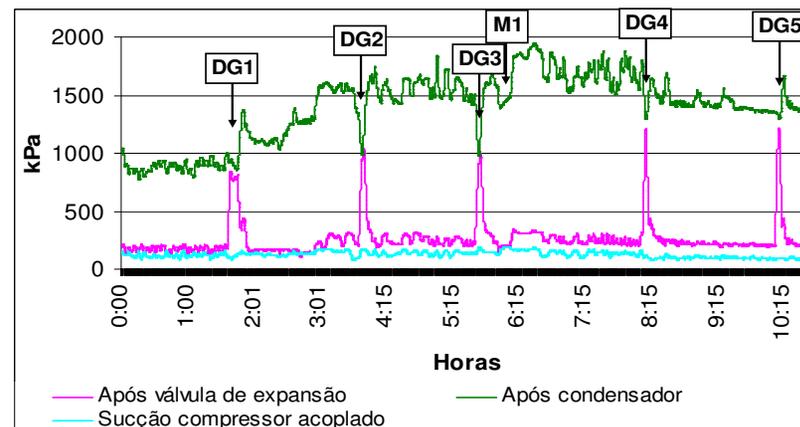


Figura 146 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 4º dia de monitoramento.

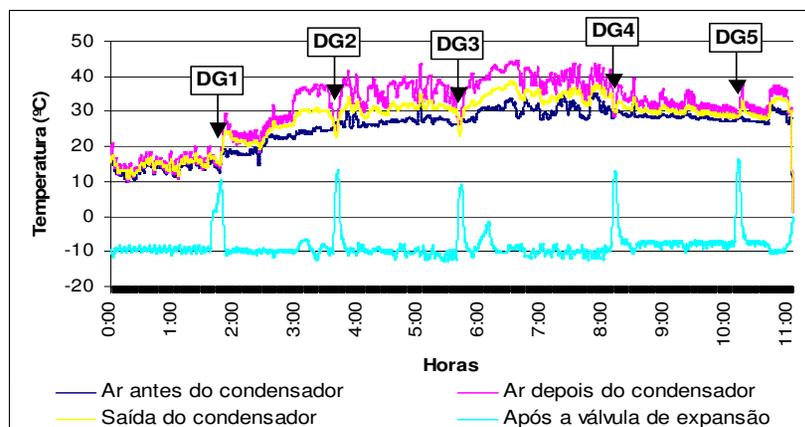


Figura 147 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 4º dia de monitoramento.

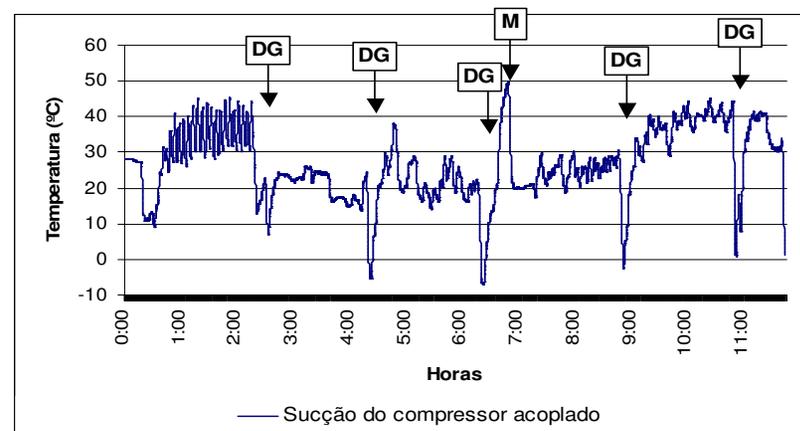


Figura 148 Temperatura na linha de sucção do compressor acoplado no 4º dia de monitoramento.

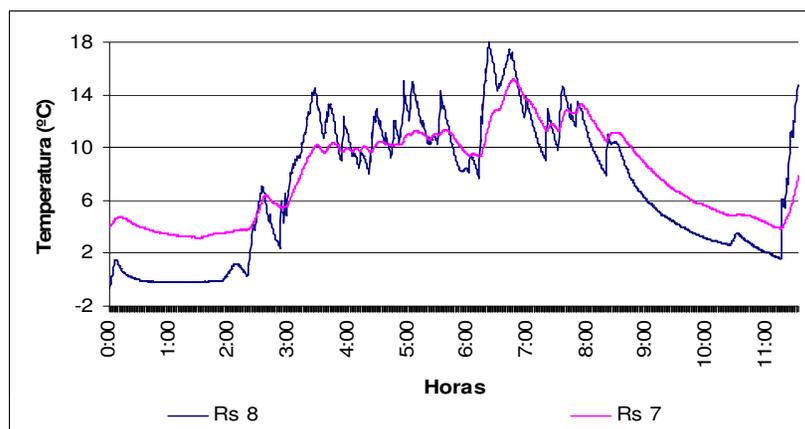


Figura 149 Sensores RS7 e RS8 no 4º dia de monitoramento.

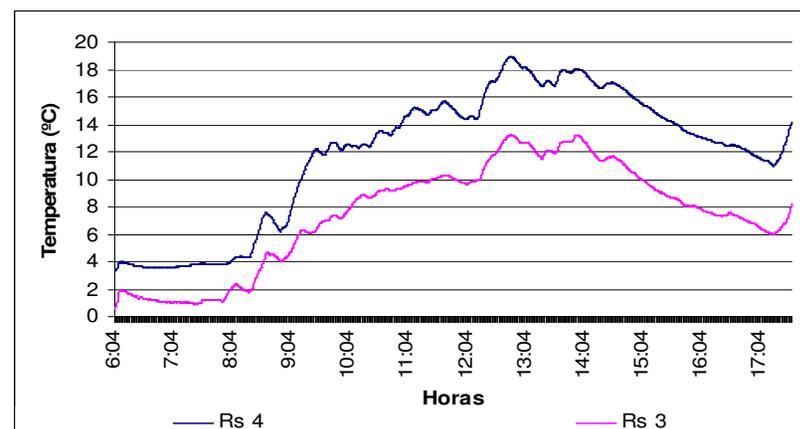


Figura 150 Sensores RS3 e RS4 no 4º dia de monitoramento.

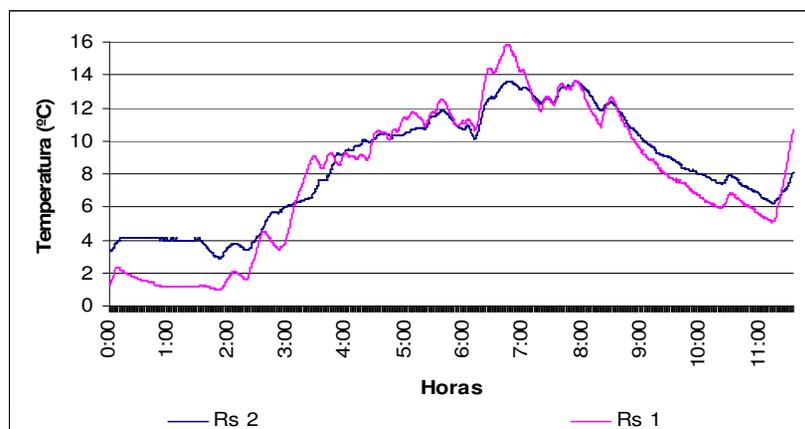


Figura 151 Sensores RS1 e RS2 no 4º dia de monitoramento.

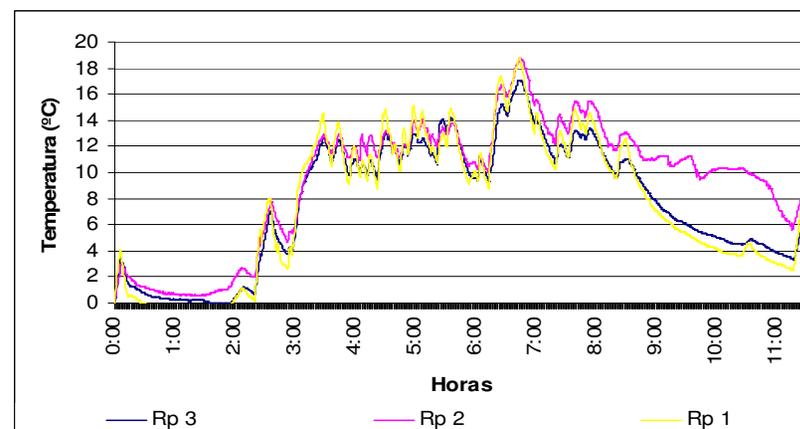


Figura 152 Sensores RP1 a RP3 no 4º dia de monitoramento.

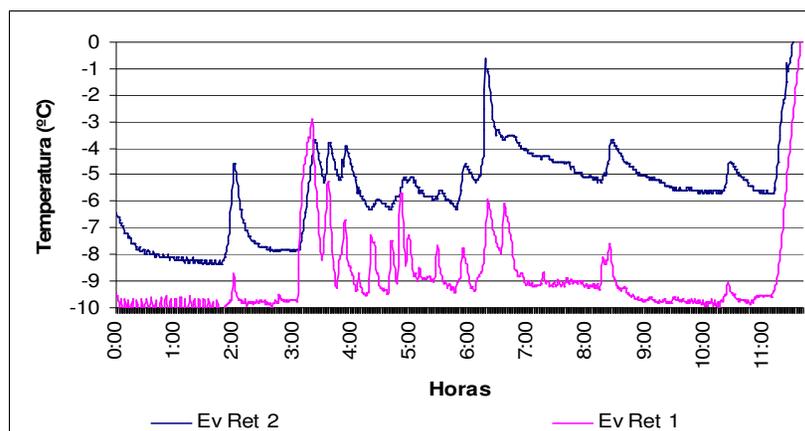


Figura 153 Histórico das temperaturas do ar de retorno no 4º dia de monitoramento.

