



UNICAMP

**Faculdade de Engenharia de Alimentos
Departamento de Engenharia de Alimentos**

***INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAÇÃO
DE UMA CARROCERIA COMERCIAL
FRIGORIFICADA COM AVALIAÇÃO DA
TEMPERATURA DE TRANSPORTE***

GUSTAVO FREDERICO RIBEIRO PEÃO
Engenheiro de Alimentos

ORIENTADOR - VIVALDO SILVEIRA JÚNIOR

PARECER

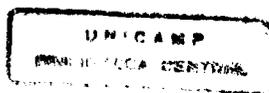
Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por GUSTAVO FREDERICO RIBEIRO PEÃO Aprovada pela Comissão Julgadora em 14 de dezembro de 1998.

Campinas, 14 de dezembro de 1998

Prof. Dr. Vivaldo Silveira Júnior
Presidente da Banca

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

SETEMBRO DE 1998



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	
V.	Ex.
TOMBO B.	36.371
PROC.	229/99
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	29/01/99
N.º CPD	

CM-00120448-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

P313i

Peão, Gustavo Frederico Ribeiro

Instrumentação e monitoração de uma carroceria comercial
frigorificada com avaliação da temperatura de transporte /
Gustavo Frederico Ribeiro Peão. -- Campinas, SP: [s.n.],
1998.

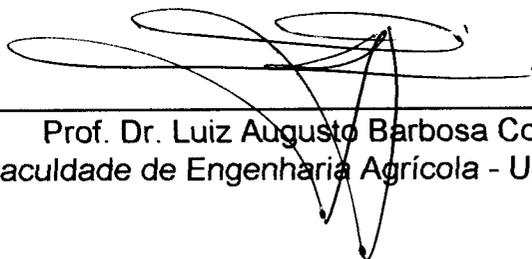
Orientador: Vivaldo Silveira Junior
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Refrigeração. 2.Transporte frigorificado. 3.Carrocerias
frigorificadas. I. Silveira Junior, Vivaldo. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de
Alimentos. III. Título.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Vivaldo Silveira Júnior.
Faculdade de Engenharia de Alimentos - UNICAMP



Prof. Dr. Luiz Augusto Barbosa Cortez
Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP



Prof. Dr. Theo Guenter Kieckbusch
Faculdade de Engenharia Química - UNICAMP

Prof. Dr. Paulo Sérgio G. Magalhães
Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP

À inesquecível Dona Tecla, minha querida avó, que mesmo lá de cima, sempre estará perto de mim com seu amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, Luz que me guia.

Ao meu orientador Professor **Dr. Vivaldo Silveira Jr.**, pela amizade, carinho e honestidade a mim dispensados e além disso, pela confiança no meu trabalho. **MUITO OBRIGADO !!!**

Ao Prof. **Lincoln Camargo Neves Filho**, pela sua fundamental participação no trabalho mas principalmente, pela sua amizade, dedicação e até pelas broncas recebidas, sem dúvida alguma "Energia de Ativação" necessária para a execução desse trabalho. Ao "*Mestre Lincoln*", **MUITO OBRIGADO !!!**

Aos integrantes da banca examinadora, **Prof. Dr. Luiz Augusto Barbosa Cortez**, **Prof. Dr. Theo Guenther Kieckbusch** e **Prof. Dr. Paulo Sérgio G. Magalhães** pelas suas fundamentais observações, sugestões e correções.

Aos meus pais, **Juarez** e **Daisy**, que fizeram de tudo para que eu pudesse estar aqui nesse momento de felicidade e realização. **MUITO OBRIGADO !!!**

Aos meus irmãos, **Luiz Fernando** e **Carlos André**, pela amizade e apoio dados em todas as fases da minha vida.

A **Janaina**, por você existir.

A todos os amigos que fiz ao longo desse tempo, especialmente a **Martinha**, **Flávio** (Valeu, Parceiro !!!), **Janaina & Carlos André**, **Mauro** e **Cristianne**, pela amizade, compreensão, carinho e pela palavra amiga nos momentos difíceis. A vocês eu deixo a "*minha eterna gratidão*". **OBRIGADO !!!**

Aos meus "camaradinhas", **Carlos Parreira** e **Izaías Cunha** pela inestimável contribuição técnica a esse trabalho, pela amizade e pela sabedoria de deixar o cotidiano em nosso local de trabalho, um lugar de amizade, alegria e união.

A todos os "pacientes" do Hospício Santa Genebra, inclusive os que, como eu, já receberam "alta", pela amizade, carinho e pelo divertido dia-a-dia em família. **OBRIGADO !!!**

Aos Professores da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, **Mauricio Cordeiro Mancini, Djalva Santana, Armando Sabaa-Srur e Antônio Tavares da Silva**, que contribuíram muito para a minha formação profissional e pessoal.

Aos amigos : **Marcílio Wagner (MW), Marcelo Inflação, Jaime, Alessandra, Ana Priscila, Titina**, etc.

Ao amigo e *furingo* **Mauricio Motta**, pela amizade dispensada.

A todos que compõem o Departamento de Engenharia de Alimentos.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABELAS	xi
NOMENCLATURA	xiv
RESUMO	xvi
SUMMARY	xvii
JUSTIFICATIVA	1
1 - OBJETIVOS	2
2 - INTRODUÇÃO	3
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 - Cadeia do frio	6
3.2 - Perda de peso	16
3.3 - Carga térmica	18
3.4 - Instrumentação e monitoração de sistemas de refrigeração	25
4 - MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1 - Carroceria frigorificada	29
4.2 - Sistema frigorífico	31
4.2.1 - Compressor	33
4.2.2 - Condensador	33
4.2.3 - Tanque de Líquido, Filtro Secador e Visor de Líquido	34
4.2.4 - Válvula de Expansão	34
4.2.5 - Evaporador e Sistema de Degelo a Gás Quente	35
4.2.6 - Válvula Reguladora de Pressão de Evaporação	36
4.2.7 - Acumulador de Líquido na Linha de Sucção	36
4.3 - Instrumentação da carroceria frigorificada	36
4.3.1 - Temperatura	37
4.3.1.1 - Construção e calibração dos termopares	40

4.3.2 - Radiação Solar	41
4.3.3 - Velocidade do Ar	41
4.3.4 - Pressão	43
4.4 - Sistema de aquisição de dados	43
4.5 - Carga térmica artificial	44
4.6 - Ensaio de monitoração	45
4.7 - Tratamento dos resultados	49
4.7.1 - Construção dos modelos empíricos	49
4.7.2 - Método de Análise de sensibilidade dos parâmetros	50
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1 - Condições operacionais do sistema frigorífico	51
5.1.1 - Pressões e temperaturas do sistema frigorífico	51
5.1.2 - Velocidade do ar no interior da câmara.	53
5.2 - Ensaio sem abertura de porta e sem introdução de carga térmica artificial	54
5.3 - Ensaio com abertura de porta e sem introdução de carga térmica artificial	62
5.3.1 - Porta 1	62
5.3.2 - Porta 2	66
5.3.3 - Porta 3	71
5.3.4 - Porta 4	75
5.4 - Ensaio sem abertura de porta e com introdução de carga térmica artificial	79
5.5 - Ensaio com abertura de porta e com introdução de carga térmica artificial	82
5.5.1 - Porta 1	83
5.5.2 - Porta 2	86
5.5.3 - Porta 3	90
5.5.4 - Porta 4	94
5.6 - Modelos empíricos obtidos	98
5.6.1 - Porta 1	98
5.6.2 - Porta 2	100

5.6.3 - Porta 3	101
5.6.4 - Porta 4	102
5.7 - Análise de sensibilidade dos parâmetros	103
5.8 - Comparação das temperaturas para o controle do sistema frigorífico	104
6 - CONCLUSÕES	111
7 - SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS	113
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
9 - APÊNDICES	120
9.1 - APÊNDICE 1 - CURVAS DE CALIBRAÇÃO DOS TERMOPARES	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - Efeitos da temperatura ambiente durante o transporte acondicionado de carne bovina em containeres frigorificados (adaptado de KEFFORD , 1979).	8
Figura 3.2 - Esquema de um sistema frigorífico em uma carroceira isolada	13
Figura 3.3 - Fluxos de calor em uma câmara frigorífica.	19
Figura 3.4 - Modelo do comportamento respiratório para frutas climatéricas e não-climatéricas (adaptado de ROCHA & SPAGNOL , 1984).	22
Figura 3.5 - Comportamento da taxa de respiração de algumas frutas de acordo com a temperatura (adaptado de CHITARRA & CHITARRA , 1990).	23
Figura 4.1 - Disposição das portas da carroceira frigorificada.	30
Figura 4.2 - Circuito Frigorífico da Carroceira Recrusul S/A.	32
Figura 4.3 - Localização das seções de medição de velocidade do ar no interior da carroceira RECRUSUL S/A.	42
Figura 4.4 - Localização dos pontos de medida de velocidade do ar no interior da carroceira RECRUSUL S/A.	42
Figura 4.5 - Esquema do hardware de aquisição de dados.	44
Figura 5.1 - Pressões de operação do sistema frigorífica durante o ensaio X.	51
Figura 5.2 - Temperaturas do sistema frigorífico durante o ensaio X.	52
Figura 5.3 - Temperaturas do sistema frigorífico durante o ensaio X.	52
Figura 5.4 - Históricos das leituras de radiação solar global dos experimentos 1A e 1B, relativos ao ensaio 1.	55
Figura 5.5 - Históricos de leituras das temperaturas do ar de retorno, ar de insuflamento e da superfície do evaporador dos experimentos 1A e 1B.	55

Figura 5.6 - Históricos de leituras de temperatura das seções 1, 2 e 3 para os experimentos 1A e 1B relativos ao ensaio 1.	56
Figura 5.7 - Históricos das leituras de temperatura das superfícies interna e externa das paredes laterais da carroceira, durante os experimentos 1A e 1B.	56
Figura 5.8 - Históricos das leituras de temperatura das superfícies interna e externa do teto e do piso da carroceira, durante os experimentos 1A e 1B.	57
Figura 5.9 - Históricos das leituras de temperatura das superfícies interna e externa das paredes dianteira e traseira da carroceira, durante os experimentos 1A e 1B relativos ao ensaio 1.	58
Figura 5.10 - Histórico das temperaturas do ar de retorno e de insuflamento de ar do evaporador durante os ensaios 1 e 2.	59
Figura 5.11 - Histórico das temperaturas das superfícies interna e externa da parede lateral 1 durante os ensaios 1 e 2.	59
Figura 5.12 - Histórico das temperaturas das superfícies interna e externa da parede lateral 2 durante os ensaios 1 e 2.	60
Figura 5.13 - Histórico das temperaturas das superfícies interna e externa do piso da carroceira durante os ensaios 1 e 2.	61
Figura 5.14 - Histórico das temperaturas das superfícies interna e externa do teto da carroceira durante os ensaios 1 e 2.	61
Figura 5.15 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 1 durante os ensaios durante o dia - 7($t_{ab} = 300$ s) , 13($t_{ab} = 600$ s) e 19($t_{ab} = 900$ s).	63
Figura 5.16 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 1 durante os ensaios durante a noite - 8 ($t_{ab} = 300$ s) , 14 ($t_{ab} = 600$ s) e 20 ($t_{ab} = 900$ s).	64
Figura 5.17 - Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 1 e do ar de retorno durante os ensaios 07 e 08 ($t_{AB} = 300$ s).	64
Figura 5.18 - Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 1 e do ar de retorno durante os ensaios 13 e 14 ($t_{AB} = 600$ s).	65

Figura 5.19- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 1 e do ar de retorno durante os ensaios 19 e 20 ($t_{AB} = 900$ s).	65
Figura 5.20 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 2 durante os ensaios durante o dia - 25 ($t_{ab} = 300$ s) , 31 ($t_{ab} = 600$ s) e 37 ($t_{ab} = 900$ s).	68
Figura 5.21 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 2 durante os ensaios durante a noite - 26 ($t_{ab} = 300$ s) , 32 ($t_{ab} = 600$ s) e 38 ($t_{ab} = 900$ s).	68
Figura 5.22- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 2 e do ar de retorno durante os ensaios 25 e 26 ($t_{AB} = 300$ s).	69
Figura 5.23- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 2 e do ar de retorno durante os ensaios 31 e 32 ($t_{AB} = 600$ s).	69
Figura 5.24- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 2 e do ar de retorno durante os ensaios 37 e 38 ($t_{AB} = 900$ s).	70
Figura 5.25 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 3 durante os ensaios durante o dia - 43 ($t_{ab} = 300$ s) , 48 ($t_{ab} = 600$ s) e 55 ($t_{ab} = 900$ s).	72
Figura 5.26 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 3 durante os ensaios durante o dia - 44 ($t_{ab} = 300$ s), 49 ($t_{ab} = 600$ s) e 56($t_{ab} = 900$ s).	72
Figura 5.27- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 3 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 43 e 44($t_{AB}= 300$ s).	73
Figura 5.28- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 3 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 49 e 50($t_{AB}= 600$ s).	73
Figura 5.29- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 3 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 55 e 56($t_{AB}= 900$ s).	74

Figura 5.30 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 4 durante os ensaios durante o dia - 61 ($t_{ab} = 300$ s), 67 ($t_{ab} = 600$ s) e 73($t_{ab} = 900$ s).	76
Figura 5.31 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 4 durante os ensaios durante a noite - 62 ($t_{ab} = 300$ s), 68 ($t_{ab} = 600$ s) e 74 ($t_{ab} = 900$ s).	76
Figura 5.32- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 4 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 61 e 62($t_{AB}= 300$ s).	77
Figura 5.33- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 4 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 67 e 68($t_{AB}= 600$ s).	77
Figura 5.34- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 4 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 73 e 74($t_{AB}= 900$ s).	78
Figura 5.35 - Comportamento da temperatura do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios feitos durante o dia - 03 ($Q_{RES} = 5000$ kJ) e 05 ($Q_{RES} = 10000$ kJ).	80
Figura 5.36 - Comportamento da temperatura do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios feitos durante a noite - 04 ($Q_{RES} = 5000$ kJ) e 06 ($Q_{RES} = 10000$ kJ).	80
Figura 5.37 - Comportamento da temperatura do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios com introdução de $Q_{RES} = 5000$ KJ - 3 (dia) e 4 (noite).	81
Figura 5.38 - Comportamento da temperatura do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios com introdução de $Q_{RES} = 10000$ KJ - 5 (dia) e 6 (noite).	81
Figura 5.39 - Temperatura do ar de retorno ao evaporador e da região próxima à porta 1 durante os ensaios 09 (dia)e 10 (noite), com $t_{AB}= 300s$ e $Q_{RES} = 5000$ KJ.	84

Figura 5.40 - Temperatura do ar de retorno e da região próxima à porta 1 dos ensaios 11 ($t_{AB} = 300$ s), 17 ($t_{AB} = 600$ s) e 23 ($t_{AB} = 900$ s), durante o dia e com $Q_{RES} = 10000$ KJ.	85
Figura 5.41 - Temperatura do ar de retorno e da região próxima à porta 1 dos ensaios 15 ($Q_{RES} = 5000$ KJ) e 17($Q_{RES} = 10000$ KJ), durante o dia e com $t_{AB} = 600$ s.	85
Figura 5.42 - Temperatura do ar de retorno ao evaporador e da região próxima à porta 2 durante os ensaios 41 (dia)e 42 (noite), com $t_{AB} = 900$ s e $Q_{RES} = 10000$ KJ.	88
Figura 5.43 - Temperatura do ar de retorno e da região próxima à porta 2 dos ensaios 29 ($t_{AB} = 300$ s), 35 ($t_{AB} = 600$ s) e 41 ($t_{AB} = 900$ s), durante o dia e com $Q_{RES} = 10000$ KJ.	89
Figura 5.44 - Temperatura do ar de retorno e da região próxima à porta 1 dos ensaios 33 ($Q_{RES} = 5000$ KJ) e 35($Q_{RES} = 10000$ KJ), durante o dia e com $t_{AB} = 600$ s.	89
Figura 5.45 - Temperatura do ar de retorno ao evaporador e da região próxima à porta 3 durante os ensaios 51 (dia)e 52 (noite), com $t_{AB} = 600$ s e $Q_{RES} = 5000$ KJ.	92
Figura 5.46 - Temperatura do ar de retorno e da região próxima à porta 2 dos ensaios 45 ($t_{AB} = 300$ s), 51 ($t_{AB} = 600$ s) e 57 ($t_{AB} = 900$ s), durante o dia e com $Q_{RES} = 5000$ KJ.	93
Figura 5.47 - Temperatura do ar de retorno e da região próxima à porta 1 dos ensaios 45 ($Q_{RES} = 5000$ KJ) e 47($Q_{RES} = 10000$ KJ), durante o dia e com $t_{AB} = 300$ s.	93
Figura 5.48 - Temperatura do ar de retorno ao evaporador e da região próxima à porta 3 durante os ensaios 69 (dia)e 70 (noite), com $t_{AB} = 600$ s e $Q_{RES} = 5000$ KJ.	96
Figura 5.49 - Temperatura do ar de retorno e da região próxima à porta 2 dos ensaios 63 ($t_{AB} = 300$ s), 69 ($t_{AB} = 600$ s) e 75 ($t_{AB} = 900$ s), durante o dia e com $Q_{RES} = 5000$ KJ.	97