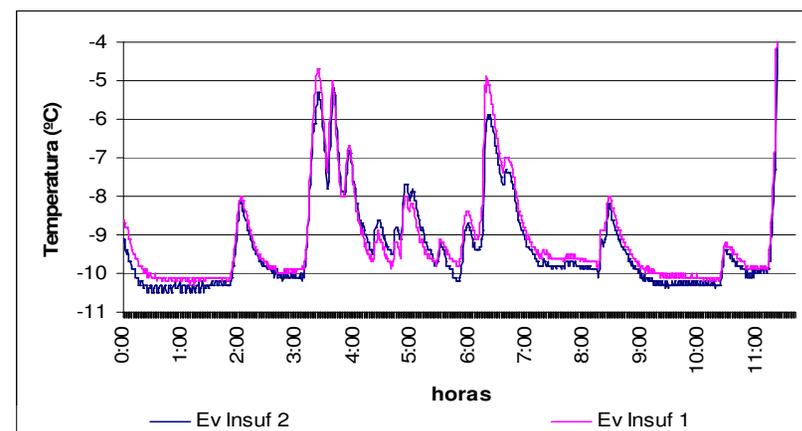


Figura 154 Histórico das temperaturas do ar de insuflamento no 4º dia de monitoramento.

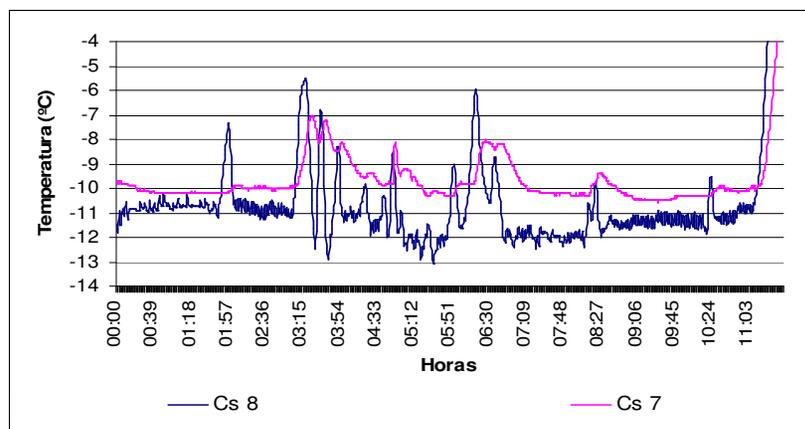


Figura 155 Sensores CS7 e CS8 no 4º dia de monitoramento.

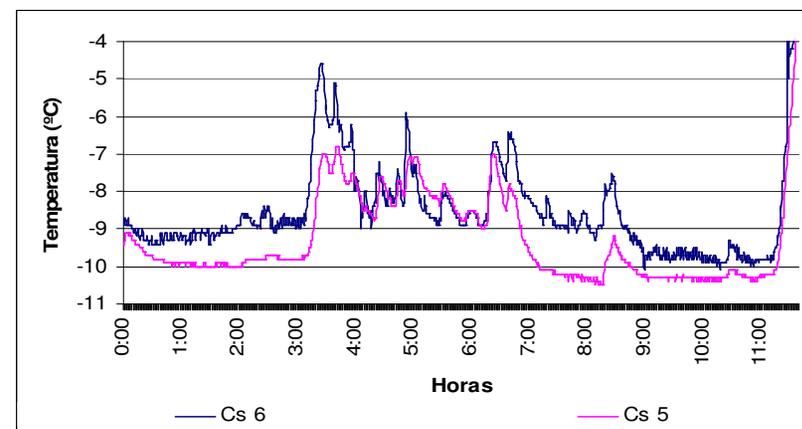


Figura 156 Sensores CS5 e CS6 no 4º dia de monitoramento.

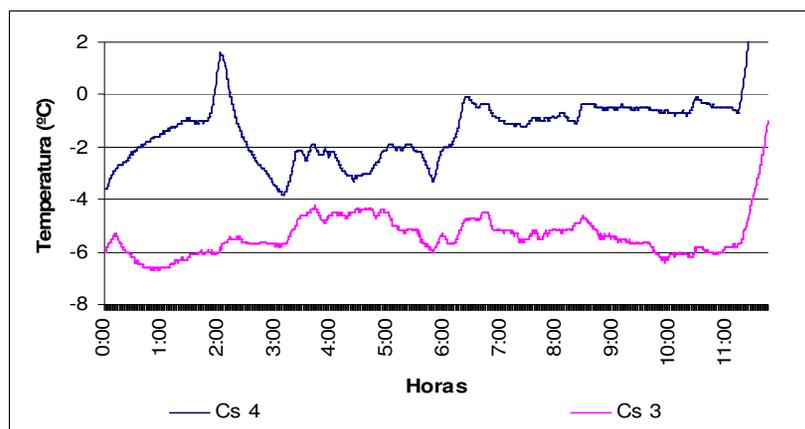


Figura 157 Sensores CS3 e CS4 no 4º dia de monitoramento.

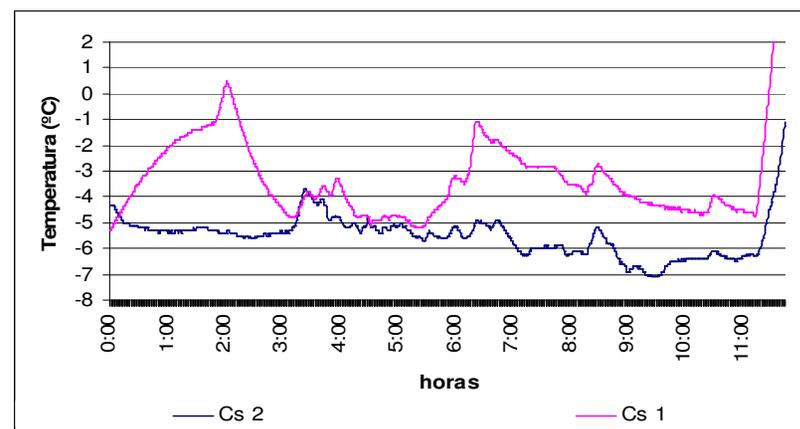


Figura 158 Sensores CS1 e CS2 no 4º dia de monitoramento.

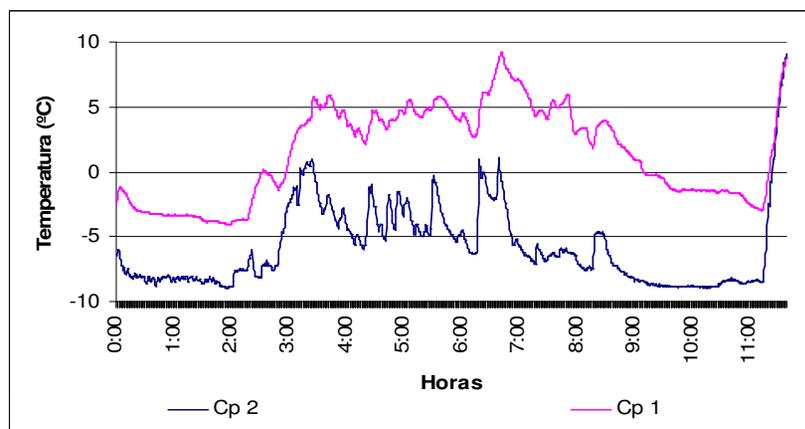


Figura 159 Sensores CP1 e CP2 no 4º dia de monitoramento.

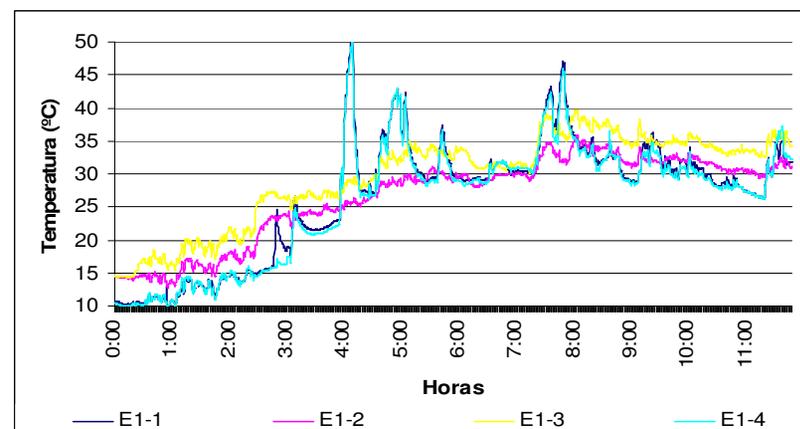


Figura 160 Histórico das temperaturas externas da lateral esquerda e do piso da carroceria no 4º dia de monitoramento.

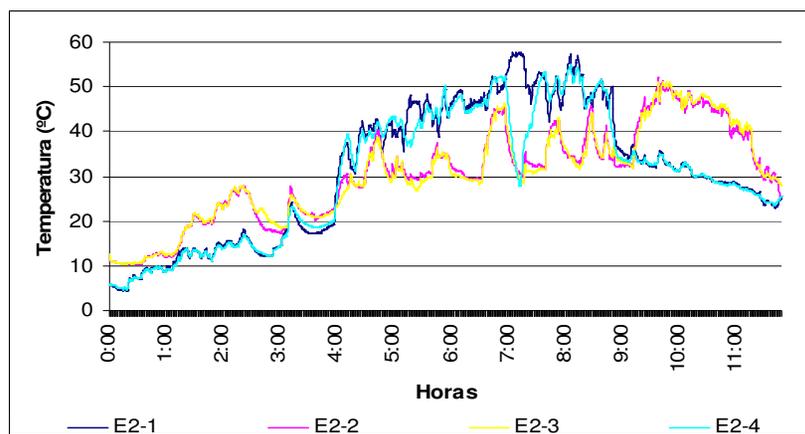


Figura 161 Histórico das temperaturas externas do teto e da traseira da carroceria no 4º dia de monitoramento.

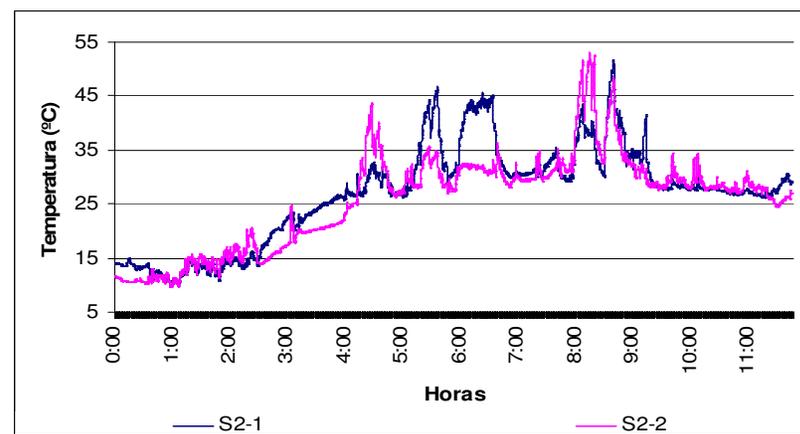


Figura 162 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 4º dia de monitoramento.

9.6.5º dia de monitoração:

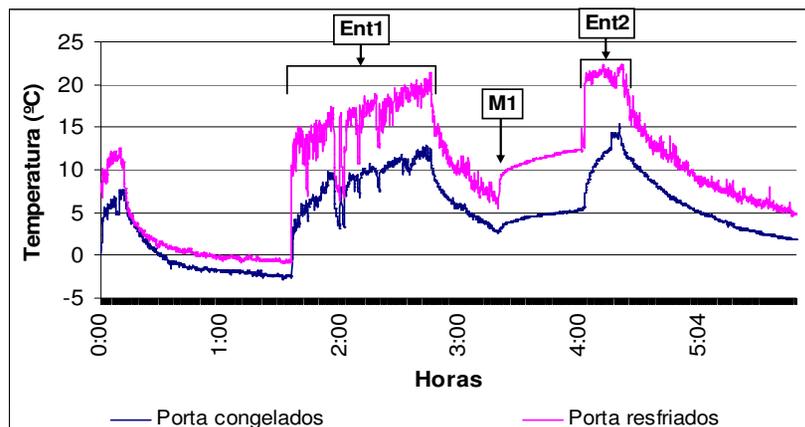


Figura 163 Histórico das temperaturas com a aberturas de portas no 5º dia de monitoramento

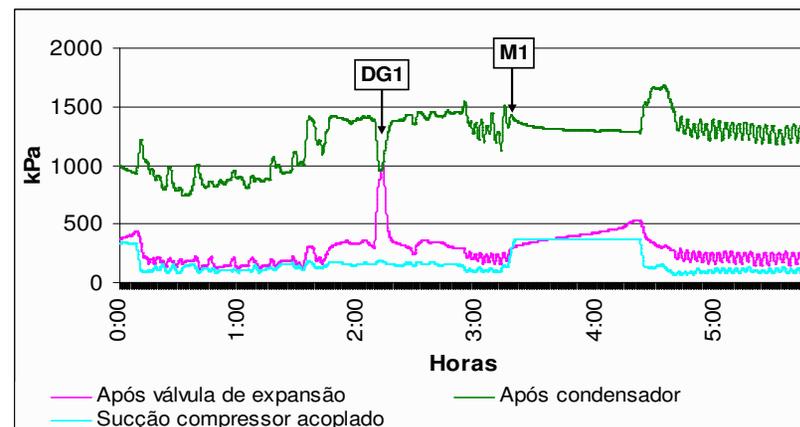


Figura 164 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 5º dia de monitoramento.

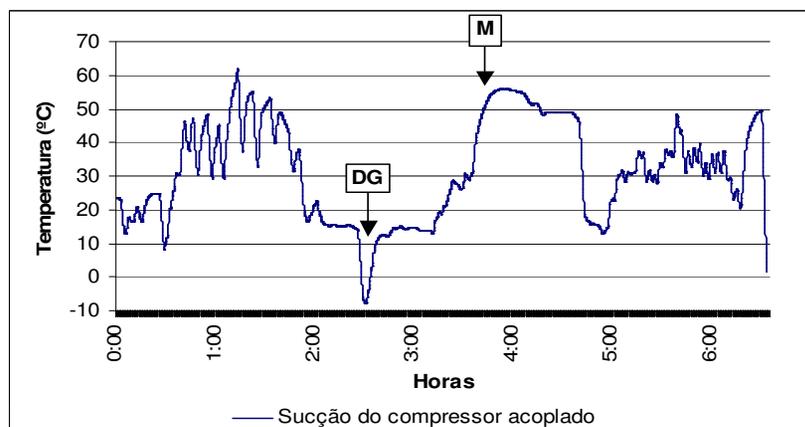


Figura 165 Temperatura na linha de sucção do compressor acoplado no 5º dia de monitoramento.

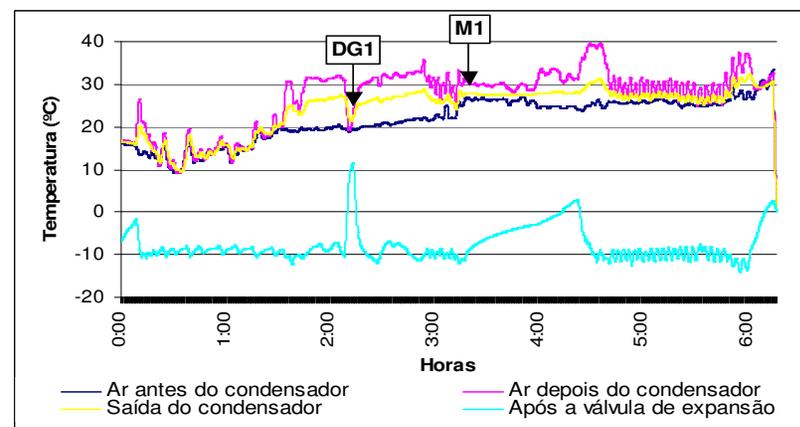


Figura 166 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 5º dia de monitoramento.

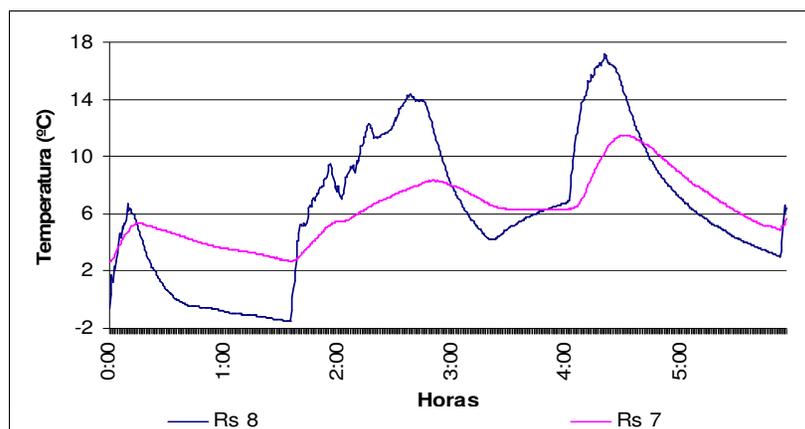


Figura 167 Sensores RS7 e RS8 no 5º dia de monitoramento.

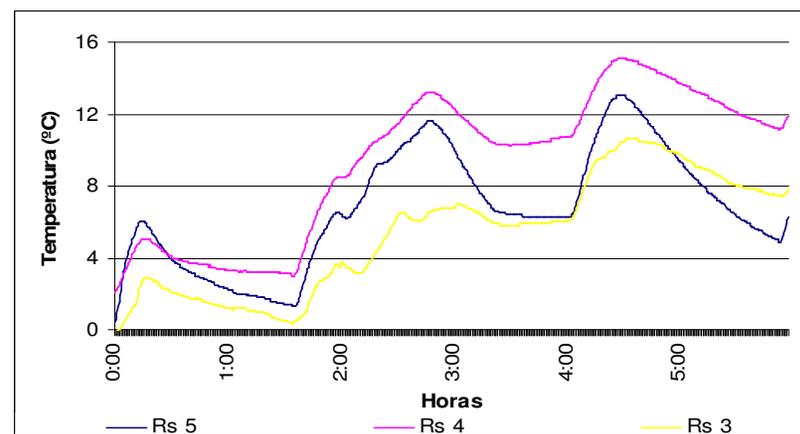


Figura 168 Sensores RS3 a RS5 no 5º dia de monitoramento.

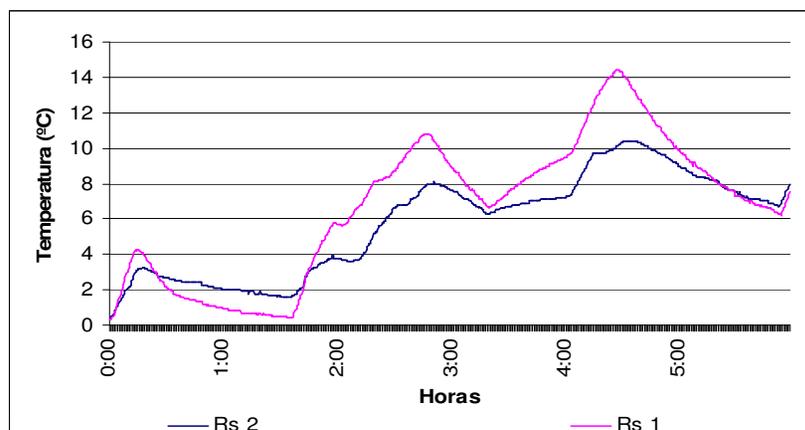


Figura 169 Sensores RS1 e RS2 no 5º dia de monitoramento.

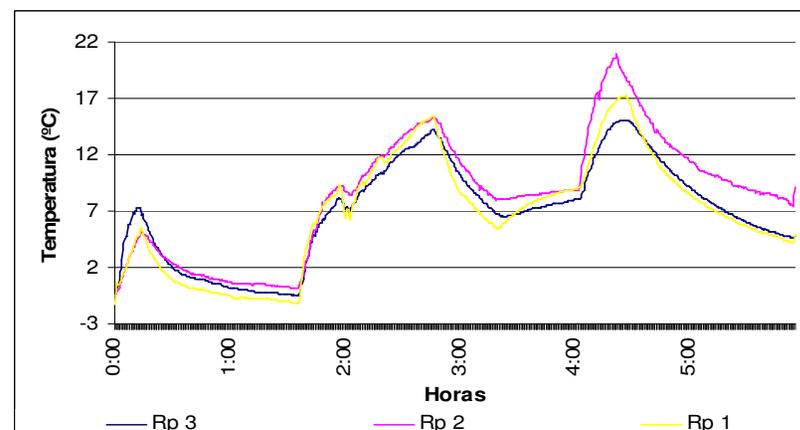


Figura 170 Sensores RP1 a RP3 no 5º dia de monitoramento.