Figura 5.50 - Temperatura do ar de retorno e da região próxima à porta 1 dos ensaios 73 ($Q_{RES} = 5000$ KJ) e 75 ($Q_{RES} = 10000$ KJ), durante o dia e com $t_{AB} = 900$ s.	97
Figura 5.51 - Valores Preditos pelo modelo obtido para a porta 1 em relação aos valores observados experimentalmente.	99
Figura 5.52 - Valores Preditos pelo modelo obtido para a porta 2 em relação aos valores observados experimentalmente.	100
Figura 5.53 - Valores Preditos pelo modelo obtido para a porta 3 em relação aos valores observados experimentalmente.	101
Figura 5.54 - Valores Preditos pelo modelo obtido para a porta 4 em relação aos valores observados experimentalmente.	102
Figura 5.55 - Fatores de sensibilidade dos parâmetros envolvidos nos modelos obtidos para cada uma das portas da carroceira, com relação a t_{SET} .	104
Figura 5.56 - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 3 (dia) e 4(noite), com $Q_{RES} = 5000$ kJ e sem abertura de portas.	105
Figura 5.57 - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 19 (dia) e 20(noite), sem introdução de carga térmica e com tempo de abertura de 900 s da porta 1.	106
Figura 5.58 - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 31(dia) e 32(noite), sem introdução de carga térmica e com tempo de abertura de 600 s da porta 2.	106
Figura 5.59 - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 55(dia) e 52(noite), sem introdução de carga térmica e com tempo de abertura de 900 s da porta 3.	107
Figura 5.60 - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 67(dia) e 68(noite), sem introdução de carga térmica e com tempo de abertura de 600 s da porta 4.	107
Figura 5.61 - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 11(dia) e 12(noite), com tempo de abertura de 300 s da porta 1 e $Q_{RES} = 10000$ kJ.	108

- Figura 5.62** - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 51(dia) e 52(noite), com tempo de abertura de 600 s da porta 3 e $Q_{RES} = 5000$ kJ. **108**
- Figura 5.63** - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 53(dia) e 54 (noite), com tempo de abertura de 600 s da porta 3 e $Q_{RES} = 10000$ kJ. **109**
- Figura 5.64** - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 77(dia) e 78(noite), com tempo de abertura de 900 s da porta 2 e $Q_{RES} = 10000$ kJ. **109**

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Temperatura dos produtos congelados no verão e no inverno (KEFFORD, 1979).	10
Tabela 3.2 - Perdas de qualidade em função da temperatura e do tempo (VAN ARSDEL & GUADAGNI, 1959).	11
Tabela 3.3 - Temperaturas recomendadas para o transporte de alimentos (IIR, 1974).	11
Tabela 3.4 - Comparação entre sistemas de refrigeração (NISBET, 1979).	14
Tabela 3.5 - Efeito da temperatura sobre a força motriz responsável pela perda de peso (NEVES Fo., 1984).	16
Tabela 3.6 - Variação da força motriz da perda de peso a partir de uma variação de temperatura em uma câmara frigorífica.	17
Tabela 3.7 - Classificação de algumas frutas pela taxa de respiração (CHITARRA & CHITARRA, 1990).	22
Tabela 3.8 - Temperaturas da carga dentro das carrocerias.	27
Tabela 4.1 - Dimensões externas da carroceria frigorificada RECRUSUL S/A.	29
Tabela 4.2 - Dimensões das portas da carroceria frigorificada RECRUSUL S/A.	30
Tabela 4.3 - Capacidade frigorífica da unidade de refrigeração, quando em operação pelo motor elétrico 60 cv, considerando $T_{EXT} = 38\text{ °C}$ (RECRUSUL S/A, 1996)	31
Tabela 4.4 - Convenção adotada para a identificação das paredes da carroceira	37
Tabela 4.5 - Localização dos termopares.	38
Tabela 4.6 - Especificações dos bancos de resistências elétricas utilizados.	44
Tabela 4.7 - Condições operacionais dos ensaios.	48
Tabela 5.1 - Valores da velocidade do ar no interior da carroceria	53

Tabela 5.2 - Resultados obtidos para os ensaios realizados sem a introdução de carga térmica e abertura de portas	54
Tabela 5.3 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 1, sem a introdução de carga térmica e abertura de portas	62
Tabela 5.4 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 1	66
Tabela 5.5 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 2, sem a introdução de carga térmica e abertura de portas	67
Tabela 5.6 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 2.	69
Tabela 5.7 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 3, sem a introdução de carga térmica e abertura de portas	70
Tabela 5.8 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 3	73
Tabela 5.9 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 4, sem a introdução de carga térmica e abertura de portas	74
Tabela 5.10 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 4.	77
Tabela 5.11 - Ensaios efetuados com introdução de carga térmica artificial.	78
Tabela 5.12 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios sem abertura de portas, com introdução de carga térmica	82
Tabela 5.13 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 1 e introdução de carga térmica artificial.	83
Tabela 5.14 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 1 e introdução de carga térmica artificial.	86
Tabela 5.15 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 2 e introdução de carga térmica artificial	87
Tabela 5.16 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 2 e introdução de carga térmica artificial.	90
Tabela 5.17 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 3 e introdução de carga térmica artificial.	91

Tabela 5.18 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 3 e introdução de carga térmica artificial.	94
Tabela 5.19 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 4 e introdução de carga térmica e abertura de portas	95
Tabela 5.20 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 2 e introdução de carga térmica artificial.	98
Tabela 5.21 - Codificação das variáveis do modelo para a porta 1.	99
Tabela 5.22 - Codificação das variáveis do modelo para a porta 2.	100
Tabela 5.23 - Codificação das variáveis do modelo para a porta 3.	101
Tabela 5.24 - Codificação das variáveis do modelo para a porta 4.	102
Tabela 5.25 - Fatores de sensibilidade encontrados para as variáveis manipuladas.	103
Tabela 5.26 - Resultados encontrados para o tempo de resposta dos ensaios estudados, para a temperatura do ar de retorno ($t_{resp, ret}$) e o parâmetro T_{PROP} ($t_{resp, prop}$).	105

t_{RES}	tempo de funcionamento dos bancos de resistências	s
T_{RET}	Temperatura do Ar de Retorno ao Evaporador	°C
UR	Umidade Relativa do ar	%

<i>Letras Gregas</i>	<i>Descrição</i>	<i>Unidades</i>
Δ	Varição	

RESUMO

O trabalho consiste na monitoração das condições internas de uma carroceira frigorificada por meio de instrumentação relativa ao processo de refrigeração e das condições externas ambientais, com o auxílio de sistema de aquisição de dados. Foi avaliada a influência de variáveis como radiação solar, temperatura no exterior da câmara e de procedimentos que ocorrem no transporte e na distribuição de produtos frigorificados, como a abertura de portas e carga de produtos, sobre a variação da temperatura interna. Construiu-se, a partir dos resultados experimentais obtidos, modelos empíricos capazes de prever o tempo necessário para que o sistema retorne a condição desejada após ter sofrido uma determinada perturbação.

Os resultados encontrados com os testes feitos com a carroceria vazia, mostraram que a espessura de isolamento foi satisfatória na redução da troca de calor por transmissão, visto que mesmo em condições de altas temperaturas na superfície externa, a variação da temperatura interna da carroceria é desprezível. Quando da abertura de portas e introdução de carga térmica artificial, verificou-se grandes variações no valor da temperatura do ar de retorno, de até 30 °C, em relação ao valor desejado, de - 18 °C, o que reforça os cuidados que devem ser tomados nos procedimentos de carga e descarga de produtos refrigerados, por meio de uma racionalização da utilização e do tempo de abertura das portas dos equipamentos de transporte frigorificado.

SUMMARY

This study consists in monitoring conditions of a refrigerated truck chassis throughout instrumentation relative to the refrigeration process and the measurement of external environmental conditions, with aid of data acquisition system. The influence of variables as solar radiation, ambient temperature and such procedures that happen during transportation and distribution of refrigerated products, such as doors opening and products load, was evaluated. An empirical model was obtained to predict the necessary time for the system to go back the set condition after having suffered a certain disturbance. The results found with the empty truck chassis tests showed that the isolation thickness was satisfactory in the transmission heat, even at surface external high temperature conditions, the variation of internal temperature is minimum. With doors opening and artificial thermal load great variations in the value of the temperature of air returning to the evaporator was observed, up to 30 °C, in relation to the set value(-18 °C), what reinforces that should be taken care in loading and unloading procedures of refrigerated products, through rational utilization of the doors and control of doors opening time.

JUSTIFICATIVA

A manutenção da temperatura dos produtos resfriados e congelados durante toda a cadeia de distribuição e comercialização e na estocagem, em níveis satisfatórios é de fundamental importância para a qualidade destes produtos, além de contribuir para a diminuição das perdas.

O transporte e a distribuição frigorificados se constituem em etapas vitais na manutenção da cadeia do frio, visto que garantem a ligação entre os centros de produção e de consumo. O transporte por longas distâncias seja por caminhões, trens, navios e aviões vem sofrendo um grande aumento nos últimos anos, principalmente com a intensificação do comércio internacional, o que requer uma maior necessidade de conformidade e padronização para uma melhor organização e eficiência na distribuição dos produtos (ASHBY, 1981). A utilização do frio possibilita a colocação em larga escala de produtos brasileiros no mercado externo, alguns novos como o extrato de café solúvel, ovo líquido, e em maior escala o suco de laranja (Anônimo, 1997). No Brasil, o potencial de exportação de alimentos como frutas e hortaliças frescas é imenso e muito pouco aproveitado, conforme os dados conhecidos, principalmente pela não utilização do frio e, conseqüentemente, o crescimento desse mercado também depende de um maior desenvolvimento na área do transporte frigorificado.

Devido à importância das etapas de transporte e distribuição dos produtos dentro da cadeia do frio, há a necessidade do uso de equipamentos adequados, que permitam que o produto chegue aos pontos de venda dentro dos padrões de legislação e de mercado, e para que isso ocorra é necessário que se tenha um controle e operações adequados das condições dos ambientes frigorificados. A utilização de sensores que possam avaliar o comportamento do processo de acordo com alterações tanto em nível externo como interno, possibilitará a obtenção de dados que auxiliarão na viabilização de estratégias de controle que aumentem a eficiência dos processos envolvidos.

1 - OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são avaliar o efeito das condições climáticas, de abertura de portas e da carga de produtos, sobre a temperatura de transporte em uma carroceira comercial frigorificada, com a instalação de instrumentação adequada para a monitoração desses parâmetros, com auxílio de sistema de aquisição de dados, e verificar a inércia da variação da temperatura sob diferentes perturbações, tanto internas como externas, com a construção de modelos capazes de prever o tempo necessário para que o sistema retorne à condição desejada, da temperatura do ar de retorno ao evaporador igual a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2 - INTRODUÇÃO

O uso do frio, quando satisfeitas as exigências do produto para a sua conservação, constitui-se na melhor solução para a diminuição das perdas. Desta forma, a escolha das condições mais apropriadas para reduzir os problemas existentes, implica em uma correta combinação de fatores como a temperatura de estocagem, umidade relativa do ar, velocidade de circulação do ar e modo de empilhamento da carga (**ROCHA & SPAGNOL**, 1984), além do estado da matéria-prima, manuseio, método de resfriamento ou congelamento adotado e embalagem.

Os custos envolvidos com a utilização do frio exigem que os produtos garantam níveis de qualidade superior, se baseando em um processamento adequado e uma rígida manutenção da temperatura desde a produção até o consumo, sob risco de ocorrer a deterioração do produto e crescimento de microorganismos, para o caso de uma dessas etapas ser negligenciada. O controle da temperatura é fundamental, pois sabe-se que a velocidade da maioria das transformações químicas, bioquímicas, microbiológicas e fisiológicas dos produtos estão relacionadas com sua temperatura (**NEVES Fo.**, 1997).

Enquanto é observado o aparecimento de novas tecnologias, capazes de melhorar os processos adotados na indústria visando a obtenção de produtos com qualidade superior a menores custos, pouca atenção têm sido dada no controle da temperatura na cadeia do frio.

De acordo com os dados da **FAO** (1991), citados por **MEDEROS** (1996), a produção brasileira estimada de hortifrutícolas, em 1990, foi de 30 milhões de toneladas, representando cerca de 8% da produção mundial. Porém, apesar do Brasil ser um dos maiores produtores, não é um grande exportador. Em 1995, houve uma queda de 36,4 % do volume exportado, em relação ao resultado de 1994, representando uma redução de mais de US\$ 20.000.000 em divisas para o país. Tais resultados são reflexos dos altos níveis de perdas destes produtos nesse setor. Segundo relatório da **EMBRAPA** (1993), no caso do Estado de São Paulo, para uma produção de cerca de

11.270.472 toneladas, houve uma perda estimada de 3.571.195 toneladas, representando 35 % do valor produzido. Estatísticas do **IBRAF** (1993), mostram que as perdas pós-colheita variam de 25% a 80% da produção agrícola, dependendo do produto e da região produtora, sendo que grande parte dessa perda é causada pela falta de armazenagem, transporte e comercialização adequados.

Dependendo do produto, o uso da refrigeração se faz necessário desde a área de produção agrícola, como no caso da comercialização de frutas e hortaliças frescas, o que no Brasil não é uma prática muito comum, contribuindo para os altos percentuais de perdas observados (**NEVES Fo.**, 1981), motivados principalmente pela falta de tratamento e manuseio adequados, suscetibilidade ao ataque de microorganismos e à não utilização do frio, ou a sua má utilização, durante a armazenagem, transporte e comercialização (**ROCHA & SPAGNOL**, 1984). Porém, para que ocorra uma mudança nesse quadro devem ser desenvolvidas técnicas, equipamentos e processos que tornem atrativo tal procedimento, trazendo benefícios econômicos e técnicos, através da cooperação entre setores envolvidos nas etapas de processamento, transporte e comercialização.

Além do uso do frio e de processos de fabricação adequados, a embalagem utilizada é importante para garantir que o produto não sofra danos pela refrigeração ou por outros agentes que acarretem as perdas das características iniciais e, portanto, mantendo-o atrativo para o consumo.

A utilização de estratégias de instrumentação e controle na indústria vêm tendo um grande crescimento, devido à necessidade cada vez maior das empresas em oferecer produtos de boa qualidade, de forma homogênea, com menores custos e de forma mais eficiente. No caso da indústria de alimentos, o grau de utilização dessa ferramenta não é muito grande, devido a falta de sensores confiáveis para medição *on-line* de algumas variáveis de processo, impedindo a obtenção de dados com segurança, e pela falta de interesse em alguns segmentos na sua utilização, relativo aos investimentos iniciais que devem ser feitos para a compra e a implementação desses equipamentos.

Neste trabalho, através da instalação de sensores que relatem o comportamento da temperatura de transporte, conforme perturbações internas e externas existentes, será possível realizar uma avaliação quanto à influência de tais perturbações na temperatura interna da carroceira utilizada, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de novos equipamentos de transporte refrigerado, com dados relevantes para instrumentação e projetos nesta área.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

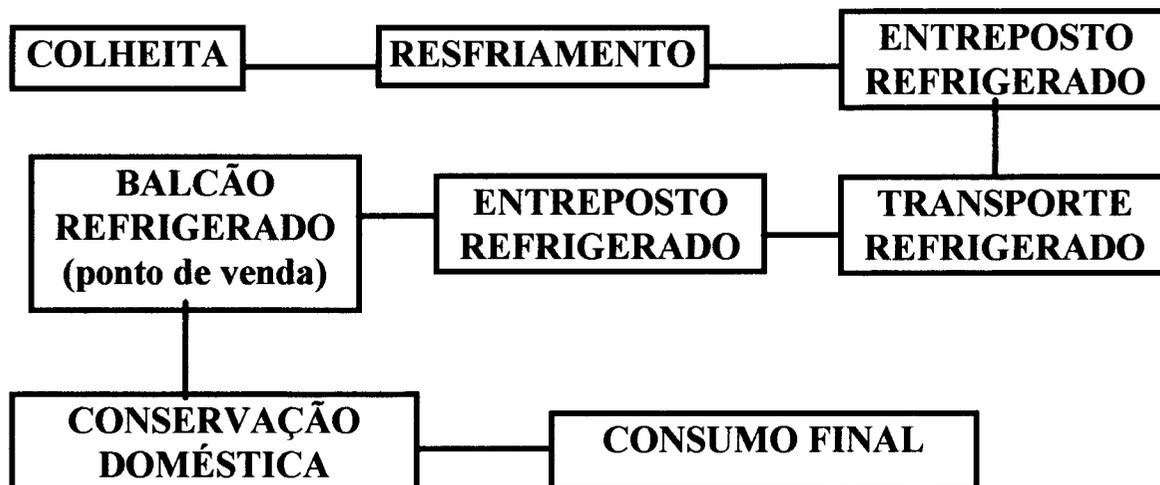
3.1 - CADEIA DO FRIO

Quando os alimentos deixam a área de produção, agrícola ou industrial, ficam sujeitos a mudanças climáticas. No caso dos produtos perecíveis, há a necessidade de se efetuar uma estocagem em temperaturas controladas, já que o uso de uma embalagem adequada fornece proteção, principalmente, contra mudanças no ar atmosférico, devido às barreiras de permeabilidade existentes, mas não fornece manutenção da temperatura interna.

O conjunto das operações compreendidas entre o processo de resfriamento ou congelamento do produto até a sua comercialização, passando pela estocagem e transporte, é chamado de cadeia do frio (**KEFFORD**, 1979). No caso de alimentos congelados, a temperatura por toda a cadeia não deve exceder a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Segundo **CORTEZ et al** (1997), manter a cadeia de frio de forma eficaz para um determinado produto é submetê-lo a uma seqüência de acondicionamento refrigerado que se estenda desde a colheita até o consumo final. Tão logo quanto o possível, o produto após ter sido colhido, com as devidas técnicas, deverá ser resfriado, preferencialmente, perto do local de colheita para evitar um excessivo manuseio que demanda um longo tempo e o expõe a condições impróprias. Segundo os mesmos autores, a permanência de um produto dentro da cadeia do frio irá garantir ao consumidor a vantagem de poder adquirir um produto de melhor qualidade (com menor percentual de perdas). Já para o comerciante, a existência da cadeia do frio desde a produção até a comercialização irá propiciar, além de menores níveis de perda, aumento no tempo de comercialização, devido a uma melhor manutenção das características do produto, e maior satisfação por parte do consumidor. Para o agricultor, a utilização do frio durante as operações pós-colheita irá lhe trazer maiores benefícios comerciais, com menos desperdício e, conseqüentemente, um maior lucro.