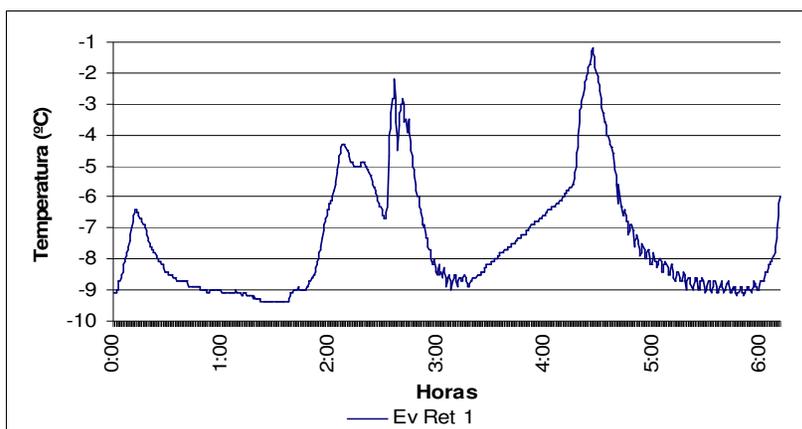


Figura 171 Histórico das temperaturas do ar de retorno no 5º dia de monitoramento.

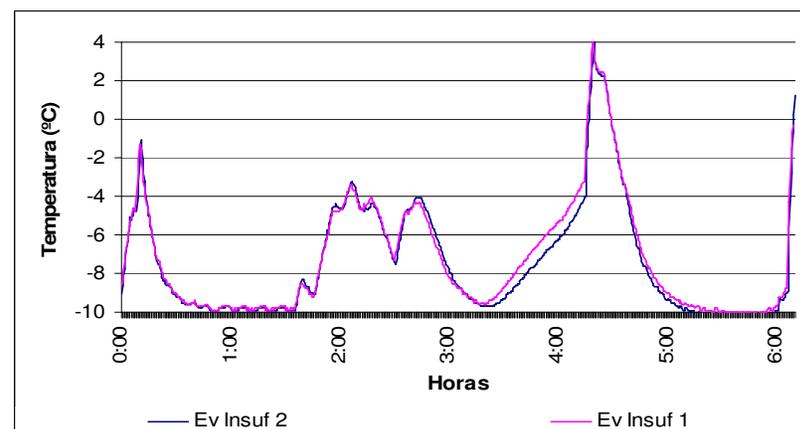


Figura 172 Histórico das temperaturas do ar de insuflamento no 5º dia de monitoramento.

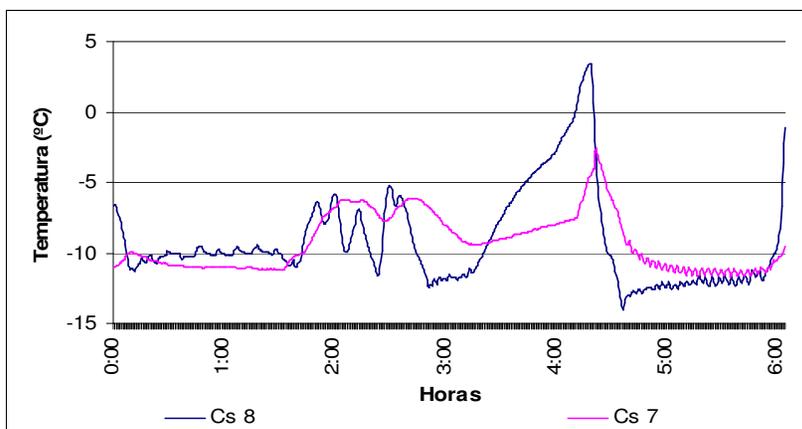


Figura 173 Sensores CS7 e CS8 no 5º dia de monitoramento.

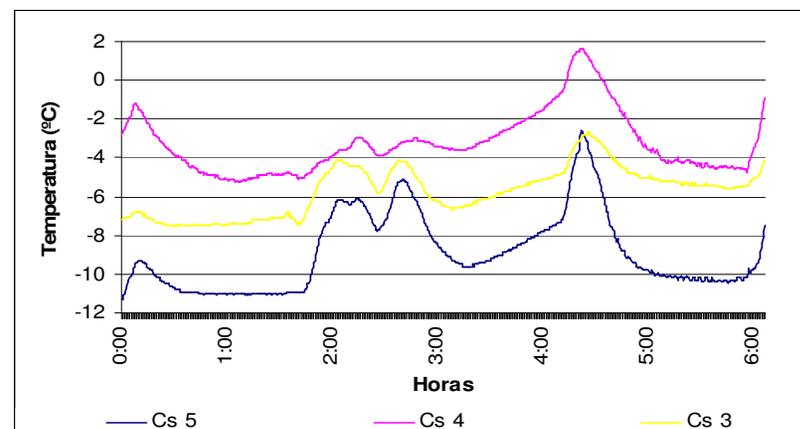


Figura 174 Sensores CS3 a CS5 no 5º dia de monitoramento.

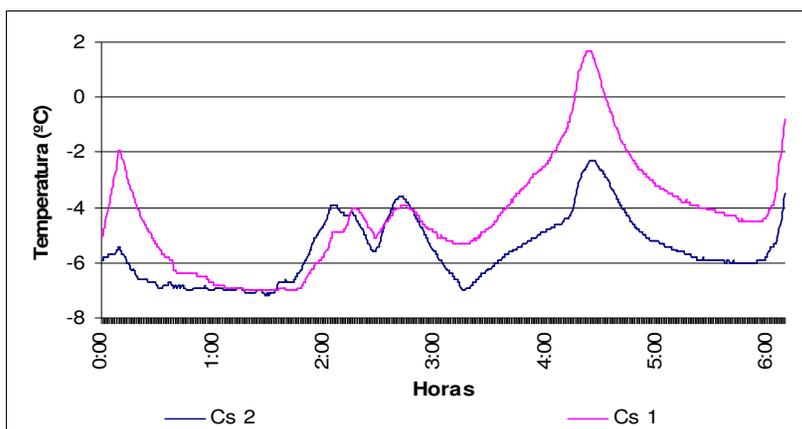


Figura 175 Sensores CS1 e CS2 no 5º dia de monitoramento.

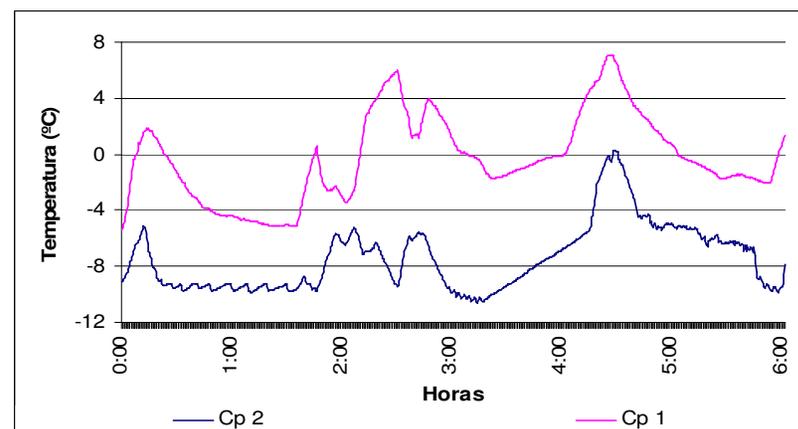


Figura 176 Sensores CP1 e CP2 no 5º dia de monitoramento.

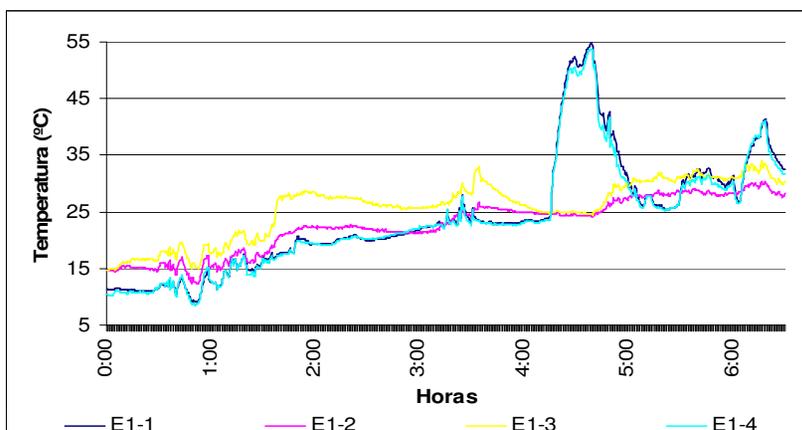


Figura 177 Histórico das temperaturas externas da lateral esquerda e do piso da carroceria no 5º dia de monitoramento.

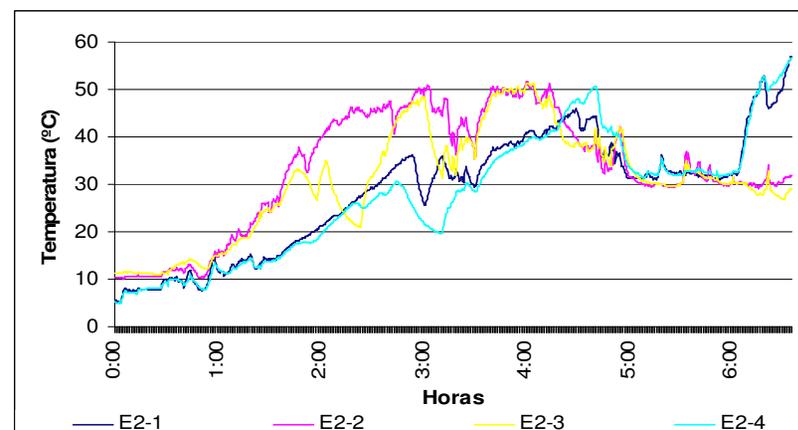


Figura 178 Histórico das temperaturas externas do teto e da traseira da carroceria no 5º dia de monitoramento.

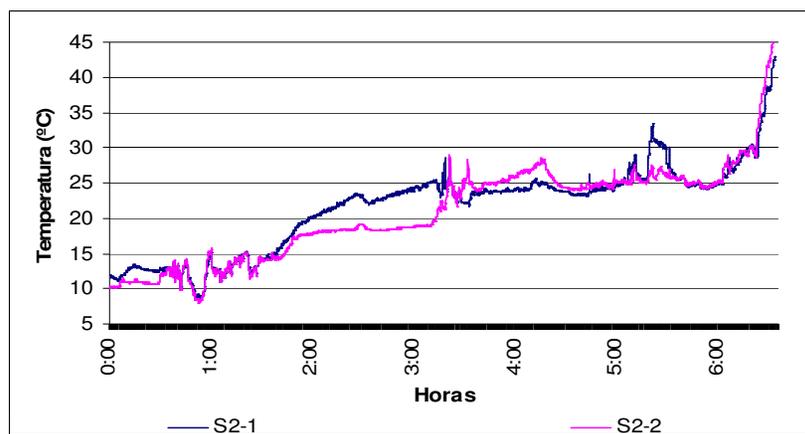


Figura 179 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 5º dia de monitoramento.

9.7.6º dia de monitoração:

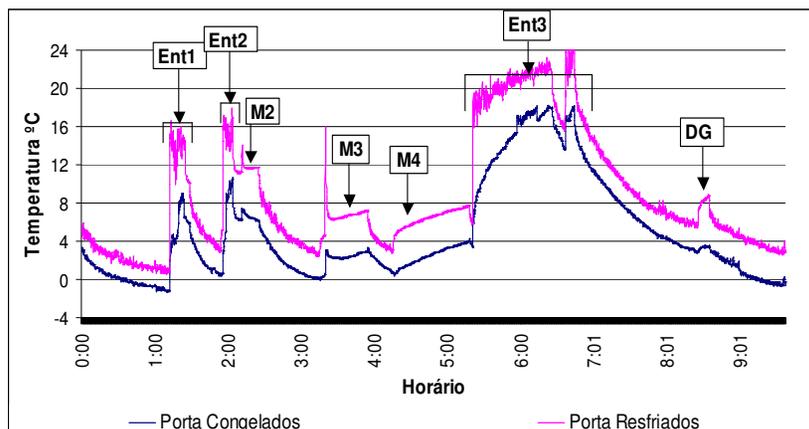


Figura 180 Histórico das temperaturas com a aberturas de portas no 6º dia de monitoramento

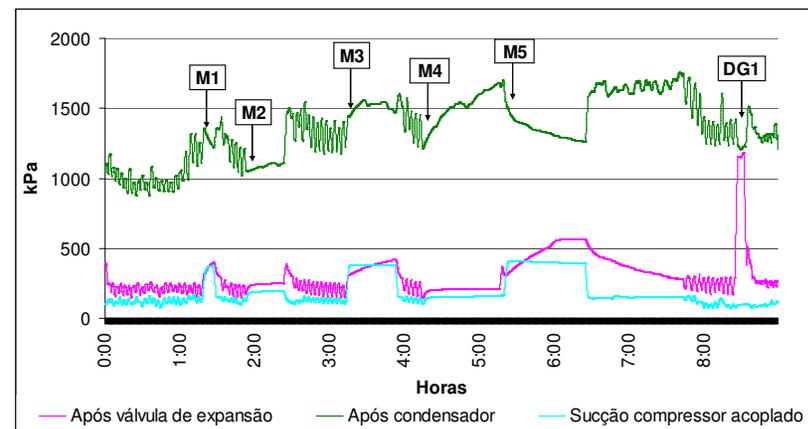


Figura 181 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 6º dia de monitoramento.

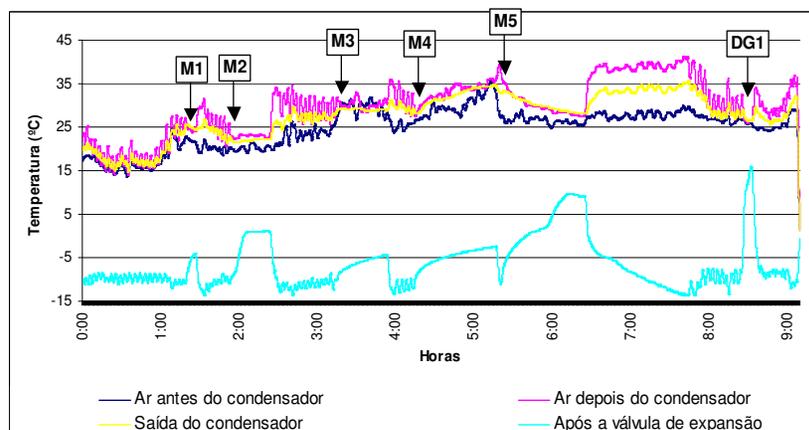


Figura 182 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 6º dia de monitoramento

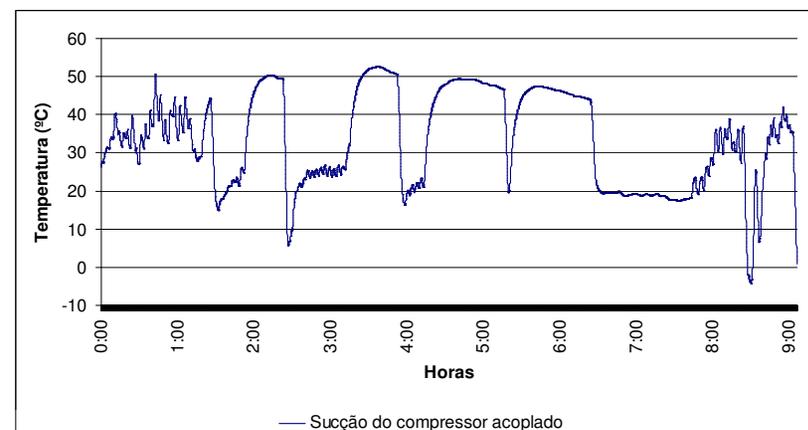


Figura 183 Temperatura na linha de sucção do compressor acoplado no 6º dia de monitoramento.

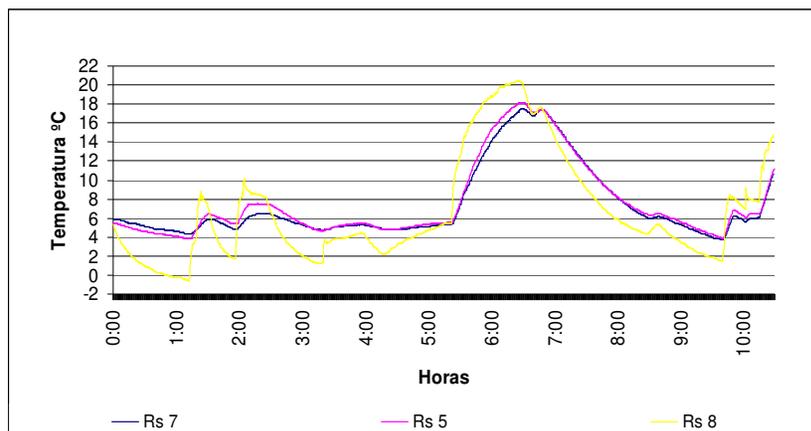


Figura 184 Sensores RS5, RS7 e RS8 no 6º dia de monitoramento.

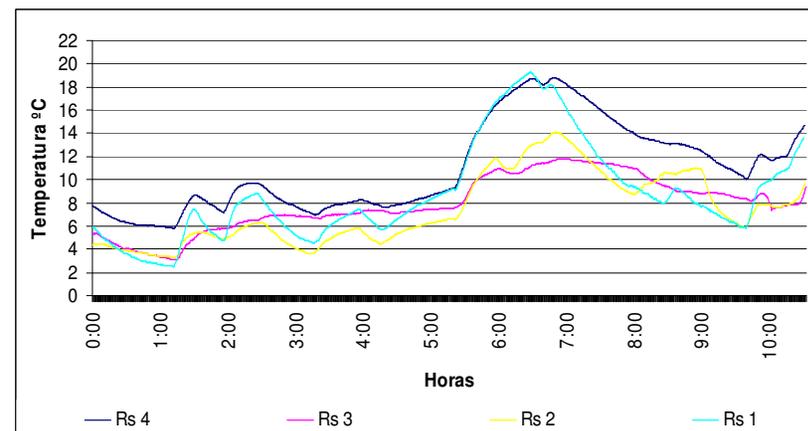


Figura 185 Sensores RS1 a RS4 no 6º dia de monitoramento.

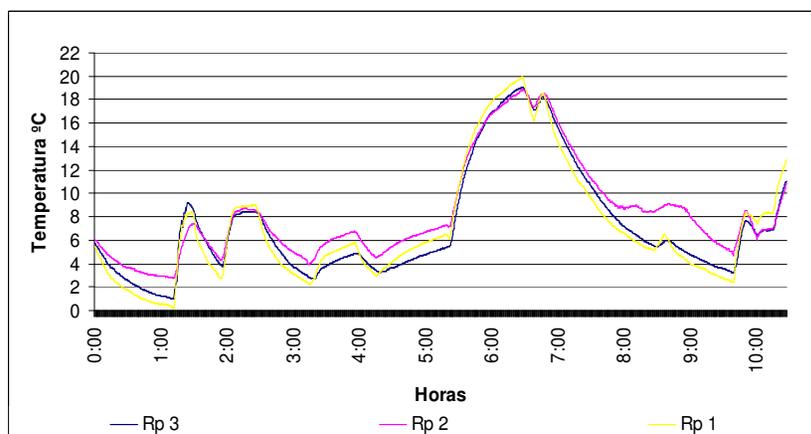


Figura 186 Sensores RP1 a RP3 no 6º dia de monitoramento.