Esquemáticamente, pode-se dizer que a cadeia do frio para um produto hortifrutícola é composta dos seguintes elos :



Para que os alimentos congelados e resfriados cheguem ao seu destino final em condições ideais para o consumo é importante que se estabeleça uma logística na distribuição dos produtos, em que ações de planejamento das operações de transporte, como uma roteirização adequada do trajeto que o caminhão deva fazer durante uma jornada de trabalho, evitem que uma possível quebra na cadeia do frio possa provocar a perda de lotes inteiros, devido à má conservação ou acondicionamento inadequado (Anônimo, 1996). A utilização de técnicas como a de “*just-in-time*”, podem levar a menores custos de estocagem dos produtos, redução dos níveis de estoques, influenciando diretamente no preço final dos produtos (Anônimo, 1992).

O transporte frigorificado é uma operação que envolve altos custos iniciais, tanto de operação como de manutenção, e para que bons resultados sejam obtidos, a escolha correta dos equipamentos é fundamental (NISBET, 1979). ASHRAE (1990) faz uma classificação do transporte frigorificado de acordo com o tipo de operação.

KEFFORD (1979) apresenta um estudo sobre o transporte de carne bovina em *containers* frigoríficos e isolados, em que os efeitos da temperatura externa na carga térmica e na capacidade frigorífica são apresentados na Figura 3.1, tanto para o veículo em movimento como para o veículo parado. Os resultados encontrados para a capacidade frigorífica e a carga térmica do veículo em movimento são maiores do que os valores para o veículo parado, devido ao aumento dos coeficientes de transferência de calor por convecção do ar externo com as paredes externas da carroceria e bem como, na redução da temperatura de condensação, devido à maior convecção forçada para a melhor troca de calor no condensador do sistema frigorífico.

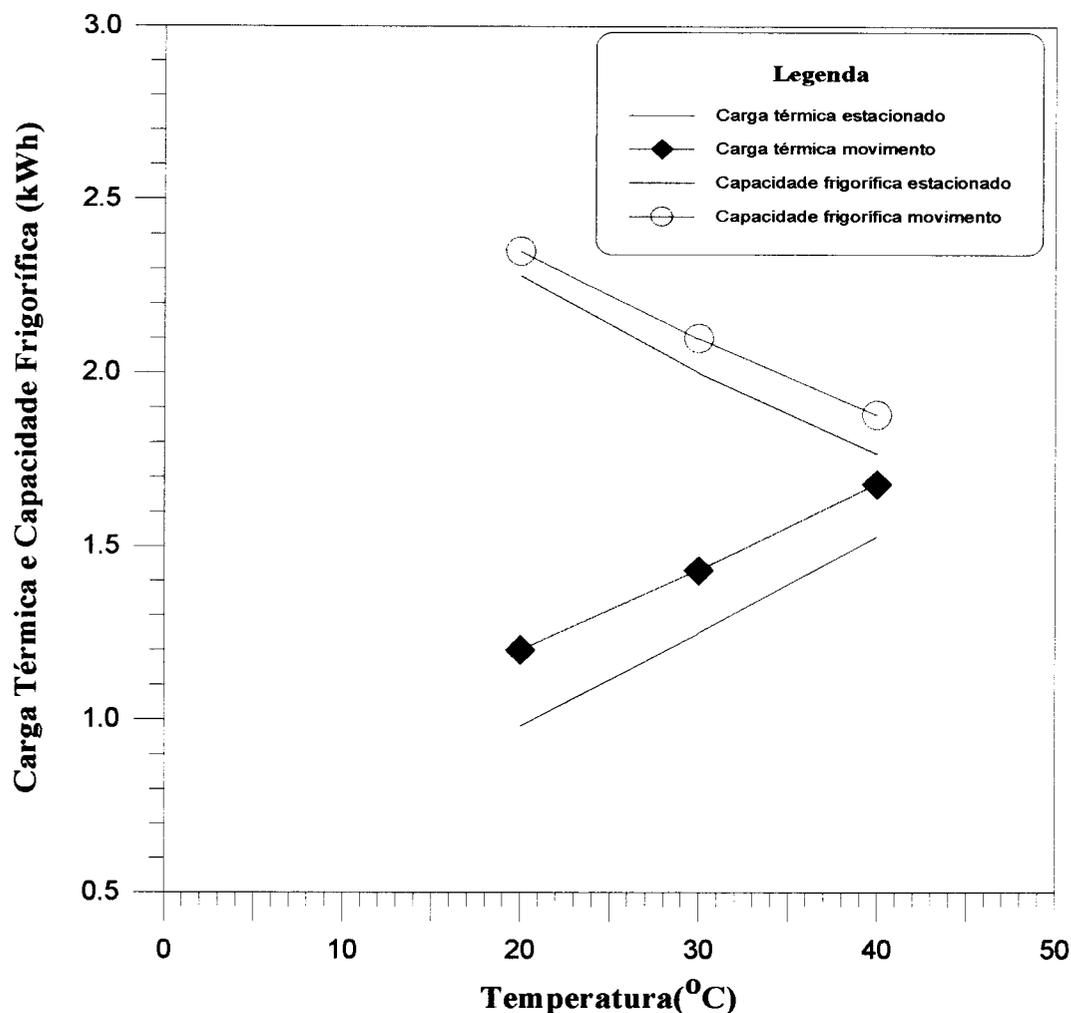


Figura 3.1 - Efeitos da temperatura ambiente durante o transporte acondicionado de carne bovina em *containers* frigoríficos (adaptado de **KEFFORD**, 1979).

O transporte por caminhões frigorificados consiste apenas em uma parte da cadeia de distribuição dos alimentos congelados e resfriados, e para que a distribuição seja feita com sucesso é necessário um grande esforço de planejamento e controle. Dentro da série de operações existentes durante a cadeia do frio, os pontos mais vulneráveis para manutenção da temperatura são no momento da transferência dos produtos da câmara para o caminhão e do caminhão para o ponto de venda ou um outro ponto de estocagem (Anônimo, 1982), que fogem do escopo deste trabalho.

O uso de carrocerias frigorificadas está basicamente direcionado para o transporte de mercadorias entre os locais de produção e entrepostos de distribuição ou pontos de venda. Atualmente, carrocerias vêm sendo desenvolvidas para se adaptar às necessidades dos produtos, como no caso do transporte de carne bovina e de iogurtes, em que são feitas modificações na carroceria para melhorar o transporte (ASHRAE, 1990), como a colocação de portas laterais, dutos de distribuição de ar e ganchos, no caso do transporte de peças de carne bovina.

A ISO (International Standard Organization) publicou em 1988 a norma 1496-2, que trata das especificações e testes necessários para controle internacional por rodovias, ferrovias e mar, definindo uma classificação para os *containers* térmicos. A norma, em seu texto, apresenta diversos testes para avaliar a qualidade de um *container* fabricado, como testes de resistência mecânica de sua estrutura e de carga térmica por transmissão.

A utilização de uma carroceria isolada, juntamente com um sistema de refrigeração adequado, deverá ser capaz de garantir um controle de temperatura eficiente durante o transporte, e até para uma estocagem (ASHRAE, 1990). As características de isolamento da carroceria e do sistema de refrigeração dependerão da aplicação desejada. O objetivo dos construtores de carroceria é construir uma carroceria com baixo peso, suficientemente resistente ao transporte, com uma estrutura que evite a passagem de água para a camada de isolante, com baixas taxas de transmissão de calor do ambiente externo para o interior da carroceira e com menor custo.

Para que o transporte seja eficiente, **NEVES Fo.** (1984) ressalta a necessidade do equipamento frigorífico operar durante certo tempo até que a temperatura atinja o valor desejado, antes de ser feito o carregamento.

IRVING & SHARP (1976), citados por **KEFFORD** (1979), avaliaram a temperatura dos produtos da cadeia do frio na cidade de Sidney, na Austrália, durante o verão e o inverno, e os dados encontrados, mostrados na Tabela 3.1, indicaram que o comportamento da temperatura dos produtos congelados na cadeia do frio é sensível à temperatura ambiente, o que torna difícil manter os produtos sobre temperaturas desejáveis, principalmente durante o verão.

Tabela 3.1 - Temperatura dos produtos congelados no verão e no inverno.

Média das Temperaturas (°C)	Verão	Inverno
<i>Carregamento</i>	-16,5	-17,0
<i>Descarregamento</i>	-12,0	-13,5

Fonte : **KEFFORD** (1979).

Em países como o Brasil, em que se verifica uma amplitude térmica muito grande, com a temperatura variando de 15 °C a 35 °C na maioria das regiões, a margem de segurança do sistema frigorífico, representada pela diferença entre a capacidade frigorífica e a carga térmica (**KEFFORD**, 1979), diminui bastante, fazendo com que a maioria dos projetos tendam a ser super-estimados com relação à capacidade frigorífica e, portanto, mais caros.

Em seu trabalho, **HATT & WILBEY** (1994), além de apresentarem os padrões especificados pelas legislações da Grã-Bretanha e do Mercado Comum Europeu para a indústria de laticínios, a partir de dados obtidos de diversas indústrias e organizações comerciais, estudaram o controle da temperatura na cadeia do frio desses produtos, do momento da ordenha até a comercialização nos pontos finais de venda, apresentando os problemas mais frequentes, no que diz respeito ao controle da temperatura dos produtos.

VAN ARSDEL & GUADAGNI (1959), citados por NEVES Fo. (1981), relacionaram as perdas de qualidade de produtos congelados em função da temperatura e do tempo envolvido em cada etapa, para uma cadeia do frio considerada, conforme Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Perdas de qualidade em função da temperatura e do tempo.

Etapa	Temperatura (°C)	Perda de Qualidade (%/dia)	Tempo (dias)	Perda Total de Qualidade (%)
<i>Produtor</i>	-20	0,23	150	33,0
<i>Transporte (1)</i>	-25	0,27	2	0,5
<i>Atacadista</i>	-24	0,28	60	17,0
<i>Transporte (2)</i>	-20	0,40	1	0,4
<i>Varejista</i>	-18	0,48	14	6,8
<i>Transporte (3)</i>	-9	1,90	1/6	0,2
<i>Consumidor</i>	-12	0,91	14	13,0
TOTAIS			~ 241	70,9

Fonte : VAN ARSDEL & GUADAGNI (1959)

As condições recomendadas de transporte para alguns produtos, segundo o IIR (1974), estão apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Temperaturas recomendadas para o transporte de alimentos.

Produto	Transporte de 1 a 3 dias,	Transporte de 4 a 6 dias,
	T (°C)	T (°C)
<i>Maçã</i>	3-10	3-10
<i>Banana</i>	12-14	12-14
<i>Alface</i>	0-6	0-2
<i>Morango</i>	1-2	não é recomendado
<i>Manteiga e Margarina</i>	≤ 6	≤ 6
<i>Sorvete</i>	≤ -20	não é recomendado
<i>Carne Bovina Congelada</i>	≤ -10	não é recomendado

Fonte : IIR (1974)

Para que uma manutenção adequada da temperatura seja atingida nos veículos, **HATT & WILBEY** (1994) consideram os seguintes fatores de projeto e operação:

- ◆ Isolamento adequado, devidamente especificado e protegido contra danos externos, além de portas eficientes e fortes.

- ◆ Unidades de refrigeração adequada, de operação segura e ocupando pouco espaço na área de estocagem da carga, ou seja, com um evaporador com pouca área de transferência, que seja eficiente.

- ◆ A distância percorrida durante o transporte e o número de operações de descarga ao longo da rota.

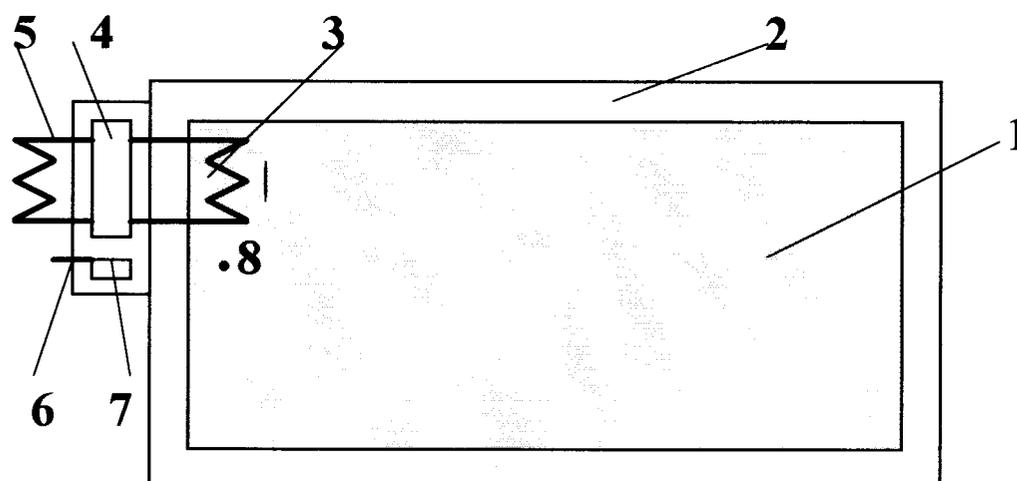
- ◆ A forma de descarregamento, que deve propiciar o mínimo de troca de calor.

- ◆ Monitoração eficiente e precisa da temperatura dos veículos, com a presença de alarmes que indiquem valores fora dos limites.

- ◆ Instalação de cortinas internas para reduzir a entrada de ar a temperatura e umidade do ambiente externo durante a abertura de portas.

GAC et al (1974) propuseram um procedimento para a medição do comportamento térmico de carrocerias comerciais, através da manutenção da temperatura ambiente externa constante, e a colocação de baterias de resistência para a geração de quantidade de calor conhecida durante os experimentos, para a observação da manutenção da temperatura no interior da câmara. Por meio desses experimentos, realizados com cerca de 85 equipamentos de transporte frigorificado, os autores constataram o aparecimento de uma diferença marcante entre as especificações dos fabricantes e os resultados obtidos experimentalmente.

Dentre os sistemas de refrigeração existentes, na área do transporte frigorificado, o uso da compressão mecânica é o mais difundido (NEVES Fo., 1984), em que o conjunto compressor, acionamento e condensador é disposto fora da carroceria, ao passo que o evaporador é instalado em seu interior, conforme visto na Figura 3.2. Entretanto, NISBET (1979) cita as vantagens e desvantagens do sistema por compressão mecânica quando comparado com o sistema criogênico, apresentadas na Tabela 3.4.



- 1 - Interior da Carroceria.
- 2 - Isolamento.
- 3 - Evaporador.
- 4 - Compressor e Sistema de Acionamento.
- 5 - Condensador.
- 6 - Termostato.
- 7 - Ajuste do Termômetro.
- 8 - Sensor de temperatura do ar de retorno ao evaporador.

Figura 3.2 - Esquema de um sistema frigorífico em uma carroceria isolada.

Tabela 3.4 - Comparação entre sistemas de refrigeração.

Sistema	Vantagens	Desvantagens
Compressão Mecânica	- Flexibilidade.	- Custos de manutenção altos. - Sistemas com maior peso. - Perda de capacidade da câmara pelo volume ocupado.($\approx 10\%$).
Criogênico	- Sistema com baixo peso. - Fácil manutenção. - Operação silenciosa	- Inflexível para jornadas com várias operações de descarga. - Requerem tanques reserva de líquidos em todas as etapas da cadeia de distribuição.

Fonte : **NISBET** (1979).

A redução dos custos durante o transporte é um ponto importante na análise do uso de refrigeração como meio de conservação, e passa tanto pela evolução dos sistemas frigoríficos como pelo uso de um planejamento que possibilite rotas com distâncias mínimas e o maior aproveitamento possível do espaço da câmara (**Anônimo**, 1982).

Durante o carregamento dos produtos na etapa de transporte, sem resfriamento prévio, como no caso de frutas colhidas no campo, de acordo com **NEVES Fo.** (1992), cálculos feitos mostraram que a carga térmica decorrente dessa operação pode corresponder à metade da capacidade frigorífica utilizada durante o período de estocagem propriamente dito. Para o caso de frutas e hortaliças frescas, em que a carga possui uma quantidade de calor inicial, a renovação do ar é necessária para reduzir a concentração de determinados gases, como por exemplo o etileno (**BENNAHMIA**S, 1990) que induz esses produtos a atingirem o climatério respiratório (**CHITARRA & CHITARRA**, 1990). Segundo **BENNAHMIA**S (1990), para resfriamento durante o transporte da maioria das frutas e hortaliças, uma taxa de circulação de $100 \text{ m}^3/\text{h}$, sob uma pressão de 200 Pa no interior da carroceria, é suficiente para garantir uma renovação de ar aceitável.

De acordo com **BENNAHMIA** (1990), as condições de conservação durante o transporte não são idênticas às de estocagem durante um maior período de tempo. Durante o transporte, segundo o autor, as variáveis mais importantes são a temperatura e a ventilação internas, além da permeabilidade das embalagens.

Segundo **KEFFORD** (1979), um problema freqüente durante o transporte e a estocagem de alimentos, causado pela oscilação excessiva da temperatura do ar interno da câmara, é a condensação de água na superfície dos produtos, no caso de vegetais ou carnes *in natura*, ou de suas embalagens. Tal fenômeno é devido ao encontro do ar externo, proveniente de falhas no isolamento ou pela abertura de portas, com superfícies mais frias a temperatura inferior ao ponto de orvalho, relativa às condições de temperatura e pressão do ar. Segundo **BENNAHMIA** (1990), a condensação de água na superfície dos produtos pode favorecer o crescimento de microorganismos, como as bactérias do gênero *Pseudomonas*, produtoras de *slime*, causando diminuição tanto da qualidade higiênica como do valor comercial dos produtos e pode provocar colapsos nas estruturas de embalagens de papel.

Para o controle da temperatura dos produtos por toda a cadeia do frio vem sendo utilizados indicadores visuais irreversíveis que indicam se o produto foi exposto a condições de temperatura superiores àquelas indicadas tecnicamente. Esses indicadores, segundo **MANSKE** (1985), além de garantirem uma maior proteção a consumidores, permite que seja detectado em que ponto houve a quebra da cadeia do frio.

RATH (1975), em seu trabalho cita que para a melhora dos sistemas de transporte e distribuição de produtos perecíveis são necessários atingir os seguintes objetivos :

- ◆ Redução do número de vezes que os produtos são manipulados e transportados durante a distribuição, com uma menor segmentação das operações, e por conseguinte, diminuição dos custos com a distribuição.

◆ Utilização da capacidade máxima de carga dos veículos de transporte frigorificado, reduzindo assim os custos com frete, além de contribuir para uma maior inércia térmica dos produtos .

◆ Aumentar o tempo de estocagem dos produtos dentro dos padrões desejáveis, através do desenvolvimento de novas técnicas de estocagem, com melhores sistemas de refrigeração.

3.2 - PERDA DE PESO

O estudo da perda de peso dos produtos durante a estocagem vêm despertado interesse, visto que além de alterar as características naturais têm grande importância do ponto de vista comercial. Segundo o fenômeno da transferência de massa, a força motriz responsável pela perda de peso dos produtos é motivada pela diferença entre a pressão de vapor de água na superfície do produto (igual à pressão de saturação da água, para produtos com a_w próximos a 1) e a pressão de vapor de água no ar da câmara de estocagem. A Tabela 3.5, segundo NEVES Fo. (1984) mostra a variação da força motriz, de acordo com a temperatura de equilíbrio, a valores de umidade relativa do ar constantes. Outra observação feita é que a variação da força motriz a 90% de umidade relativa do ar é inferior quando comparado com o aumento verificado a 80%, para uma mesma temperatura.

Tabela 3.5 - Efeito da temperatura sobre a força motriz responsável pela perda de peso.

UR (%)	Temperatura (°C)	P_v^{produto} (mmHg)	P_v^{ar} (mmHg)	Força Motriz $P_v^{\text{produto}} - P_v^{\text{ar}}$
80	20	17,6	14,08	3,52
	0	4,58	3,66	0,92
	-30	0,28	0,22	0,06
90	20	17,6	15,84	1,76
	0	4,58	4,12	0,46
	-30	0,28	0,25	0,03

Fonte : NEVES Fo. (1984).

De acordo com os valores apresentados na Tabela 3.6, um aumento da temperatura de estocagem (equilíbrio), mantendo-se a umidade relativa constante, causa um aumento na força motriz da perda de peso, enquanto que uma diminuição da temperatura acarreta uma redução.

Tabela 3.6 - Variação da força motriz da perda de peso a partir de uma variação de temperatura em uma câmara frigorífica.

Caso	Estado	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	P_v^{produto} (mmHg)	P_v^{ar} (mmHg)	Força Motriz $P_v^{\text{produto}} - P_v^{\text{ar}}$	ΔP_v , (mmHg)
1	"Inicial"	0	90	4,58	4,12	0,48	2,46
	"Final"	5	55	6,54	3,60	2,94	
2	"Inicial"	0	90	4,58	4,12	0,48	-0,44
	"Final"	-2	95	3,88	3,84	0,04	

Exemplificando um caso, no qual uma câmara isolada, inicialmente a 0°C, com umidade relativa de 90 %, sofre um aumento de temperatura para um equilíbrio a 5°C. Analisando a carta psicrométrica, a umidade relativa do ar da câmara passará a ser de 55% a essa nova temperatura, modificando o valor da diferença de pressão de vapor entre o produto e o ar. Com isso, um aumento de temperatura no interior da câmara é muito prejudicial para o produto no que se refere à perda de peso. Por outro lado, uma diminuição da temperatura da câmara a 0°C, a umidade relativa de 90%, para -2°C, condiciona a umidade relativa para 95%, reduzindo a diferença de pressão de vapor entre o produto e o ar, desfavorecendo a perda de peso.

Com os dados apresentados acima fica estabelecida a importância da manutenção da temperatura de conservação de um produto sem oscilações, mesmo numa fase relativamente curta como o transporte, para se evitar problemas relacionados com perda de peso, condensação interna e recristalização do gelo, no caso de produtos congelados, além de favorecerem certas reações que poderão reduzir o nível de qualidade desejada. Em produtos congelados, mesmo embalados pode ocorrer a dessecação, em que a água

migra da superfície do produto para o ambiente ou para a atmosfera no interior da embalagem, causando alterações a nível de aparência e acelerar reações oxidativas na superfície do produto.

3.3 - CARGA TÉRMICA

A carga térmica de qualquer aplicação de refrigeração é a soma do calor proveniente de diversas fontes, seja para uma câmara estática ou móvel. Assim, deve ser feito um balanço, para a faixa de condições de operação, entre o calor a ser removido e os meios utilizados para removê-lo (HALES *et al*, 1978-1979). Segundo DOSSAT (1980), as fontes mais comuns de carga são :

- ◆ Calor que infiltra através das paredes isoladas da câmara;

- ◆ Calor incidente na câmara por radiação direta;

- ◆ Calor provocado pela entrada de ar quente quando da abertura de portas ou por possíveis fendas existentes em volta das portas;

- ◆ Calor sensível de resfriamento do produto, quando este se encontra com temperatura superior à da câmara;

- ◆ Calor devido à circulação de pessoas no interior da câmara;

- ◆ Calor cedido por qualquer equipamento gerador de calor localizado no interior da câmara, tais como, motores elétricos, iluminação e equipamentos elétricos.

O consumo de energia elétrica do equipamento de refrigeração deve ser estimado através de informações de projeto, envolvendo as cargas térmicas contidas no sistema e a eficiência do processo. A carga térmica decorrente da transmissão de calor através do isolamento é feita por estimações, envolvendo características desde o material isolante, espessura do isolamento, faixa de temperaturas interna e externa e até o tempo de utilização do equipamento, o que para o caso de câmaras móveis se torna em um cálculo mais complexo (HALES *et al*, 1978-1979), uma vez que esta estimativa deve ser feita para condições extremas para o dimensionamento do equipamento de refrigeração.

A temperatura de um produto contido em uma câmara frigorífica, seja ela móvel ou fixa, dependerá dos fluxos de calor existentes. Além disso, para alguns produtos hortifrutícolas há ainda o calor liberado pela respiração durante o período de estocagem (SHARP, 1989), conforme ilustrado na Figura 3.3. A unidade de refrigeração deve remover o calor dessas fontes para garantir a estocagem do produto.

VAN NIEWENHUIZEN (1985) por meio de testes realizados com equipamento de transporte frigorificado, observou que o depósito de gelo nos evaporadores durante operações de resfriamento de produtos hortifrutícolas pode reduzir em até 30% a capacidade do sistema operante.

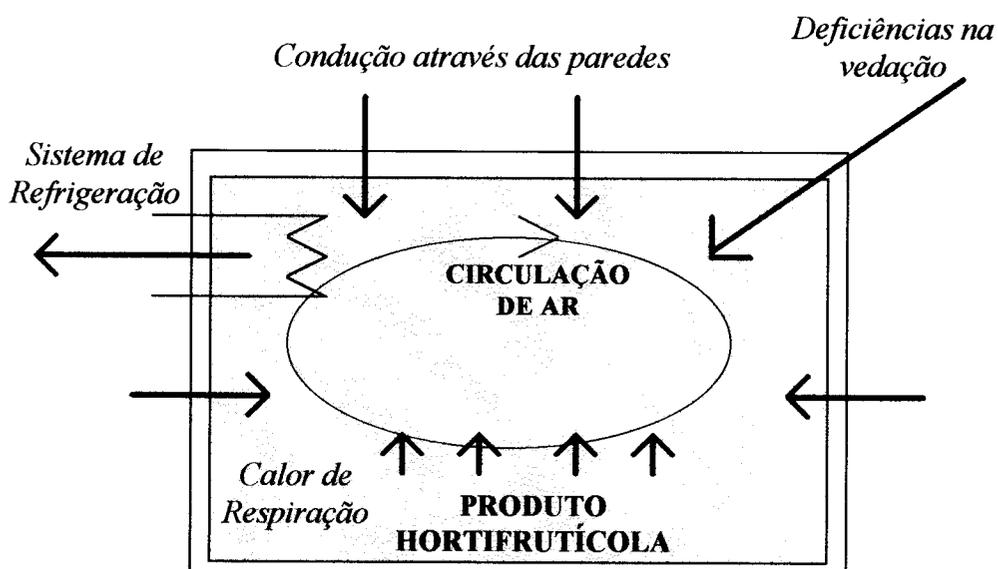


Figura 3.3 - Fluxos de calor em uma câmara frigorífica.

Segundo a **ASHRAE** (1990), para que a redução da carga térmica por condução através das paredes seja satisfatória, os materiais isolantes utilizados devem apresentar as seguintes características :

- ◆ Custos moderados;
- ◆ Baixa densidade;
- ◆ Baixa condutividade térmica;
- ◆ Facilidade de aplicação;
- ◆ Homogeneidade;
- ◆ Resistência à decomposição em condições de temperaturas extremas;
- ◆ Resistência ao fogo.

Ao se efetuar o projeto, a espessura do isolamento deve ser estabelecida de forma que se tenha um aproveitamento máximo do espaço e do desempenho do equipamento de refrigeração. Por exemplo, para uma câmara frigorífica com comprimento de 12,2 metros e largura fixa, um aumento na espessura da camada isolante de 75 mm para 100 mm levará a uma diminuição do espaço em cerca de 5%. Por outro lado, uma diminuição da espessura do isolante irá provocar um aumento na necessidade de capacidade frigorífica do sistema, aumentando os custos de projeto (**ASHRAE**, 1990).

Dentre os materiais utilizados como isolantes, o poliestireno e o poliuretano são os mais utilizados (**NEVES Fo.**, 1997). A maior utilização do poliuretano é motivada pelo fato que a condutividade térmica das camadas isolantes com esse material assumem valores menores que 0,026 W/m.K, o que permite camadas de isolante mais delgadas,

aumentando assim o espaço de câmara. Segundo a **ASHRAE** (1990), para temperaturas de conservação inferiores a -18 °C, as carrocerias usualmente possuem uma camada de poliuretano variando de 75 a 100 mm, enquanto que para temperaturas superiores a -18 °C, a espessura varia de 25 a 65 mm.

HEAP (1985) ressalta que, embora exista uma queda de desempenho do isolamento de poliuretano de 3 a 5 % após cada ano de uso, maiores quedas podem ocorrer, caso os equipamentos de transporte estejam danificados ou sofrendo manutenção inadequada, com o isolamento exposto à ação de umidade.

De acordo com **CHITARRA & CHITARRA** (1990), a taxa de respiração de um hortifrutícola é um excelente indicador do seu potencial de estocagem. De acordo com a atividade respiratória, as frutas e hortaliças podem ser classificadas como “climatéricas” e “não-climatéricas”, cujos modelos respiratórios possuem comportamento distintos. Os frutos climatéricos exibem rápido aumento da capacidade respiratória após a colheita até atingirem um máximo, denominado de pico climatérico, que para a maioria das frutas tropicais e sub-tropicais representa o estágio ideal de maturação (**ROCHA & SPAGNOL**, 1984). Após o pico climatérico é observado um sensível declínio da taxa respiratória. No caso dos frutos não-climatéricos, ocorre um declínio contínuo da atividade respiratória, e devido ao fato das frutas climatéricas apresentarem, em geral, taxas de respiração superiores em relação às não-climatéricas, as transformações bioquímicas e físicas pós-colheita são mais rápidas. A classificação de algumas frutas quanto à atividade respiratória está apresentada na Tabela 3.7, enquanto que os modelos respiratórios para frutas climatéricas e não-climatéricas e o comportamento da taxa de respiração, de algumas frutas, de acordo com a temperatura de estocagem são mostrados nas Figuras 3.4 e 3.5, respectivamente.

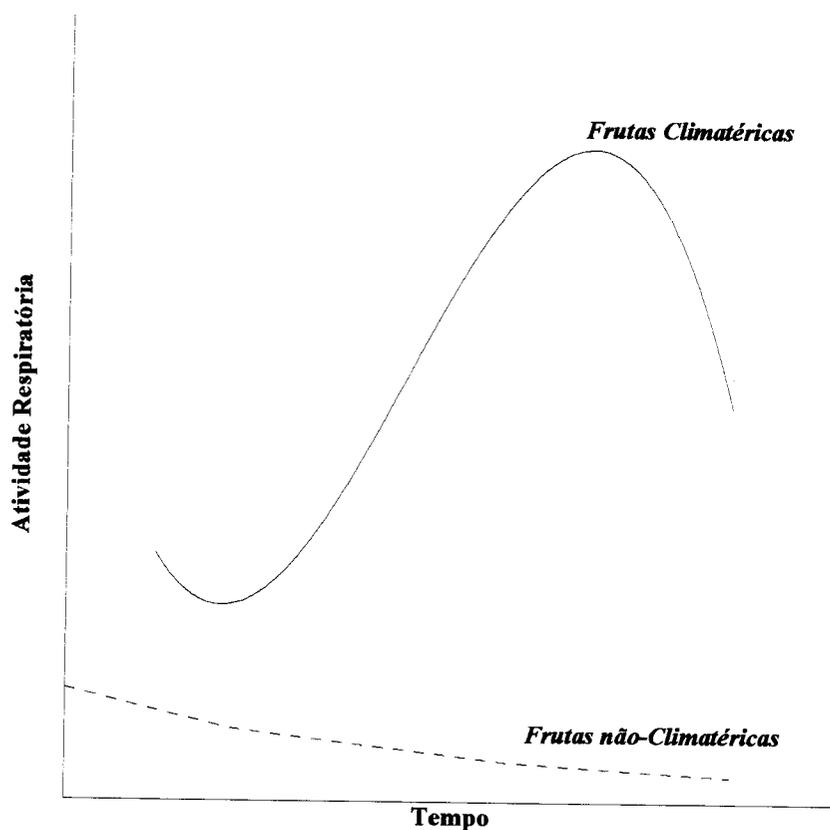


Figura 3.4 - Modelo do comportamento respiratório para frutas climatéricas e não-climatéricas (adaptado de **ROCHA & SPAGNOL**, 1984).

Tabela 3.7 - Classificação de algumas frutas pela taxa de respiração.

Frutas Climatéricas	Frutas Não-Climatéricas
Abacate	Abacaxi
Banana	Figo
Manga	Laranja
Mamão	Limão
Maracujá	Morango
Maçã	Uva
Pêra	Mexerica
Melão	

Fonte : **CHITARRA & CHITARRA** (1990).

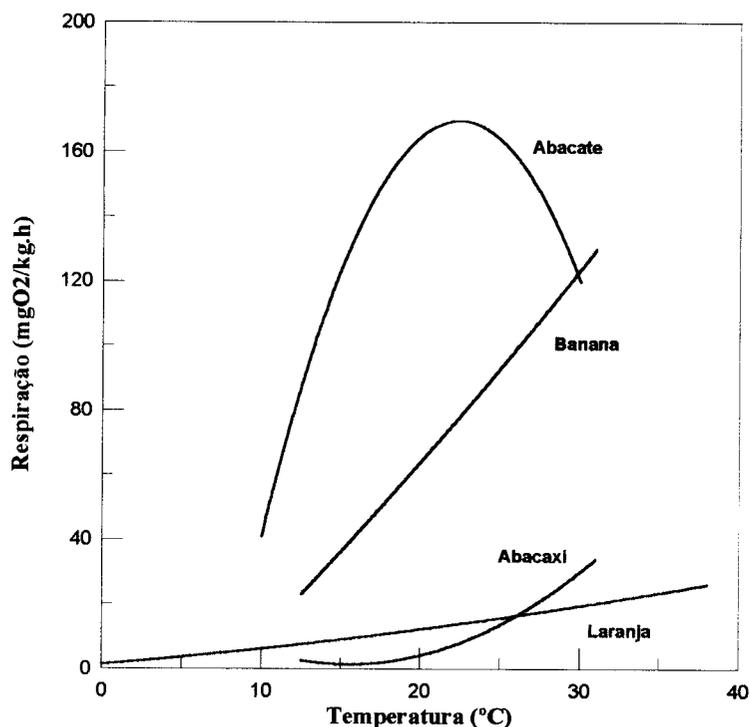


Figura 3.5 - Comportamento da taxa de respiração de algumas frutas de acordo com a temperatura (adaptado de CHITARRA & CHITARRA, 1990).

Segundo a ASHRAE (1990), a circulação de ar inadequada trata-se provavelmente da principal causa de má refrigeração durante o transporte frigorificado, já que a menos que se tenha uma circulação de ar, sob temperatura adequada, em torno da carga, a temperatura dos produtos não será mantida. Para os casos de produtos que devam ser resfriados durante o transporte e de produtos que produzam calor de respiração durante o transporte, a carga deve ser disposta de forma a permitir que o ar passe através da carga. Cargas que não produzam calor de respiração e que estão em temperatura adequada, o ar circulante só necessita atingir a carga em possíveis pontos de entrada de calor.