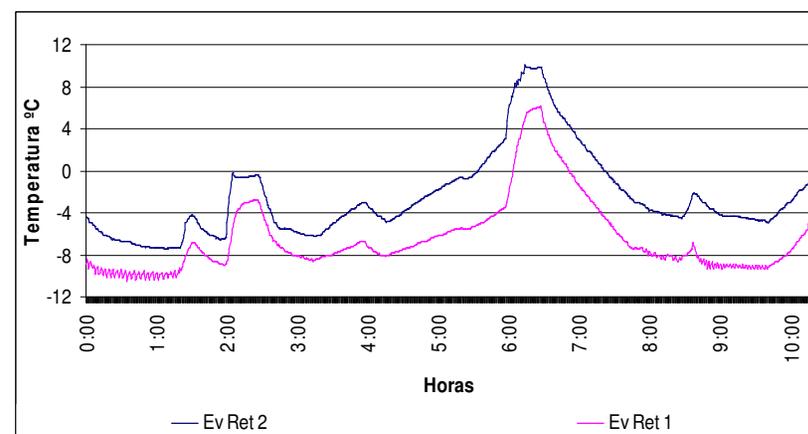


Figura 187 Histórico das temperaturas do ar de retorno no 6º dia de monitoramento.

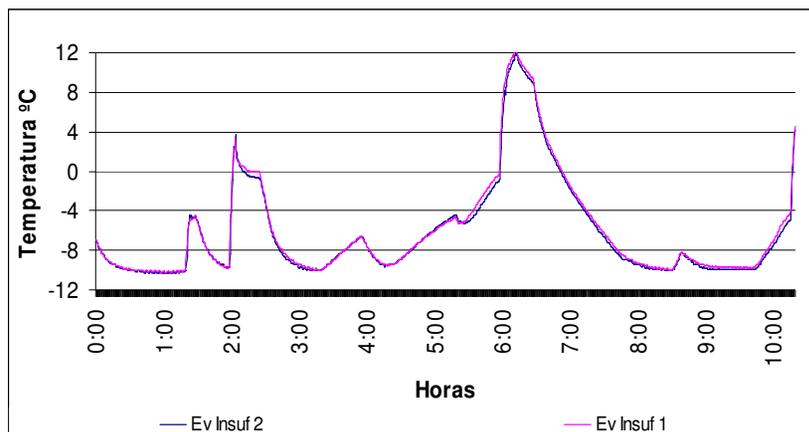


Figura 188 Histórico das temperaturas do ar de insuflamento no 6º dia de monitoramento.

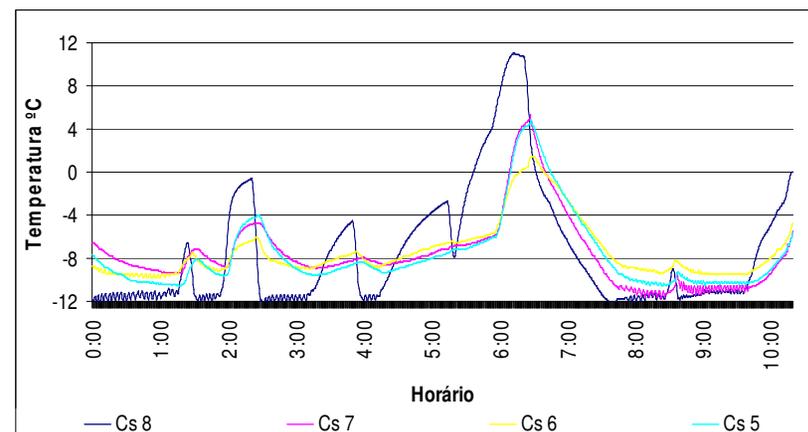


Figura 189 Sensores CS5 a CS8 no 6º dia de monitoramento.

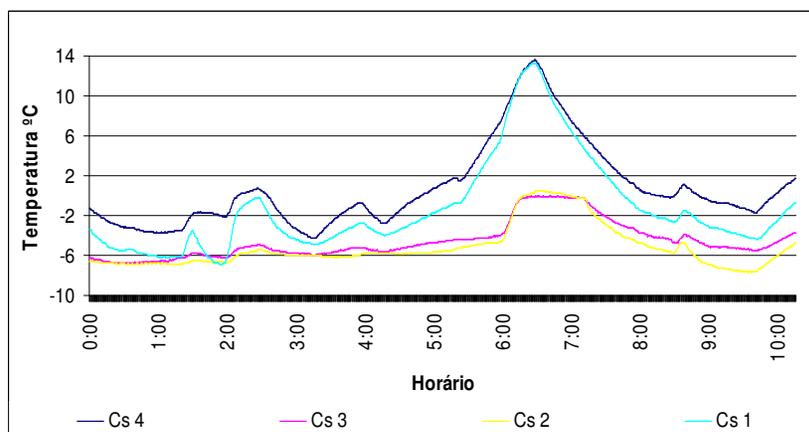


Figura 190 Sensores CS1 a CS4 no 6º dia de monitoramento.

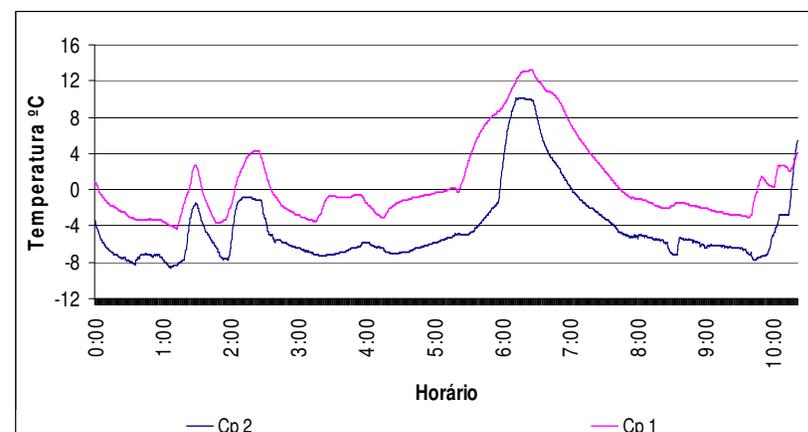


Figura 191 Sensores CP1 e CP2 no 6º dia de monitoramento.

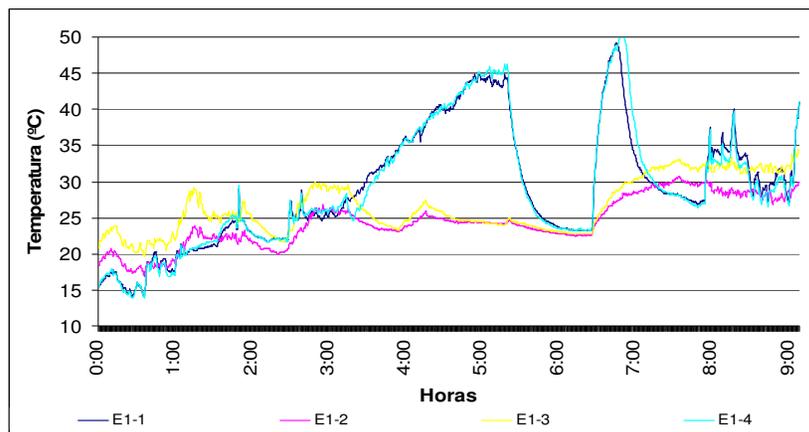


Figura 192 Histórico das temperaturas externas da lateral esquerda e do piso da carroceria no 6º dia de monitoramento.

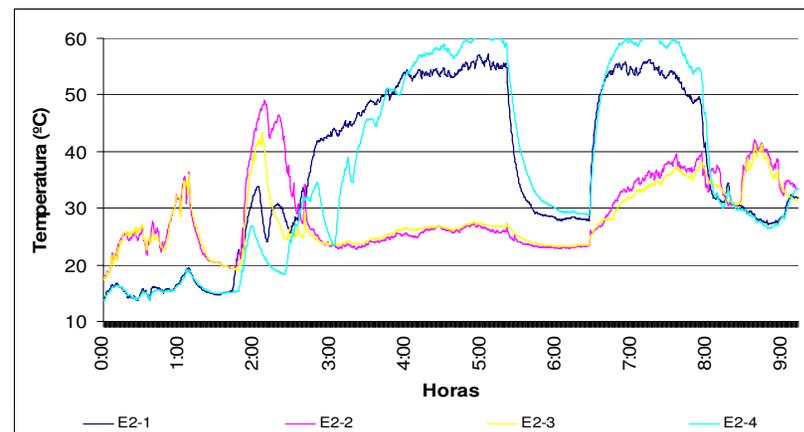


Figura 193 Histórico das temperaturas externas do teto e da traseira da carroceria no 6º dia de monitoramento.

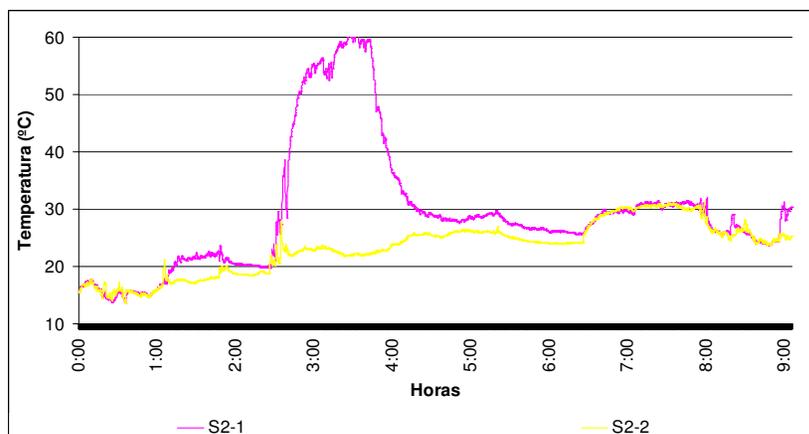


Figura 194 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 6º dia de monitoramento.