Para uma melhor circulação do ar, a maioria dos sistemas de transporte frigorificado, por compressão mecânica, fazem uso de ventiladores para facilitar a passagem do ar pela carga. Quando as cargas possuem altura próxima do teto, ou quando há um outro obstáculo para o percurso do ar no interior da câmara, a colocação de dutos, permanente ou temporariamente, melhora a distribuição do ar até o fundo da

carroceria. Outro ponto importante e necessário, relativo à circulação do ar sobre a carga, é a colocação de canaletas no piso da carroceria, para que haja uma circulação e o retorno completo do ar.

A circulação de ar no interior de câmaras frigoríficas, através do uso de ventiladores, além de propiciar uma maior homogeneidade na temperatura em todos os pontos da câmara, acelera o processo de resfriamento, devido ao aumento do coeficiente de transferência de calor de película, mas também aumenta a taxa de perda de peso pelo aumento, também verificado, no coeficiente de transferência de massa entre o produto e o ar, o que traz uma limitação quanto ao uso da circulação de ar em maiores velocidades, principalmente para produtos não embalados, como frutas e vegetais. A **ASHRAE** (1994) recomenda que para câmaras com canais de condução de ar, a velocidade do ar pode atingir até 0,5 m/s, enquanto que para câmaras sem canais de condução, a velocidade não deve exceder 0,2 m/s.

No caso do transporte frigorificado, há a necessidade de uma maior vedação para evitar a entrada de ar, o que se faz mais presente comparado a câmaras fixas, como verificado por **EBY & COLLISTER** (1955), citados pela **ASHRAE** (1990). Estes autores encontraram uma diferença de pressão de 300 Pa, para um veículo a 80 km/h, enquanto que **PHILLIPS et al** (1960), citados pela **ASHRAE** (1990), encontraram uma diferença de pressão de 7 Pa, para um veículo estacionado. Dentre os possíveis problemas decorrentes da entrada de ar externo através do isolamento, a **ASHRAE** (1990) destaca o aumento da carga térmica através do isolamento, a ocorrência de danos físicos à camada de isolante e a possível entrada de odores indesejáveis na câmara.

Durante as operações de carga e descarga de produtos, o ganho de calor, devido à abertura de portas de carrocerias frigorificadas, pela entrada de ar do ambiente externo, é bastante importante, para o controle da temperatura da carga. **PENNEY & PHILLIPS** (1990), citados pela **ASHRAE** (1990), em seu trabalho, mediram a carga térmica provocada pela abertura de portas em carrocerias frigorificadas. Para reduzir os efeitos da abertura de portas sobre a carga, alguns fabricantes de carrocerias têm feito o uso de portas internas móveis, para funcionarem como barreira à entrada de ar.

A seleção do equipamento de refrigeração deve ser feita levando em consideração as modificações aleatórias existentes nas condições externas durante o transporte dos produtos. Em seu trabalho, **KUEZNL**I (1962), citado por **NEVES Fo.** (1984), observou que variações na temperatura externa exerciam influência direta na temperatura interna para o equipamento estudado.

Para a medição da carga térmica por infiltração existente em um sistema de refrigeração, **MIDDLEHURST** (1969) apresenta três métodos :

- ◆ Uso de aquecedores elétricos fornecendo uma quantidade conhecida de calor por unidade de tempo;

- ◆ Colocação de gelo no interior da câmara e conseqüente avaliação da sua taxa de fusão em função do tempo;

- ◆ Nitrogênio líquido é aspergido na câmara e seu consumo é medido.

3.4 - INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAÇÃO DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

Durante a execução do projeto de construção de um sistema de refrigeração, se faz necessário estabelecer determinadas condições de operação definidas, tais como as faixa de temperatura, tanto de condensação como de evaporação, capacidade calorífica, a aplicação a que se destina o sistema, o fluido refrigerante utilizado, dentre outras (**DOSSAT**, 1980).

PEDERSEN (1991) destaca que o crescimento na utilização da automação dentro da indústria de alimentos possui forte relação com o desenvolvimento de sensores, apropriados e confiáveis, para a medição de variáveis de processo em tempo real, como temperatura, pressão, umidade e viscosidade, propiciando possibilidades de controle e redução nos custos de processo, através da redução dos níveis de perda de matérias-primas, de embalagens, utilidades, mão-de-obra e tempo.

PEDERSEN (1991) apresenta como características fundamentais para que se tenha um sensor adequado que este seja capaz de realizar medições em condições adversas ao homem, como por exemplo em altas temperaturas ou em locais de difícil acesso ou perigosos, que efetuem medições em níveis de precisão e acuracidade maiores que o homem; que mantenham o padrão de leitura ao longo do tempo de medição e que sejam de fácil higienização. Como limitações mais frequentes ao uso de sensores, o autor cita que os sensores, em geral, possuem uma faixa de utilização restrita a aplicações específicas, evitando o alto custo e a possibilidade de fornecerem leituras errôneas.

NEVES Fo. (1996) coloca que a utilização de registradores de temperatura ou indicadores convenientes deveria ser uma prática comum, já que permitiria a análise e correção de problemas. **LEWIS et al** (1985) em seu trabalho estudaram o comportamento da temperatura em 4 pontos dentro de uma carroceira frigorificada utilizando um equipamento de monitoração portátil, onde encontraram diferenças de até 2 °C entre os pontos de medição.

Para que determinadas condições sejam alcançadas, é necessário um conhecimento prévio do comportamento do sistema e possuir uma instrumentação que permita que dados sejam obtidos para que se possa avaliar a influência de variáveis existentes, inerentes ao sistema. Assim, haverá informações suficientes para a implementação do controle automático, de forma eficiente, garantindo maior qualidade aos processos e, conseqüentemente, aos produtos finais, visto que um sistema de refrigeração de alimentos que possua um controle adequado, garante que o produto foi submetido às condições que não irão influenciar negativamente na sua qualidade.

A utilização da automação no controle de equipamentos permite grandes avanços técnicos, provocando sensíveis benefícios nos aspectos de qualidade final dos produtos bem como econômicos, já que possibilita a fiscalização dos equipamentos, em tempo real, emitindo relatórios e gráficos, tornando possível ações de correção para melhorar o desempenho do processo (Anônimo, 1996).

NIEUWENHUIZEN & MEFERT (1990) estudaram o comportamento térmico de três equipamentos de transporte refrigerado rodoviário, com temperatura do ar de insuflamento ajustada para $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, carregados com uma carga de pescado, por meio da instalação de termopares em diversos pontos das carrocerias e da carga, comparando os comportamentos dos sistemas quando estacionados em um ambiente com temperatura fixada em $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ e em movimento, durante um transporte de 4 dias, da Holanda à Itália, e constataram que as temperaturas máximas atingidas foram maiores quando em movimento, considerando que durante a viagem a temperatura ambiente variou de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $29\text{ }^{\circ}\text{C}$, conforme mostra a Tabela 3.8. Outra observação importante pode ser feita a respeito dos valores para a variação de temperatura da carga que podem afetar diretamente a qualidade dos produtos, devido à oscilação ocorrida.

Tabela 3.8 - Condições de temperatura no transporte de uma carga de pescado dentro de três tipos de carroceria.

CONDIÇÃO DE ANÁLISE	VEÍCULO		
	A	B	D
<i>ESTACIONADO</i>	$T_{\text{EXT}} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{EXT}} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{EXT}} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$
	$T_{\text{carga,max}} = -18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{carga,max}} = -16,2\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{carga,max}} = -17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
	$T_{\text{carga,min}} = -24\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{carga,min}} = -23,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{carga,min}} = -27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
	$\Delta T_{\text{carga}} = 5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_{\text{carga}} = 7,3\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_{\text{carga}} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
<i>MOVIMENTO</i>	$T_{\text{EXT}} = 10/29\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{EXT}} = 10/29\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{EXT}} = 10/29\text{ }^{\circ}\text{C}$
	$T_{\text{parede,max}} = 43\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{parede,max}} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{parede,max}} = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$
	$T_{\text{carga,max}} = -18,2\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{carga,max}} = -14\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{carga,max}} = -15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
	$T_{\text{carga,min}} = -24,2\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{carga,min}} = -23,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{carga,min}} = -27\text{ }^{\circ}\text{C}$
	$\Delta T_{\text{carga}} = 6\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_{\text{carga}} = 9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_{\text{carga}} = 11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fonte : **NIEUWENHUIZEN & MEFERT (1990)**.

Em seu trabalho **MEDEROS** (1996) realizou a instrumentação de um *container* refrigerado para a avaliação técnica da possibilidade de utilização desse equipamento para o armazenamento de produtos agrícolas.

SALVATORI & MASCHERONI (1997) estudaram o comportamento térmico de uma câmara frigorífica com temperatura programável, fazendo a caracterização deste comportamento pelo uso de funções de transferência, nas quais relacionou-se a evolução da temperatura dos produtos armazenados na câmara, no caso sorvete, com indicadores de qualidade, permitindo assim a quantificação das perdas das características iniciais do produto, durante o armazenamento.

Com a monitoração de um sistema de armazenagem frigorificada com o auxílio de microcomputadores, **NICHOLSON & GRAHAM** (1985) observaram que o sistema adquiriu melhor eficiência operacional, menor ocorrência de falhas do processo, economia de energia elétrica, dentre outras mudanças significativas, já que o conhecimento do comportamento das variáveis do processo permitiu ações de controle e procedimentos que acarretaram os benefícios acima citados.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - CARROCERIA FRIGORIFICADA

A carroceria frigorificada utilizada no trabalho foi cedida à UNICAMP pela RECRUSUL S/A, com unidade de refrigeração por compressão mecânica simples estágio, modelo TD006, utilizando compressor da marca Bock, modelo FK3, tipo aberto, alternativo, com 2 cilindros, usando como líquido refrigerante o R-22, em uma quantidade aproximada de 7 kg, condensador refrigerado a ar, evaporador a ar e válvula de expansão Sporlan Calve Co.

O sistema de refrigeração possui acionamento por meio de motor elétrico ou pelo próprio motor do veículo, à combustão interna (óleo diesel ou gasolina).

A construção do monobloco da carroceria é feita com painéis estruturais tipo “sandwich”, de plástico reforçado com fibra de vidro e espuma rígida de poliuretano, configurando um sistema com boa resistência. Os revestimentos internos e externos da carroceria se constituem em painéis de plástico reforçado com fibra de vidro, na cor branca. O piso de plástico reforçado com fibra de vidro, além de possuir drenos na parte traseira da carroceria, dispõe de canaletas para permitir o retorno do ar proveniente do evaporador. As dimensões interna e externa da carroceria são mostradas na Tabela 4.1.

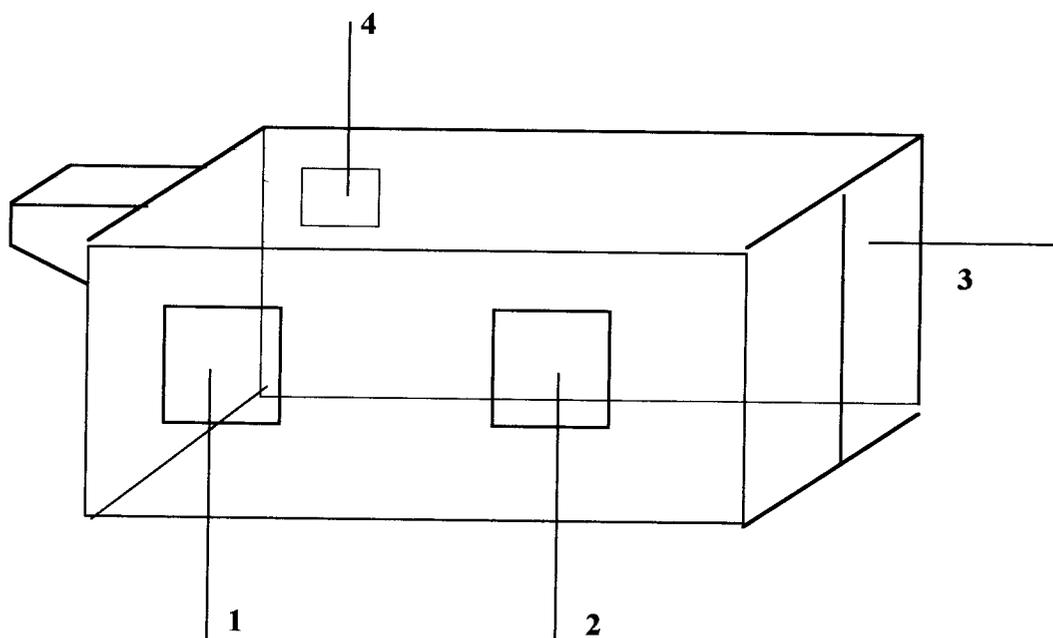
Tabela 4.1 - Dimensões externas da carroceria frigorificada RECRUSUL S/A.

Dimensão	Externa	Interna
Comprimento (m)	4,40	4,15
Largura (m)	2,70	2,45
Altura (m)	2,32	2,10

A carroceira dispõe de 5 portas, sendo duas delas traseira e as outras três laterais, de menor dimensão, conforme indicado na Figura 4.1. As portas são feitas do conjunto monobloco de plástico reforçado com fibra de vidro, e isolamento de espuma rígida de poliuretano. As dimensões das portas da carroceria estão apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Dimensões das portas da carroceria frigorificada RECRUSUL S/A.

Dimensão	Porta Traseira (cada)	Porta Lateral (4)	Portas Laterais (1 e 2)
Comprimento (m)	1,10	0,45	0,80
Largura (m)	0,10	0,10	0,10
Altura (m)	1,90	0,50	1,10
Vão Livre (m ²)	0,19	0,05	0,11



3 - Portas Traseiras.

1, 2 e 4 - Portas Laterais

Figura 4.1 - Disposição das portas da carroceria frigorificada.

4.2 - SISTEMA FRIGORÍFICO

A unidade de refrigeração está montada em uma estrutura de aço acoplada à parede dianteira da carroceira. Para facilitar o acesso à unidade de refrigeração, a estrutura que a sustenta possui duas escadas auxiliares. Os componentes do sistema de refrigeração da carroceira estão apresentados na Figura 4.2 e as capacidades frigoríficas do sistema, conforme as condições de operação, estão indicadas na Tabela 4.3 conforme dados do fabricante (RECRUSUL S/A, 1996), quando em operação pelo motor elétrico.

Tabela 4.3 - Capacidade frigorífica da unidade de refrigeração, quando em operação pelo motor elétrico 60 cv, considerando $T_{EXT} = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$.

T_{CAR} ($^{\circ}\text{C}$)	Q_{frig} (W)
0	5100
-18	2700

Fonte : RECRUSUL S/A (1996).

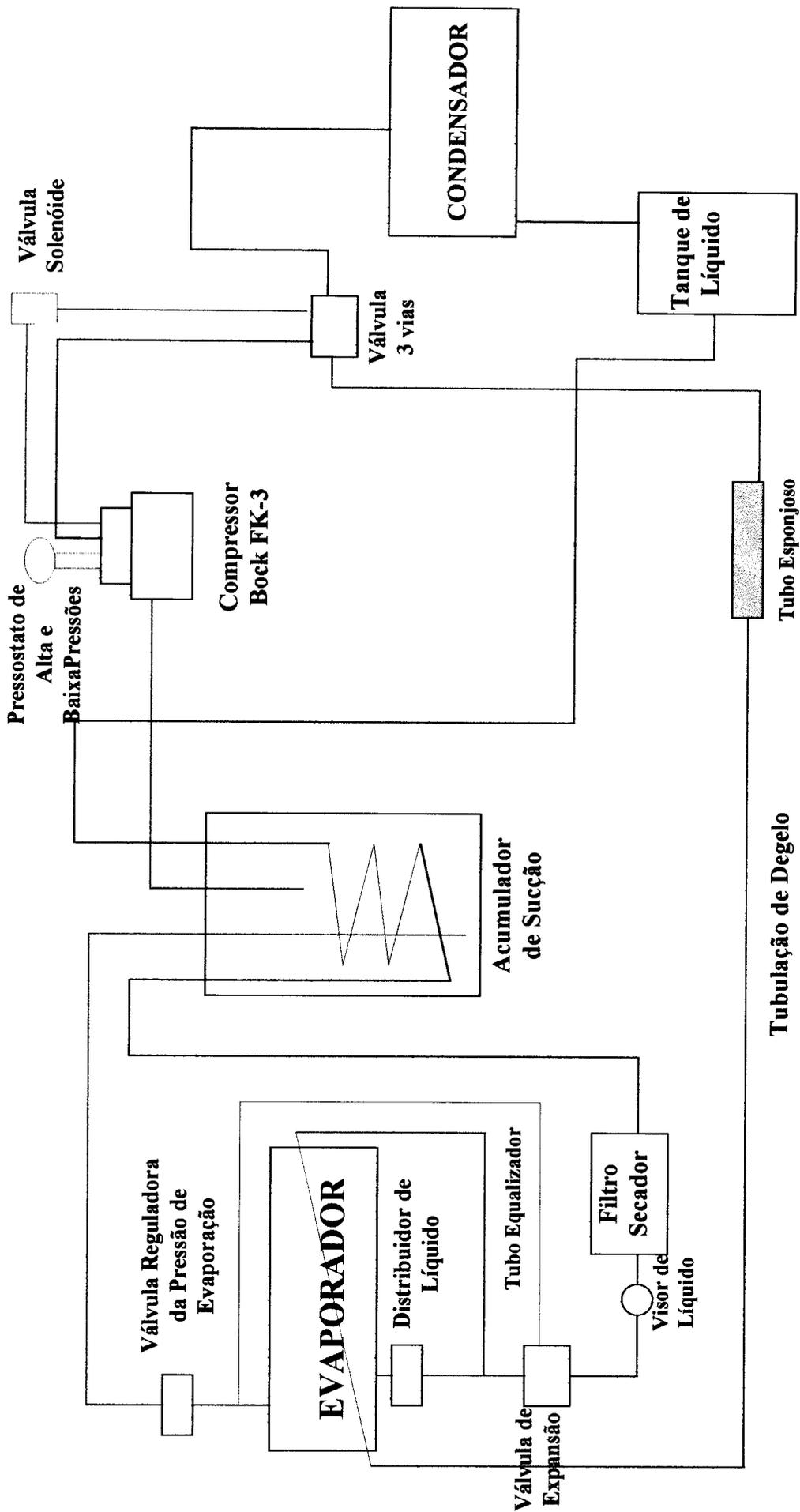


Figura 4.2 - Circuito Frigorífico da Carroceira Recrusul S/A

4.2.1 - Compressor

O Compressor utilizado é da marca Bock, modelo FK3, com construção de ferro fundido, do tipo aberto, alternativo, 2 cilindros, peso aproximado de 29 kg, carga de óleo lubrificante de 1,5 litros, utilizando como fluido refrigerante R-22, numa quantidade aproximada de 7,0 kg, capacidade volumétrica de 233 cm³, rotação de 1450 rpm, e volume deslocado teórico deslocado nesta rotação de 19,84 m³/h. O compressor e as hélices de ventilação utilizadas no evaporador e no condensador são movidos por um único motor elétrico, da marca Wag, trifásico 220/380 V, de 6 cv, 4 pólos, por meio de um sistema de polias e correias.

O funcionamento do motor elétrico fica condicionado aos controles existentes do pressostato diferencial de alta e baixa pressões e do termostato. O termostato, possui o bulbo de temperatura instalado na região do ar de retorno, controlando as condições da câmara, desligando o sistema quando a temperatura atinge o valor fixado pelo usuário, religando-o quando a temperatura aumenta.

4.2.2 - Condensador

O condensador, assim como o evaporador, possui construção em tubos de cobre, com aletas, que aumentam a superfície de troca de calor, e estrutura em alumínio. O condensador, refrigerado a ar, está localizado na parte anterior da carroceira, o que possibilita que receba o ar que vem de encontro ao veículo em movimento, intensificando a troca de calor do refrigerante, fazendo com que este se condense. A ventilação do condensador é feita por meio de duas hélices axiais de alumínio, com seus eixos acoplados às correias ligadas ao eixo do motor elétrico. Como o equipamento, para esse caso, está projetado para condições extremas de temperatura de condensação, em situações mais favoráveis, ou seja, com a temperatura ambiente mais baixa, haverá a condensação a menores temperaturas.

4.2.3 - Tanque de Líquido, Filtro Secador e Visor de Líquido

O sistema dispõe de tanque de líquido, localizado após a saída do condensador, para evitar que a carga de refrigerante não seja máxima, ou seja, adequando o sistema para receber a vazão de refrigerante necessária para o seu funcionamento, além de manter o condensador livre de líquido, aumentando a sua eficiência e servindo como reservatório de refrigerante em caso de serviços de reparo na instalação.

O filtro de líquido, tem como finalidade a eliminação de umidade presente no interior do circuito, evitando assim a decomposição química do refrigerante e o conseqüente ataque dos compostos formados com o cobre, presente na instalação. Além disso, o filtro secador serve para reter possíveis impurezas que podem afetar o funcionamento da válvula de expansão. Já o visor de líquido tem como finalidade a observação do líquido que sai do condensador, permitindo que se verifique a presença de borbulhamento, que caracteriza uma condensação incompleta do gás no condensador, perda de pressão na linha de líquido ou falta de gás no sistema, sendo que na operação correta, o visor deve estar cheio de líquido. O visor de líquido também possui um indicador de umidade que no caso dos refrigerantes halogenados, como o R-22, deve se apresentar esverdeado na ausência de umidade no sistema.

4.2.4 - Válvula de Expansão

O sistema frigorífico possui válvula de expansão termostática, da marca Sporlan Valve Co., com tubo equalizador externo. Para se evitar uma excessiva perda de carga através do evaporador, o sistema possui um distribuidor de líquidos acoplado à saída da válvula de expansão, antes da entrada do evaporador.

4.2.5 - Evaporador e sistema de degelo à gás quente

Possui construção em tubos de cobre de diâmetro externo de 25,4 mm e espessura de 1,5 mm, com aletas e estrutura em alumínio, possuindo bandeja para captação da água durante o degelo.

Para melhor circulação do ar no interior da carroceira existe uma hélice para ventilação disposta no insuflamento de ar do evaporador, que impulsiona o ar pelo teto até a parte posterior da carroceira, retornando através das canaletas do piso. Esta hélice de ventilação está acoplada a um eixo, acionado por meio de correias movidas pelo eixo do motor elétrico.

A fim de se evitar a formação de gelo na superfície do evaporador, o sistema frigorífico possui um sistema de degelo, que se dá através da passagem de gás quente pelo evaporador. Durante o degelo, a hélice de ventilação interrompe o seu funcionamento para que não ocorra aquecimento do interior da carroceira. A operação do degelo pode ser feita manualmente ou de forma automática.

Na operação automática, um temporizador conta um tempo que pode ser de 2, 4 ou 6 horas a partir do momento que a carroceira atingir 0 °C, para enviar um sinal elétrico à solenóide da válvula de 3 vias e iniciar o degelo. Na operação manual, o sinal elétrico para a solenóide é feito pressionando-se o botão de degelo existente no painel de controle da carroceira frigorificada.

A válvula de 3 vias possibilita o degelo do evaporador e de sua bandeja. Possui uma via de entrada, proveniente da descarga do compressor e duas vias de saída, uma conectada a entrada do condensador, fazendo parte do circuito normal de refrigeração e a outra conectada à entrada da serpentina de aquecimento da bandeja de evaporador que por sua vez tem a sua saída ligada ao circuito normal de refrigeração entre a válvula de expansão e o distribuidor de líquido, na entrada do evaporador.

Quando o degelo é solicitado a válvula solenóide, normalmente fechada, recebe um sinal elétrico, ficando aberta e permitindo que a pressão da descarga do compressor atue sobre a válvula de 3 vias, alterando o curso do gás quente para a tubulação de degelo, deixando o condensador fora do circuito.

4.2.6 - Válvula Reguladora de Pressão de Evaporação

O sistema possui uma válvula reguladora de pressão, marca Crankcase, a fim de evitar que o compressor trabalhe tanto com pressões de sucção muito baixas, após a saída do evaporador, quanto com pressões muito altas, permitindo que o compressor parta aliviado, normal para situações em que o sistema tenha ficado desligado muito tempo, com o refrigerante presente na linha de baixa, o que acarreta um aumento da sua temperatura pela estabilização com a temperatura ambiente, provocando um aumento da pressão na linha de baixa pressão.

4.2.7 - Acumulador de líquido na linha de sucção

O acumulador de líquido na linha de sucção é uma garantia contra a entrada de líquido no compressor, além de promover um sub-resfriamento do líquido proveniente do condensador, visto que há troca de calor do refrigerante proveniente do condensador e do evaporador, provocando um aumento na eficiência do sistema.

4.3 - INSTRUMENTAÇÃO DA CARROCERIA FRIGORIFICADA

Para a execução do trabalho, a carroceira frigorificada foi instrumentada, com a instalação de sensores de temperatura, velocidade do ar e radiação solar, de modo a permitir que os dados obtidos possam refletir o comportamento do sistema de acordo com as perturbações existentes.

4.3.1 - Temperatura

No caso dos sensores de temperatura, foram utilizados termopares tipo T (Cobre-Constantan), que têm como principais características a resistência à corrosão e o fornecimento de leituras com boa precisão na faixa de temperaturas abaixo de 0°C, além de ser dentre os diversos tipos de termopares o mais utilizado na indústria de alimentos (RODRIGO et al., 1983). A disposição dos termopares foi realizada, tomando por base o posicionamento utilizado por MEDEROS (1996), e também de acordo com a norma ISO 1496/II, que trata da especificação e testes de desempenho de carrocerias e *containers* isolados. Neste trabalho, foram utilizados 40 pontos de medição de temperatura, dispostos em locais específicos, possibilitando que fosse obtido o comportamento da temperatura em diversos pontos da carroceira. A instalação e localização dos termopares possibilitou a obtenção do comportamento da temperatura em diversos pontos internos e externos da carroceira ao longo dos experimentos. Para facilitar a identificação da localização dos termopares, as paredes laterais, frontal, traseira, o teto e o piso da carroceira foram identificadas, segundo a Tabela 4.4. Na Tabela 4.5 está apresentada a localização dos termopares utilizados.

Tabela 4.4 - Convenção adotada para a identificação das paredes da carroceira

Parede	Identificação
<i>Frontal</i>	A
<i>Lateral I (Lado das duas portas laterais)</i>	B
<i>Lateral II (Lado da porta lateral única)</i>	C
<i>Traseira</i>	D
<i>Teto</i>	E
<i>Piso</i>	F

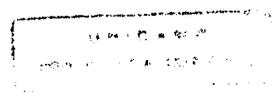


Tabela 4.5 - Localização dos termopares.

Termopar	Localização
1	Temperatura ambiente externa
2	Superfície externa da parede A
3	Superfície externa do piso (parede F)
4	Superfície externa da parede D
5	Superfície externa do teto (parede E)
6	Superfície externa da parede C
7	Superfície interna da parede A
8	Superfície interna da parede B
9	Superfície interna do teto (parede E)
10	Superfície interna da parede D
11	Superfície interna do piso (parede F)
12	Superfície interna da parede C
13	Superfície da linha de saída do evaporador
14	Superfície do evaporador
15	Ar de retorno (associação em paralelo)
16	Insuflamento de Ar (associação em paralelo)
17	Superfície do condensador
18	Saída de Ar do Condensador
19	Entrada de Ar do Condensador
20	Próximo à porta 1 (associação em paralelo)
21	Próximo à porta 2 (associação em paralelo)
22	Próximo à porta 4 (associação em paralelo)
23	Próximo à porta 3 (associação em paralelo)
24	SEÇÃO I, próxima ao evaporador (associação em paralelo)
25	SEÇÃO II, segunda a partir do evaporador (associação em paralelo)
26	LINHA SUPERIOR, lado da parede B
27	LINHA SUPERIOR, centro da carroceira

Tabela 4.5 - Localização dos termopares (continuação).

Termopar	Localização
28	LINHA SUPERIOR, lado da parede C
29	LINHA MÉDIA, lado da parede B
30	LINHA MÉDIA, centro da carroceira
31	LINHA MÉDIA, lado da parede C
32	LINHA INFERIOR, lado da parede B
33	LINHA INFERIOR, centro da carroceira
34	LINHA INFERIOR, lado da parede C
35	SEÇÃO III, terceira a partir do evaporador (associação em paralelo)
36	Tubulação de descarga, antes da entrada do condensador
37	Superfície externa da parede B
38	Superfície da tubulação de saída do condensador
39	Superfície da tubulação de entrada do evaporador
40	Superfície da tubulação de sucção do compressor

Para permitir uma avaliação do perfil de temperatura ao longo da carroceria, foram instalados 3 termopares em paralelo, com associação de 9 pontos de medida, em 3 seções determinadas de forma a dividir, longitudinalmente, a carroceria.

Para uma avaliação pontual das temperaturas nas seções, foram utilizados 9 termopares para avaliar o comportamento de cada um dos pontos de tomada dos termopares em paralelo instalados nas seções definidas.

A utilização de termopares com associação em paralelo permite uma avaliação da temperatura de um determinado volume, com o uso da malha de sensores construída, fornecendo, em determinados casos, medidas mais representativas do que medidas pontuais, o que permitiu a utilização da associação em paralelo para a medição das temperaturas médias das regiões próximas às portas da carroceria, do ar de retorno ao evaporador, do ar de insuflamento ao evaporador, da entrada de ar através do condensador e do insuflamento de ar do condensador.

4.3.1.1 - Construção e Calibração dos Termopares

Os termopares do tipo T foram construídos , segundo as normas da ASTM (1974), utilizando a técnica da união por torção, com posterior soldagem das extremidades de cabos de extensão AWG 24, flexíveis, com revestimento de PVC. Tal técnica fornece uma maior resistência mecânica em comprometimento a uma perda, ainda que pequena, do tempo de resposta.

Para a obtenção de uma curva de resposta que reproduza com maior fidelidade o comportamento dos termopares, na faixa de trabalho, cada termopar foi calibrado em 5 pontos de temperatura fixa (-25 °C, -15 °C, 0 °C, 50 °C e 98 °C). Segundo a ASTM (1974), sob condições de temperatura inferiores a 620 °C, a utilização de banhos líquidos com agitação proporciona uma forma eficiente para manter termopar e termômetro padrão na mesma temperatura, sem que seja necessário nenhuma preparação especial. Para a calibração dos termopares foram utilizados termômetros-padrão de Mercúrio, com precisão de 0,1 °C.

Para a calibração na temperatura de 0 °C, foi utilizado um banho de gelo fundente, enquanto que para a temperatura de ebulição da água, foi utilizado um banho com água em ebulição. Para as outras temperaturas, foi utilizado um Ultra-Criostato, da marca Optherm, no qual é possível o controle da temperatura do banho de solução álcool-água na proporção 1:1, adequando assim a tomada de dados para a calibração dos termopares.

Para a obtenção dos modelos para ajuste da temperatura medida pelos termopares, foram feitas aquisições de 1 em 1 segundo, durante um tempo total de aquisição de 300 segundos, quando o banho tinha a temperatura estabilizada no valor desejado para a calibração. Os ajustes foram feitos através de regressão linear e os modelos obtidos, com os seus respectivos coeficientes de correlação, para cada um dos termopares são apresentados na Tabela presente no Apêndice 1.

4.3.2 - Radiação Solar

Para a obtenção dos valores de radiação solar foi utilizado o Solarímetro da marca Eppley, modelo PSP, que mede a radiação solar global (direta e difusa) enviando um sinal em Volts, para o sistema de aquisição de dados. Este equipamento, previamente calibrado pelo fabricante com padrões de referência de radiação, não sofre a influência da temperatura ambiente já que possui compensação de leitura de acordo com a temperatura ambiente, na faixa de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para a conversão do sinal fornecido em Volts para W/m^2 , o equipamento fornece um fator de conversão que $9,13 \times 10^{-6}\text{ V}$ corresponde a 1 W/m^2 .

4.3.3 - Velocidade do Ar

Um anemômetro digital da marca Lutron, de ventoinha, modelo AM-4201, que possibilita medições entre 0 e 40 m/s, com uma precisão de 0,1 m/s, foi utilizado para a medição da velocidade do ar no interior da carroceria. Para que o perfil de variação da velocidade obtido no interior da carroceria possa refletir com fidelidade o comportamento deste parâmetro operacional, as medidas foram feitas em 4 seções distintas, conforme mostram as Figuras 4.3 e 4.4, sendo feitas medidas em 9 pontos de cada seção, perfazendo um total de 36 pontos de medição da velocidade. Como o equipamento não possui sistema para a transmissão das leituras feitas para aquisição de dados, a medição das velocidades do ar teve que ser feita com observação visual do *display* do anemômetro, representando uma interferência ao sistema, pela presença de uma pessoa no interior da carroceria.

O sistema frigorífico da carroceria possui a ventilação constante, não havendo variações da velocidade da hélice de ventilação durante o seu funcionamento, com isso as leituras feitas para o sistema são representativas para qualquer momento de funcionamento do sistema, visto que os ventiladores, tanto do evaporador como do condensador, funcionam somente quando o compressor está em funcionamento.

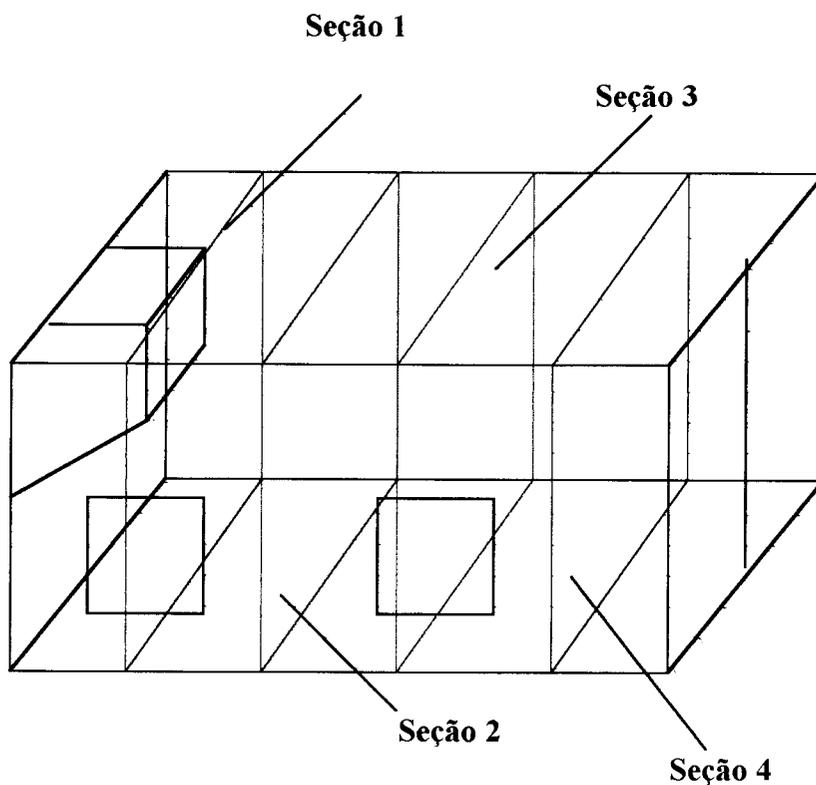


Figura 4.3 - Localização das seções de medição de velocidade do ar no interior da carroceria RECRUSUL S/A.