9.8. 7º dia de monitoração:

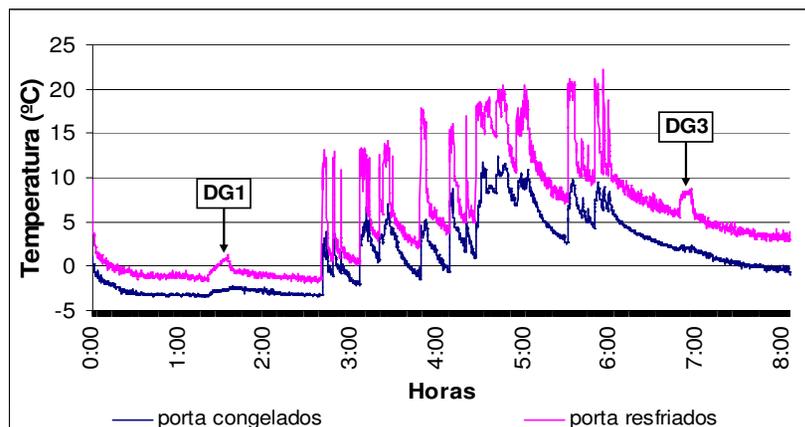


Figura 195 Histórico das temperaturas com a aberturas de portas no 7º dia de monitoramento

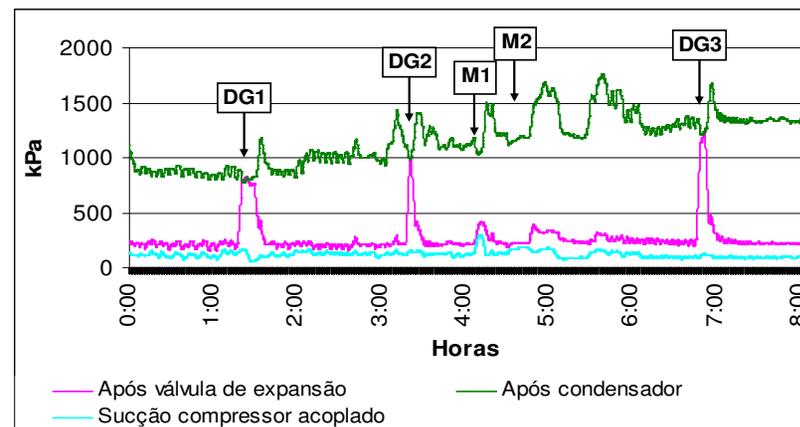


Figura 196 Histórico das pressões do sistema de refrigeração no 7º dia de monitoramento..

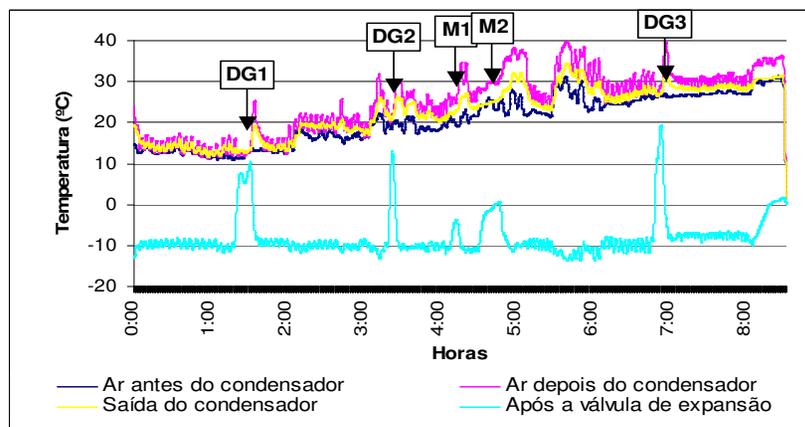


Figura 197 Histórico das temperaturas do sistema de refrigeração no 7º dia de monitoramento

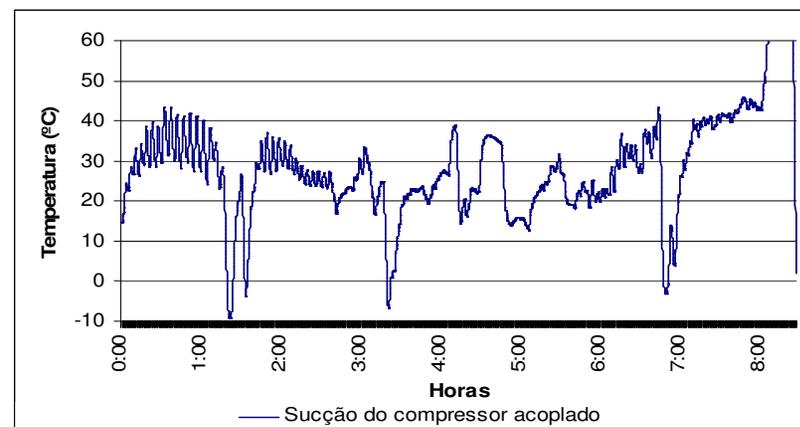


Figura 198 Temperatura na linha de sucção do compressor acoplado no 7º dia de monitoramento.

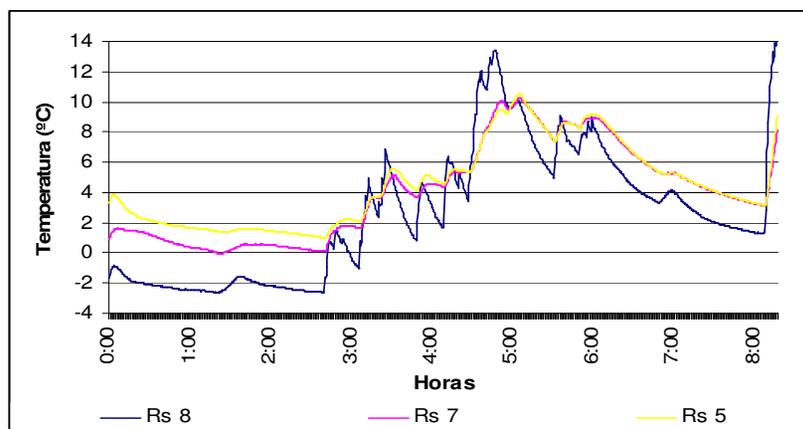


Figura 199 Sensores RS5, RS7 e RS8 no 7º dia de monitoramento.

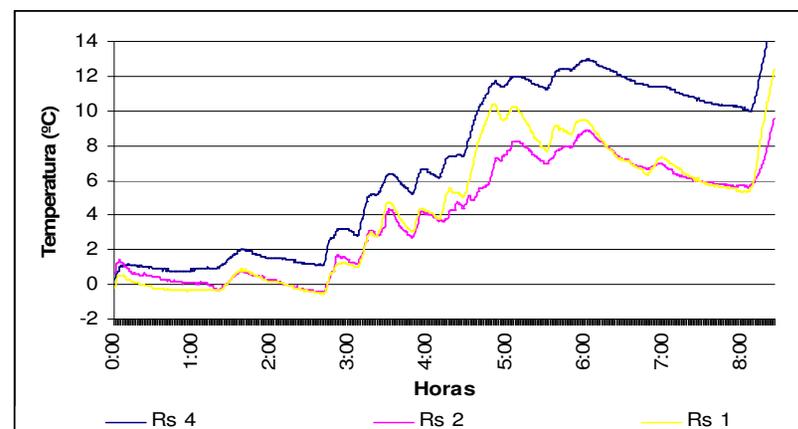


Figura 200 Sensores RS1, RS2 e RS4 no 7º dia de monitoramento.

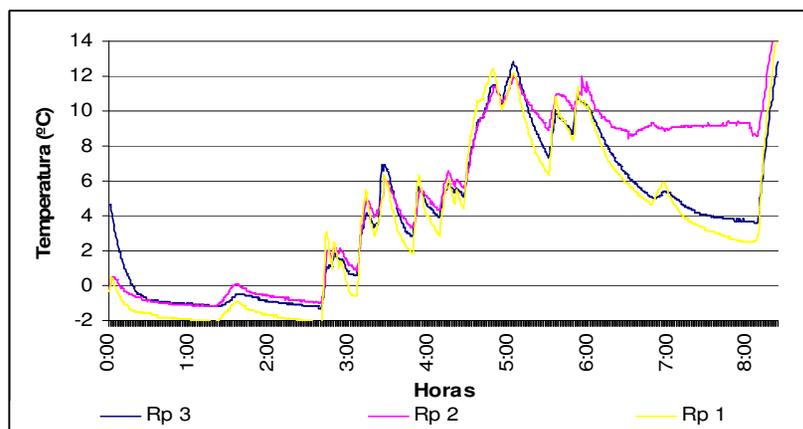


Figura 201 Sensores RP1 a RP3 no 7º dia de monitoramento.

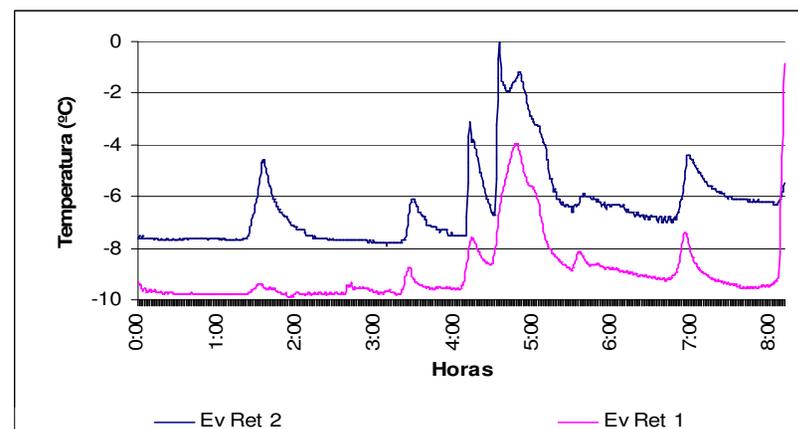


Figura 202 Histórico das temperaturas do ar de retorno no 7º dia de monitoramento.

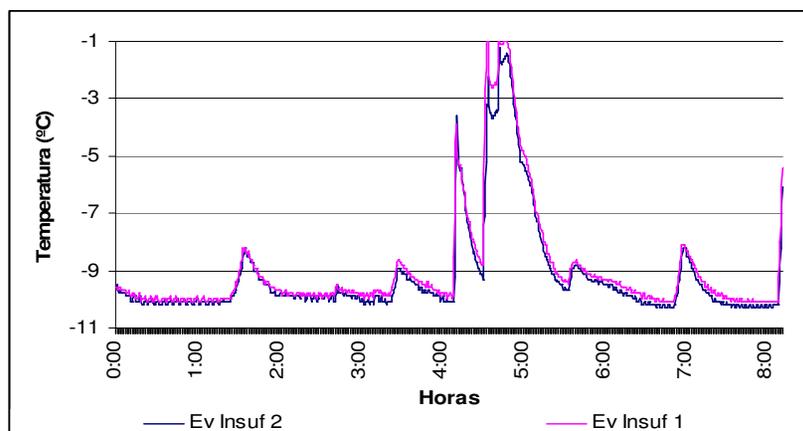


Figura 203 Histórico das temperaturas do ar de insuflamento no 7º dia de monitoramento.