Na Figura 4.4 estão apresentadas a localização de cada um dos pontos de medida da velocidade do ar no interior da carroceria, respectivamente as seções :

1	2	3	10	11	12	19	20	21	28	29	30
4	5	6	13	14	15	22	23	24	31	32	33
7	8	9	16	17	18	25	26	27	34	35	36
<i>SEÇÃO 1</i>			<i>SEÇÃO 2</i>			<i>SEÇÃO 3</i>			<i>SEÇÃO 4</i>		

Figura 4.4 - Localização dos pontos de medida de velocidade do ar no interior da carroceria RECRUSUL S/A.

A Seção 1 está localizada no plano referente ao ponto de insuflamento de ar do evaporador, sendo que os três pontos de medida encontradas na parte superior nesta seção correspondem à velocidade de insuflamento do ar. As Seções 2, 3 e 4 foram determinadas, dividindo-se o comprimento da carroceira, a partir da Seção 1, em 3 partes iguais, como está apresentado na Figura 4.3.

4.3.4 - Pressão

Para a medição das pressões de sucção e de descarga da compressão foram instalados 2 manômetros para R-22, analógicos, da marca IMPERIAL, um para a linha de baixa pressão e outro para a linha de alta pressão, visto que o sistema, originalmente, não possui nenhum equipamento para medição das pressões do sistema.

4.4- SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Para a monitoração das variáveis foi utilizado o sistema de aquisição de dados Hewlett - Packard , modelo 3852A, ligado a um microcomputador AT386, com a utilização do protocolo de comunicação IEEE-488 GPIB. Este sistema de aquisição de dados possui 7 *slots*, nos quais é possível a instalação das placas específicas para cada tipo de leitura. Para este trabalho foram utilizadas 2 placas, com 20 canais cada uma, específicas para recebimento de sinais, provenientes da medida de temperatura dos termopares, já que possuem compensação da junta fria já incluída, fornecendo automaticamente a temperatura referente à leitura e 1 placa, também com 20 canais de comunicação, para entrada de sinais em Volts para recebimento dos sinais provenientes da leitura de radiação solar do solarímetro.

Os programas computacionais para a aquisição de dados foram escritos em linguagem específica para a aquisição, denominada HP BASIC, nos quais já estavam inseridos a conversão do sinal em Volts fornecido pelo solarímetro para W/m^2 e as curvas de calibração dos termopares.

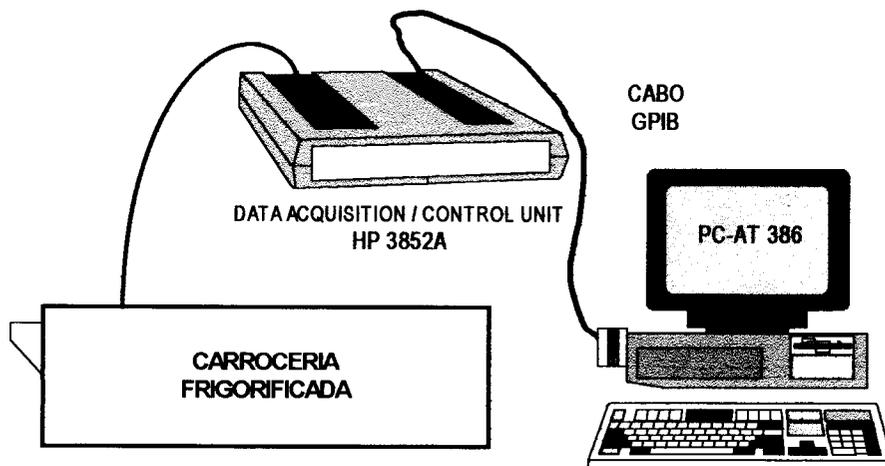


Figura 4.5 - Esquema do *hardware* de aquisição de dados.

4.5 - CARGA TÉRMICA ARTIFICIAL

Para a realização dos ensaios, foram utilizadas como fonte de carga térmica artificial 6 resistências elétricas de ferro galvanizado, aletadas, quatro resistências com potência nominal unitária de 1000 W e as duas demais com potência nominal unitária de 500 W, com alimentação em corrente elétrica de 110 Volts. As resistências foram divididas em dois blocos : o primeiro bloco (bloco A) com as quatro de resistências de 1000 W e o outro bloco (bloco B) com as duas resistências de 500 W.

Na Tabela 4.6 são apresentadas as especificações dos blocos de resistências elétricas utilizados no trabalho :

Tabela 4.6 - Especificações dos bancos de resistências elétricas utilizados.

Bloco	Potência Nominal (W) em 110 Volts	Resistência (Ω)
A	4000	2,9
B	1000	12,0

A Potência dissipada pelos bancos de resistência (Pot_{RES}) foi calculada segundo a equação abaixo :

$$Pot_{RES} = \frac{V_{BANCOA}}{R_{BANCOA}} + \frac{V_{BANCOB}}{R_{BANCOB}}$$

Onde :

- V_{BANCOA} é a diferença de potencial relativa ao banco de resistências A.
- V_{BANCOB} é a diferença de potencial relativa ao banco de resistências B.
- R_{BANCOA} é valor da resistência do banco A.
- R_{BANCOB} é valor da resistência do banco B.

Neste trabalho foram utilizadas durante os ensaios, cargas de 5000 kJ e 10000 kJ. Para o cálculo do tempo (t_{RES}) necessário que as resistências deveriam ficar ligadas para fornecer a quantidade de calor desejada (Q_{RES}), foi utilizada a seguinte equação :

$$t_{RES} = Q_{RES} / Pot_{RES}$$

4.6 - ENSAIOS DE MONITORAÇÃO

Os ensaios de monitoração das variáveis (temperatura e radiação solar) tiveram como objetivo avaliar o comportamento da temperatura interna de acordo com as perturbações existentes. O ajuste feito no termostato do sistema frigorífico da carroceira para a temperatura do ar de retorno ao evaporador foi de $-18^{\circ}C$, que é um dos valores de temperatura mais utilizados no transporte de produtos congelados, e recomendada pela maior parte das normas existentes.

Os ensaios de monitoração se constituíram em 5 etapas:

- ◆ Ensaios de monitoração preliminares, para aprendizado e teste da instrumentação e do sistema de aquisição de dados.
- ◆ Ensaios de monitoração da carroceria vazia, sem a abertura de portas ou introdução de cargas térmicas artificiais, para observação da influência das condições ambientais sobre a temperatura interna da câmara.
- ◆ Ensaios com abertura de portas tanto as laterais como a traseira.
- ◆ Ensaios com a introdução de carga térmica artificial variável, através do uso de resistências elétricas, para refletir situações de carga durante o transporte
- ◆ Ensaios com a introdução de carga térmica artificial variável e abertura de portas.

Os valores escolhidos para a carga térmica, 5000 kJ e 10000 kJ correspondem, respectivamente, a quantidade de calor a ser retirada para remover 1°C e 2°C de cerca de 4 toneladas de carne bovina congelada. Para o estudo da influência do tempo de abertura das portas, ensaios foram feitos com aberturas de 5, 10 e 15 minutos, para todas as portas que a carroceira possui, sendo que no caso das portas traseiras somente uma das faces foi aberta. Para a eliminação da influência da radiação solar sobre o sistema quantidade igual de ensaios foi realizada à noite. As condições operacionais de cada ensaios realizado estão apresentadas na Tabela 4.7.

Apesar de repetições de ensaios tornarem-se difíceis, devido às peculiaridades do sistema, visto que não há controle sobre algumas variáveis estudadas durante o processo, para cada tipo de ensaio foram feitos dois experimentos, introduzidos na etapa de análise dos resultados separadamente, pois não seria adequado a obtenção de valores médios entre experimentos realizados sob condições distintas.

De acordo com o programa da aquisição de dados, as leituras de temperatura foram feitas de 10 em 10 segundos e as de radiação solar de 5 em 5 segundos. Os arquivos de dados obtidos na aquisição, em formato binário, eram então convertidos para arquivos em ASCII para tornar possível a utilização de planilhas eletrônicas e de cálculo para a análise dos dados.

Uma das características desejáveis para que o sistema tenha um controle eficiente é a de que o sistema possua uma resposta rápida frente às perturbações ocorridas. Para avaliar essa capacidade de resposta do sistema, para cada ensaio, foi medido o tempo decorrido entre o início da perturbação e o momento em que o sistema entrou em operação novamente ($t_{REL\ SIST}$).

Tabela 4.7 - Condições operacionais dos ensaios.

Ensaio	Porta	Tempo de abertura (s)	Q _{RES} (kJ)	Período do dia	Ensaio	Porta	Tempo de abertura (s)	Q _{RES} (kJ)	Período do dia	Ensaio	Porta	Tempo de abertura (s)	Q _{RES} (kJ)	Período do dia
001	---	---	0	DIA	027	2	300	5000	DIA	053	3	600	10000	DIA
002	---	---	0	NOITE	028	2	300	5000	NOITE	054	3	600	10000	NOITE
003	---	---	5000	DIA	029	2	300	10000	DIA	055	3	900	0	DIA
004	---	---	5000	NOITE	030	2	300	10000	NOITE	056	3	900	0	NOITE
005	---	---	10000	DIA	031	2	600	0	DIA	057	3	900	5000	DIA
006	---	---	10000	NOITE	032	2	600	0	NOITE	058	3	900	5000	NOITE
007	1	300	0	DIA	033	2	600	5000	DIA	059	3	900	10000	DIA
008	1	300	0	NOITE	034	2	600	5000	NOITE	060	3	900	10000	NOITE
009	1	300	5000	DIA	035	2	600	10000	DIA	061	4	300	0	DIA
010	1	300	5000	NOITE	036	2	600	10000	NOITE	062	4	300	0	NOITE
011	1	300	10000	DIA	037	2	900	0	DIA	063	4	300	5000	DIA
012	1	300	10000	NOITE	038	2	900	0	NOITE	064	4	300	5000	NOITE
013	1	600	0	DIA	039	2	900	5000	DIA	065	4	300	10000	DIA
014	1	600	0	NOITE	040	2	900	5000	NOITE	066	4	300	10000	NOITE
015	1	600	5000	DIA	041	2	900	10000	DIA	067	4	600	0	DIA
016	1	600	5000	NOITE	042	2	900	10000	NOITE	068	4	600	0	NOITE
017	1	600	10000	DIA	043	3	300	0	DIA	069	4	600	5000	DIA
018	1	600	10000	NOITE	044	3	300	0	NOITE	070	4	600	5000	NOITE
019	1	900	0	DIA	045	3	300	5000	DIA	071	4	600	10000	DIA
020	1	900	0	NOITE	046	3	300	5000	NOITE	072	4	600	10000	NOITE
021	1	900	5000	DIA	047	3	300	10000	DIA	073	4	900	0	DIA
022	1	900	5000	NOITE	048	3	300	10000	NOITE	074	4	900	0	NOITE
023	1	900	10000	DIA	049	3	600	0	DIA	075	4	900	5000	DIA
024	1	900	10000	NOITE	050	3	600	0	NOITE	076	4	900	5000	NOITE
025	2	300	0	DIA	051	3	600	5000	DIA	077	4	900	10000	DIA
026	2	300	0	NOITE	052	3	600	5000	NOITE	078	4	900	10000	NOITE

4.7 - TRATAMENTO DOS RESULTADOS

4.7.1 - Construção dos modelos empíricos

A partir dos resultados obtidos ao longo dos experimentos, foram construídos, com o auxílio do programa computacional Statistica 5.0, modelos capazes de prever o tempo de retorno à condição de temperatura desejada, fixada no trabalho em -18 °C para a temperatura do ar de retorno do evaporador, quando sofre alguma perturbação, tempo esse denominado daqui por diante de t_{SET} . Com os resultados foi possível verificar a significância de cada uma das variáveis no que concerne ao comportamento do sistema. Pelo fato dos modelos desenvolvidos terem natureza empírica e que as variáveis apresentam valores absolutos com ordem de grandeza diferentes, tornou-se conveniente a adoção de uma codificação para os valores obtidos para cada uma das variáveis, na qual tais valores passaram a variar entre “-1”, que representa o menor valor observado para a variável em todos os experimentos, e “+1”, que representa o maior valor observado para a variável em todos os experimentos, sendo que o nível “0” representa a média entre o maior valor e o menor valor observado. Tal procedimento tem como objetivo permitir que se avalie melhor a significância de cada uma das variáveis estudadas neste trabalho.

$$t_{\text{SET}} = f(T_{\text{EXT}}, t_{\text{AB}}, Q_{\text{RES}}, \text{Rad}, T_{\text{RET}})$$

Para a construção dos modelos, algumas considerações foram feitas :

- Para os valores de temperatura ambiente externa e da radiação solar foi tirada uma média dos valores obtidos pela aquisição de dados entre o início da perturbação até o momento em que o sistema voltava à condição inicial, visto que tais variáveis não ficavam estáveis durante os ensaios.

- Valores inferiores a 10 W/m^2 para a radiação solar foram considerados desprezíveis, e arbitrados como zero, para o caso dos ensaios à noite, visto que podem representar ruídos ou valores de radiação proveniente de iluminação artificial.

- O valor considerado para a temperatura do ar de retorno ao evaporador em cada ensaio foi o valor fornecido pela aquisição no início da perturbação.

4.7.2 - Método de Análise de Sensibilidade dos Parâmetros

A utilização do fator de sensibilidade (FS) permite que se quantifique a influência de uma determinada variável independente (parâmetro) sobre a variável-resposta. **SILVEIRA JR.** (1995) utilizou a definição do fator de sensibilidade como a razão entre a variação percentual da variável-resposta e a variação percentual da variável independente manipulada, mantendo as outras variáveis independentes em um valor de referência :

$$FS = \frac{\Delta C_1}{\Delta C_2}$$

Onde :

- ΔC_1 é a razão percentual entre a diferença do valor da variável-resposta obtida com a variação feita sobre a variável independente manipulada (C_1) , e o seu valor nas condições de referência (C_1^*) :

$$\Delta C_1 = \frac{(C_1 - C_1^*)}{C_1^*} * 100$$

- ΔC_2 é a razão percentual entre a diferença do valor da variável independente manipulada (C_2) e o seu valor nas condições de referência (C_2^*) :

$$\Delta C_2 = \frac{(C_2 - C_2^*)}{C_2^*} * 100$$

Os modelos obtidos a partir dos resultados experimentais foram utilizados para o cálculo dos fatores de sensibilidade da variável - resposta, no caso o tempo para que o ar de retorno ao evaporador atinja às condições desejadas.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO SISTEMA FRIGORÍFICO

5.1.1 - Pressões e temperaturas do sistema frigorífico

Para a observação das condições de operação do sistema utilizadas neste trabalho (pressão de descarga, pressão de sucção, temperaturas das linhas de entrada e saída do evaporador e do condensador, da superfície do evaporador e do ar de retorno), foi realizado um ensaio, denominado de Ensaio X. As pressões do sistema são mostradas na Figura 5.1, em que no tempo $t = 780$ s o sistema entrou em funcionamento.

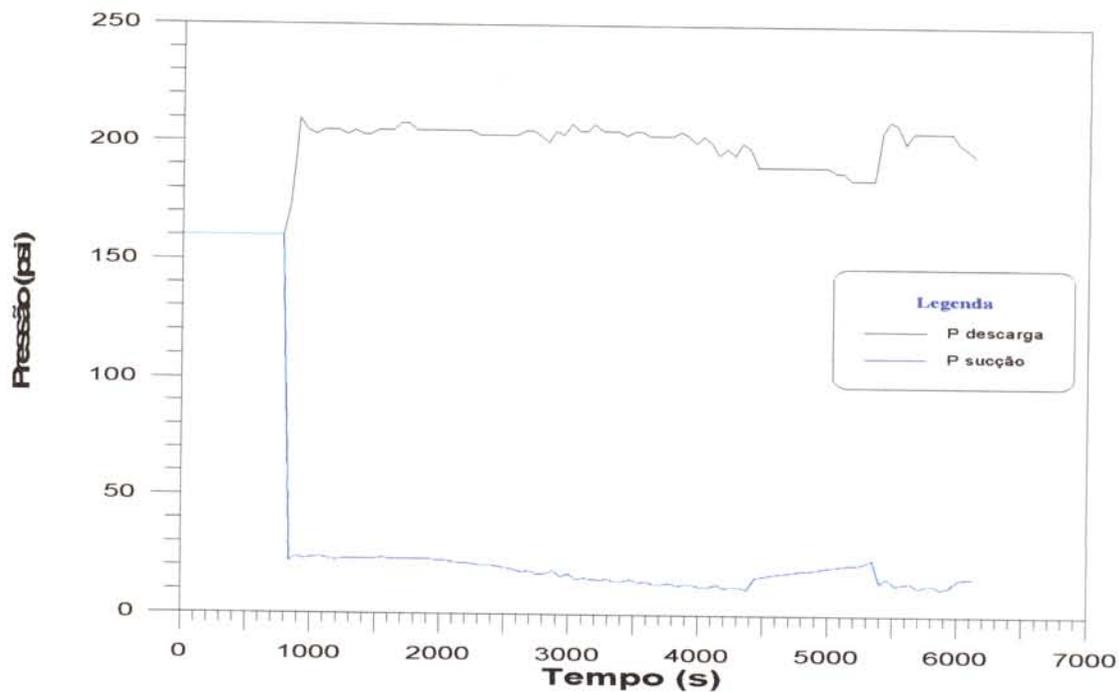


Figura 5.1 - Pressões de operação do sistema frigorífica durante o Ensaio X.

De acordo com a Figura 5.2, pode-se verificar que o grau de superaquecimento do refrigerante no evaporador, caracterizado pela diferença entre as temperaturas de saída e de entrada do evaporador, fica em torno de 10°C .