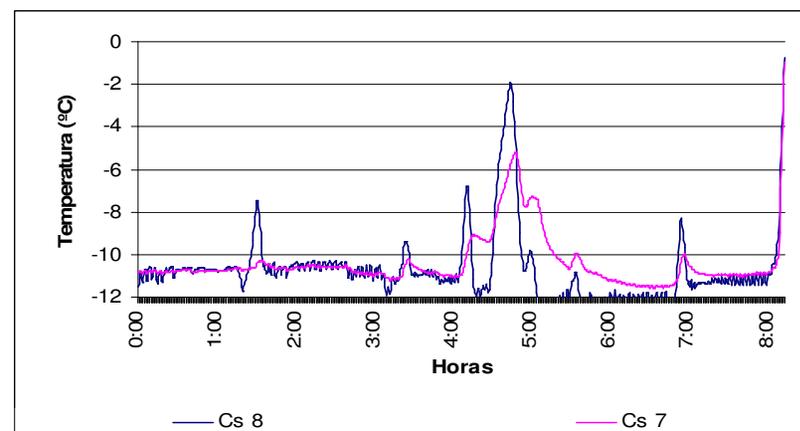


Figura 204 Sensores CS7 e CS8 no 7º dia de monitoramento.

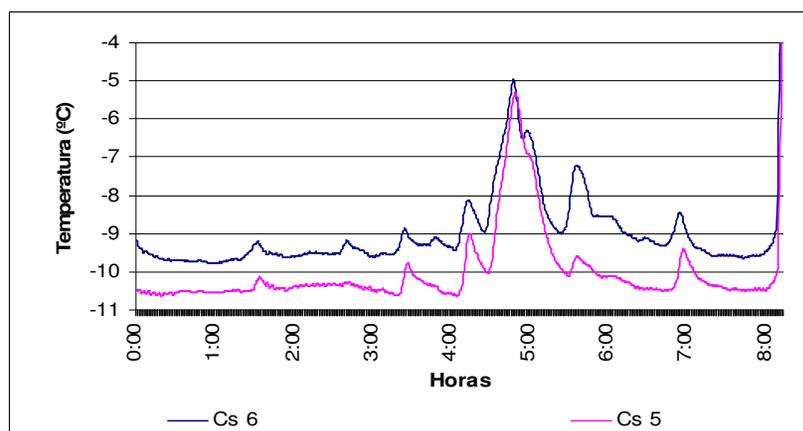


Figura 205 Sensores CS5 e CS6 no 7º dia de monitoramento.

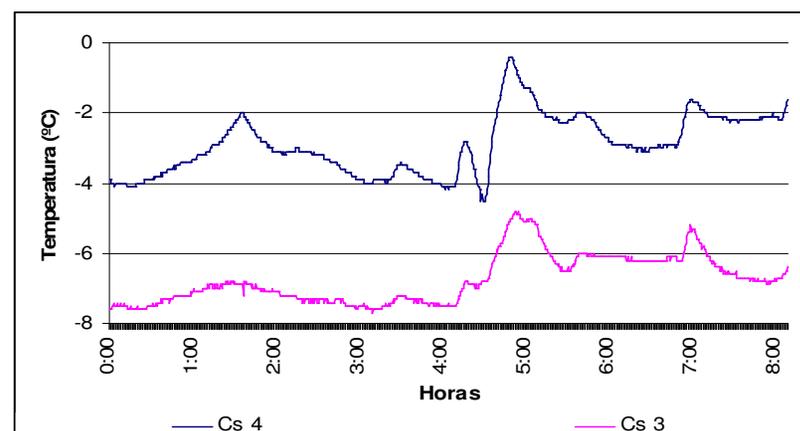


Figura 206 Sensores CS3 e CS4 no 7º dia de monitoramento.

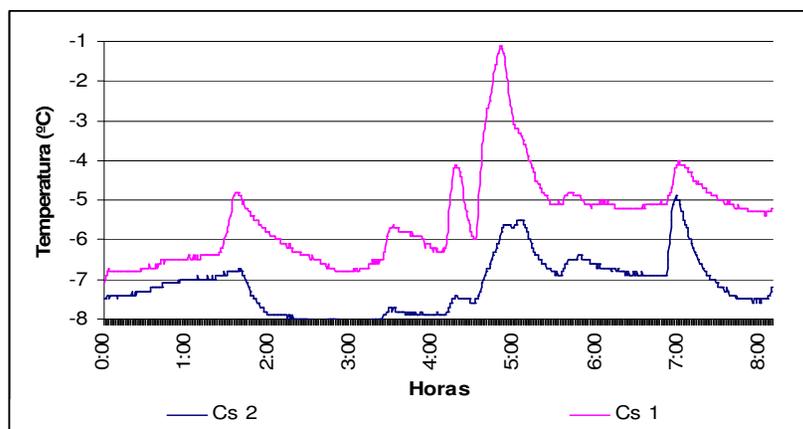


Figura 207 Sensores CS1 e CS2 no 7º dia de monitoramento.

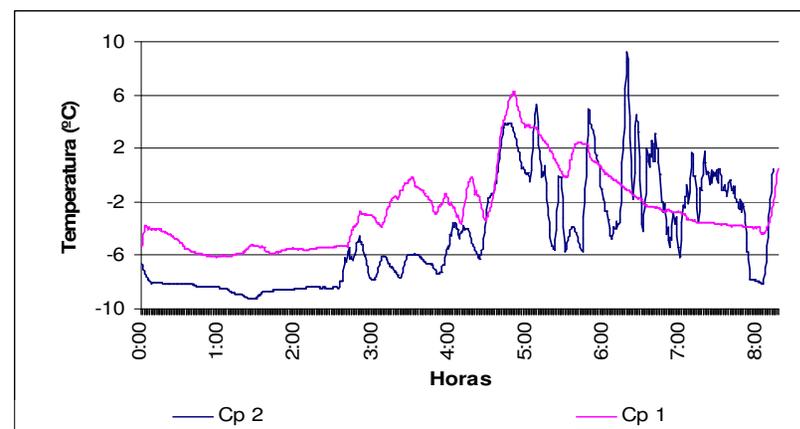


Figura 208 Sensores CP1 e CP2 no 7º dia de monitoramento.

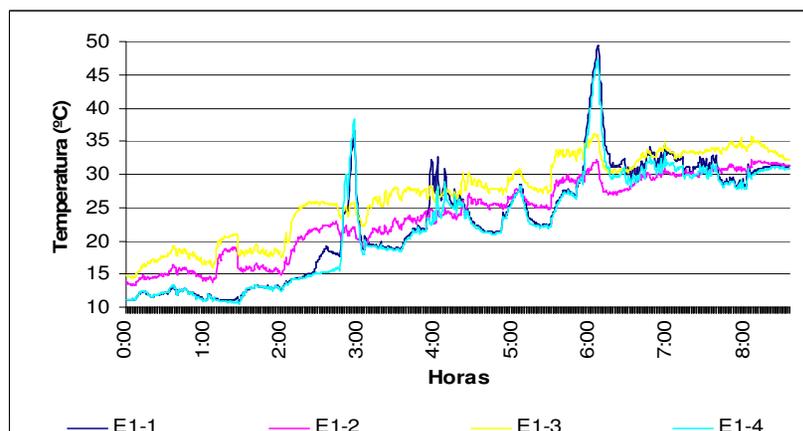


Figura 209 Histórico das temperaturas externas da lateral esquerda e do piso da carroceria no 7º dia de monitoramento.

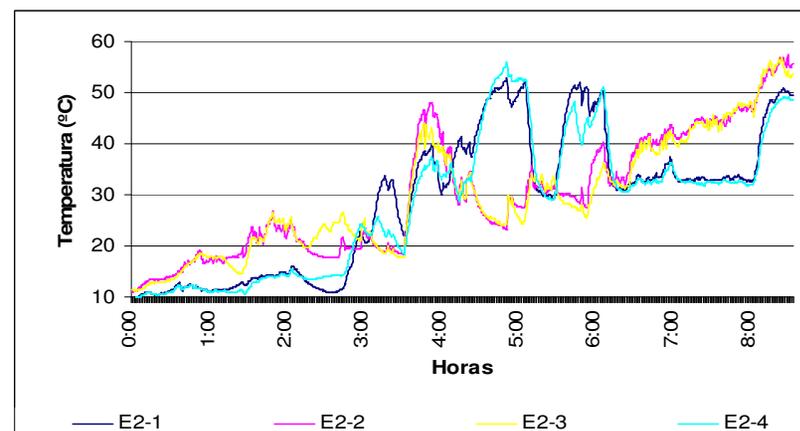


Figura 210 Histórico das temperaturas externas do teto e da traseira da carroceria no 7º dia de monitoramento.

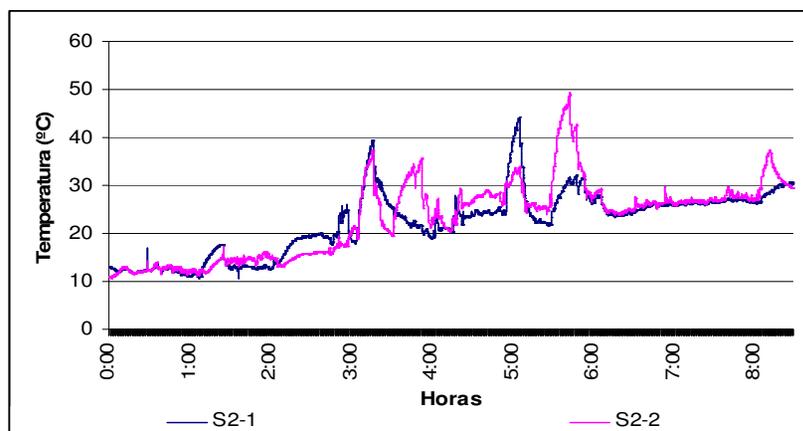


Figura 211 Histórico das temperaturas externas da lateral direita e da superfície frontal da carroceria no 7º dia de monitoramento.