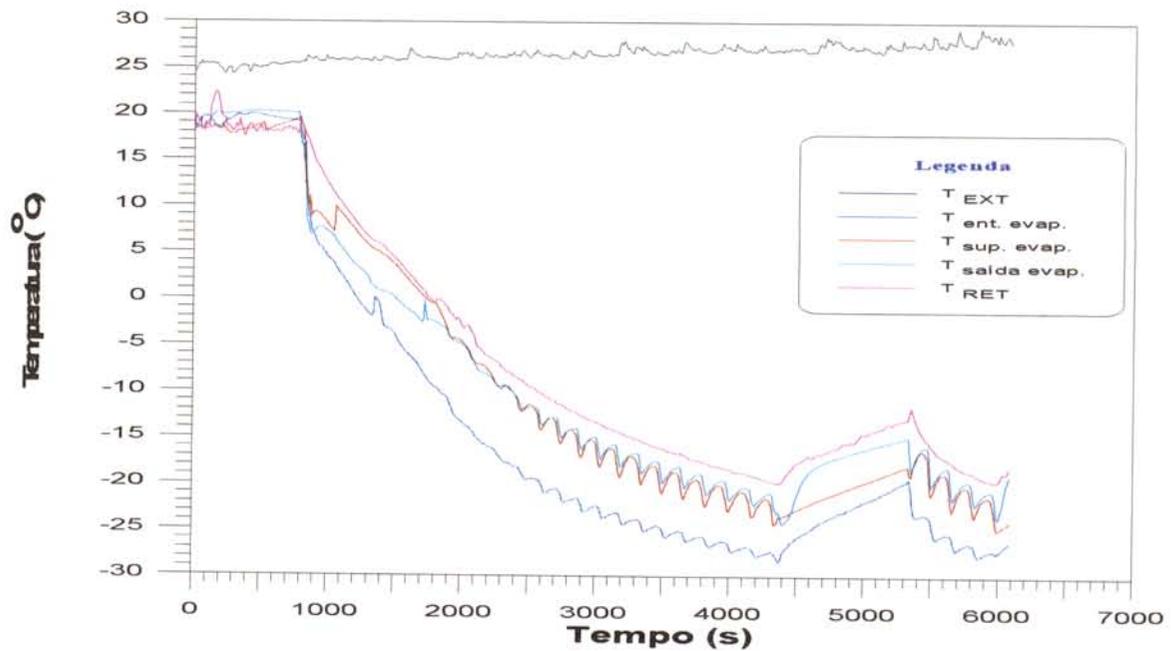


Figura 5.2 - Temperaturas do sistema frigorífico durante o Ensaio X.

As temperaturas da linha de descarga do compressor e da saída do condensador são apresentadas na Figura 5.3. A temperatura do ar de entrada no condensador é maior que a temperatura ambiente, uma vez que, antes da passagem pelo condensador, há resfriamento do compressor pelo fluxo de ar. A diferença entre a temperatura do refrigerante na entrada do condensador e a do refrigerante na saída é cerca de 10 °C.

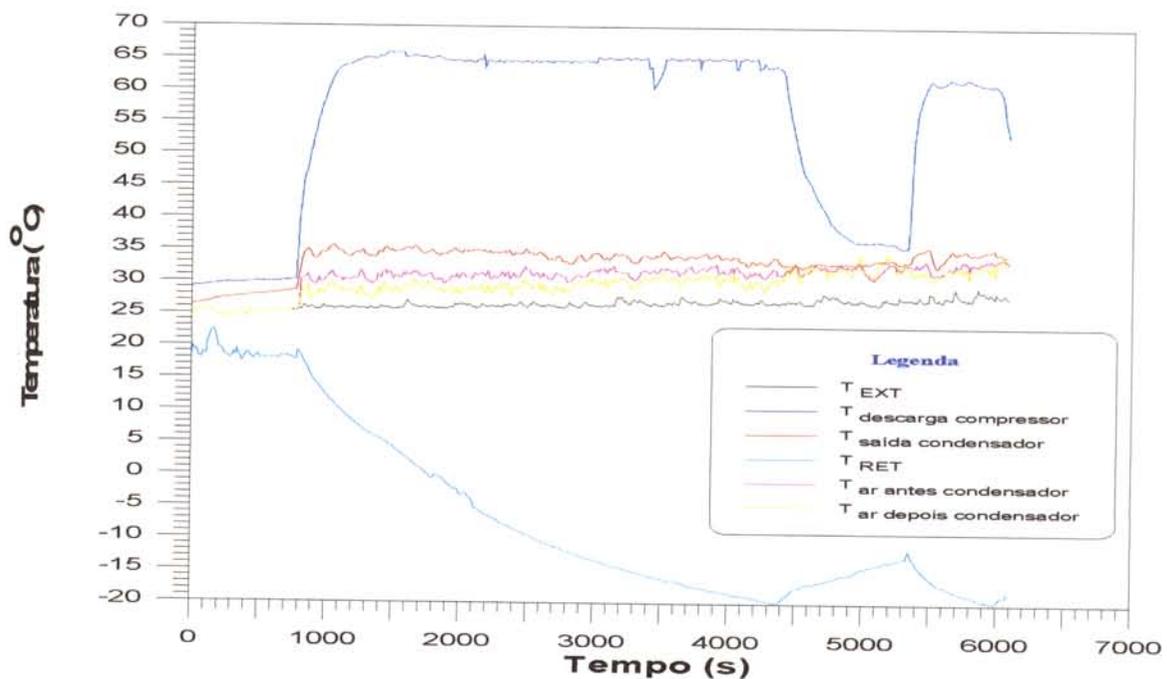


Figura 5.3 - Temperaturas do sistema frigorífico durante o Ensaio X.

5.1.2 - Velocidade do ar no interior da câmara.

Os valores encontrados para as medidas feitas da velocidade do ar interna da carroceria são apresentados na Tabela 5.1, conforme a localização dos pontos de medida apresentada na Figura 4.4:

Tabela 5.1 - Valores da velocidade do ar no interior da carroceria.

Ponto	V_{AR} (m/s)		Ponto	V_{AR} (m/s)		Ponto	V_{AR} (m/s)		Ponto	V_{AR} (m/s)
<i>1</i>	4,1		<i>10</i>	2,1		<i>19</i>	1,0		<i>28</i>	0,6
<i>2</i>	4,6		<i>11</i>	1,8		<i>20</i>	1,2		<i>29</i>	0,6
<i>3</i>	3,7		<i>12</i>	2,0		<i>21</i>	0,9		<i>30</i>	0,6
<i>4</i>	1,2		<i>13</i>	0,2		<i>22</i>	0,2		<i>31</i>	0,2
<i>5</i>	0,3		<i>14</i>	1,7		<i>23</i>	1,0		<i>32</i>	0,2
<i>6</i>	0,8		<i>15</i>	0,9		<i>24</i>	0,6		<i>33</i>	0,1
<i>7</i>	0,9		<i>16</i>	0,4		<i>25</i>	0,7		<i>34</i>	0,1
<i>8</i>	1,0		<i>17</i>	0,6		<i>26</i>	0,6		<i>35</i>	0,9
<i>9</i>	0,7		<i>18</i>	0,6		<i>27</i>	0,4		<i>36</i>	0,3

Os valores observados para os pontos 1, 2 e 3 correspondem ao ar insuflado através do evaporador, e são muito superiores aos indicados pela **ASHRAE** (1994). Como as medidas foram feitas com a carroceria, outras medidas teriam que ser feitas com a carroceria carregada, visto que com a presença de carga o ar encontraria barreiras contra a sua circulação.

5.2 - ENSAIOS SEM ABERTURA DE PORTA E SEM INTRODUÇÃO DE CARGA TÉRMICA ARTIFICIAL

Nessa etapa foram realizados ensaios para verificar o funcionamento da carroceira sem abertura de portas ou introdução de carga térmica artificial, de acordo com as condições de temperatura ambiente externa e radiação solar global.

Os resultados obtidos para esses ensaios estão apresentadas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Resultados obtidos para os ensaios realizados sem a introdução de carga térmica artificial e abertura de portas.

Ensaio	Repetições	T _{RET} (°C)	Rad (W/m ²)	T _{EXT} (°C)	Q _{RES} (kJ)	t _{SET} (s)
001	A	-15,9	620,2	28,1	---	419
	B	-13,3	961,7	31,3	---	493
002	A	-14,4	---	24,4	---	464
	B	-13,8	---	22,6	---	492

A – dia nublado; B – dia ensolarado.

O comportamento da radiação dos experimentos feitos para o ensaio 1 (sem abertura de portas e introdução de carga térmica artificial, durante o período diurno) são apresentadas na Figura 5.4. O ensaio 1A foi realizado durante um dia nublado com períodos de chuva e de sol, e já o ensaio 1B foi realizado durante um dia ensolarado. Por isso, fica claro que a radiação global que incide sobre a carroceira é muito dependente das condições climáticas, conforme a Figura 5.4. Apesar da frequência de oscilação da temperatura do ar de retorno ser maior para o ensaio 1B (dia ensolarado), ao comparar-se o comportamento das temperaturas do ar de retorno (utilizada como referência de controle pelo sistema frigorífico), do ar de insuflamento do evaporador e da superfície do evaporador não se observam grandes diferenças entre os dois experimentos, com relação à manutenção da temperatura, como mostrado na Figura 5.5.

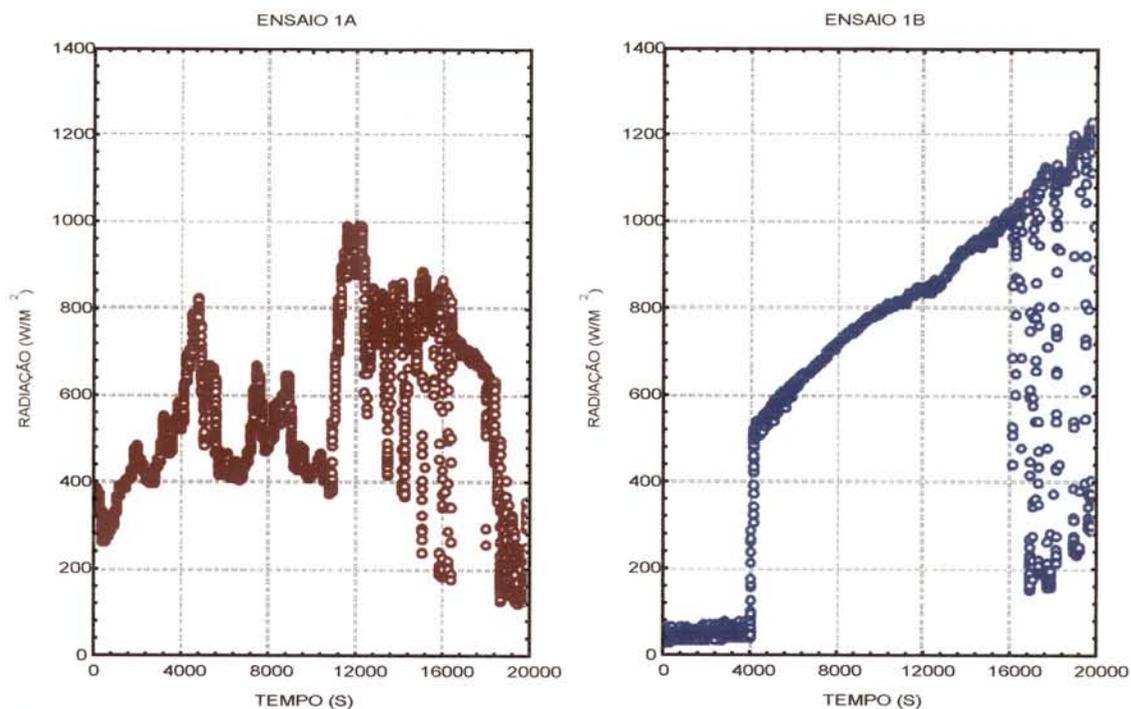


Figura 5.4 - Históricos das leituras de radiação solar global dos experimentos 1A (dia nublado) e 1B (dia ensolarado), relativos ao ensaio 1.

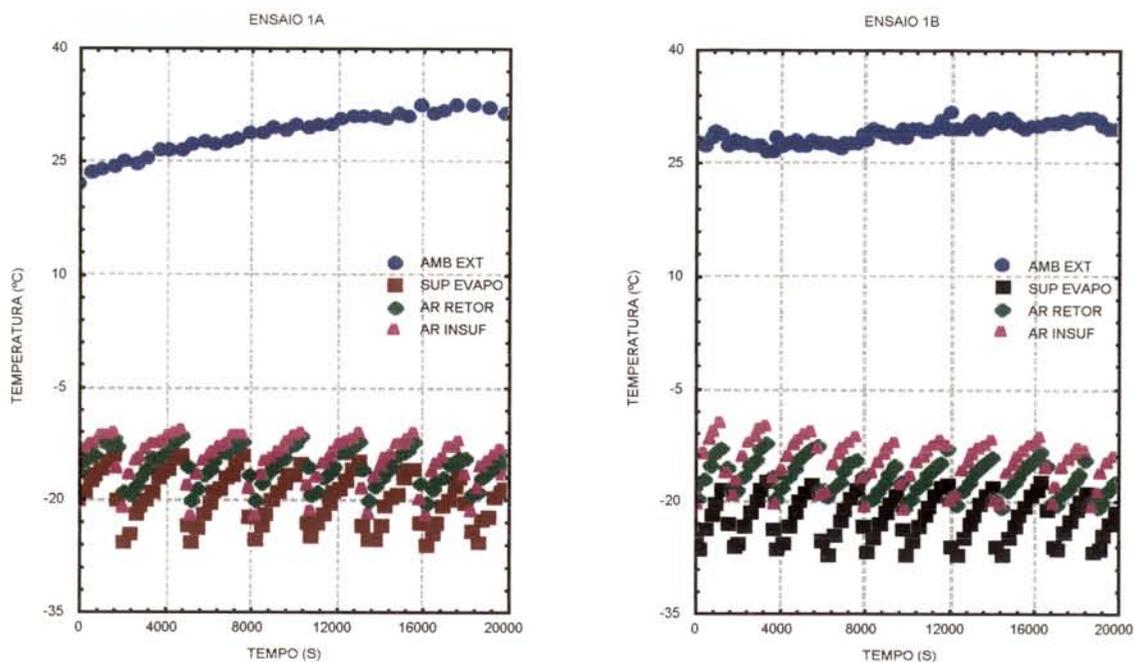


Figura 5.5 - Históricos de leituras das temperaturas do ar de retorno, ar de insuflamento e da superfície do evaporador dos experimentos 1A e 1B, relativos ao ensaio 1.

O comportamento da temperatura relativa aos termopares instalados ao longo das seções 1, 2 e 3, definidas anteriormente, são mostrados na Figura 5.5, na qual pode-se notar que não há diferenças relevantes de temperatura entre as seções definidas, apenas no período de oscilação, menor para o caso do ensaio no dia ensolarado.

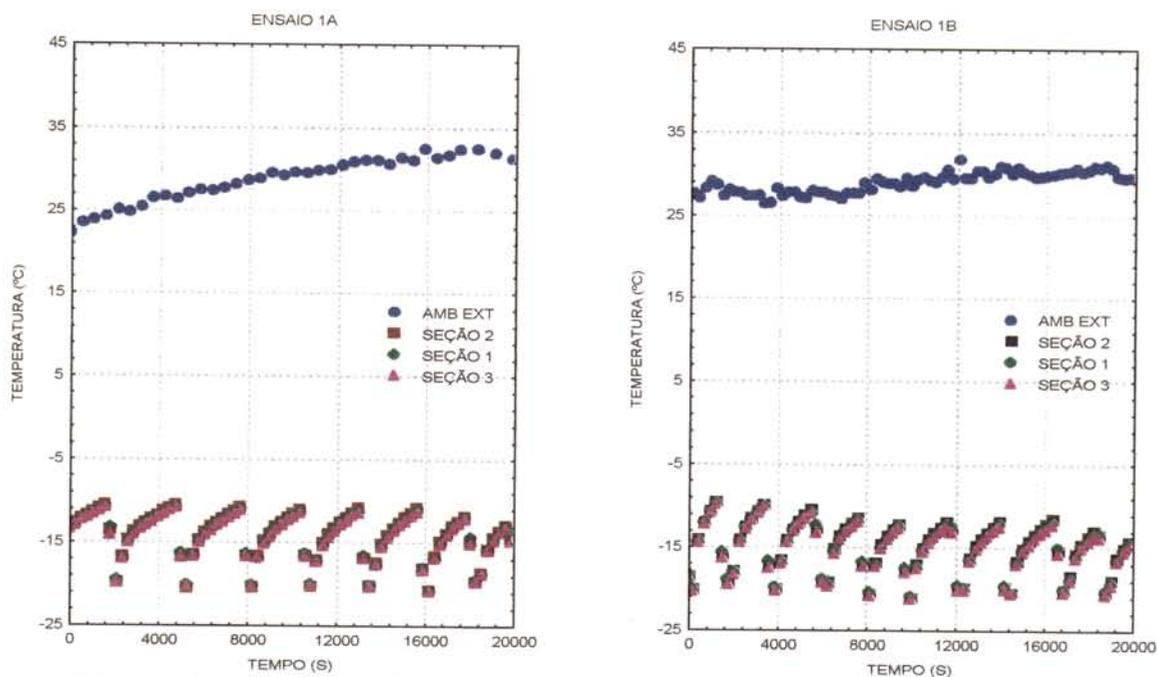


Figura 5.6 - Históricos de leituras de temperatura das seções 1, 2 e 3 para os experimentos 1A e 1B relativos ao ensaio 1.

Os históricos das temperaturas das superfícies interna e externa das paredes laterais da carroceira são apresentados na Figura 5.7. O comportamento das temperaturas em todas as superfícies internas das paredes é muito semelhante, independente do período do dia em que uma parede sofre uma maior incidência solar.

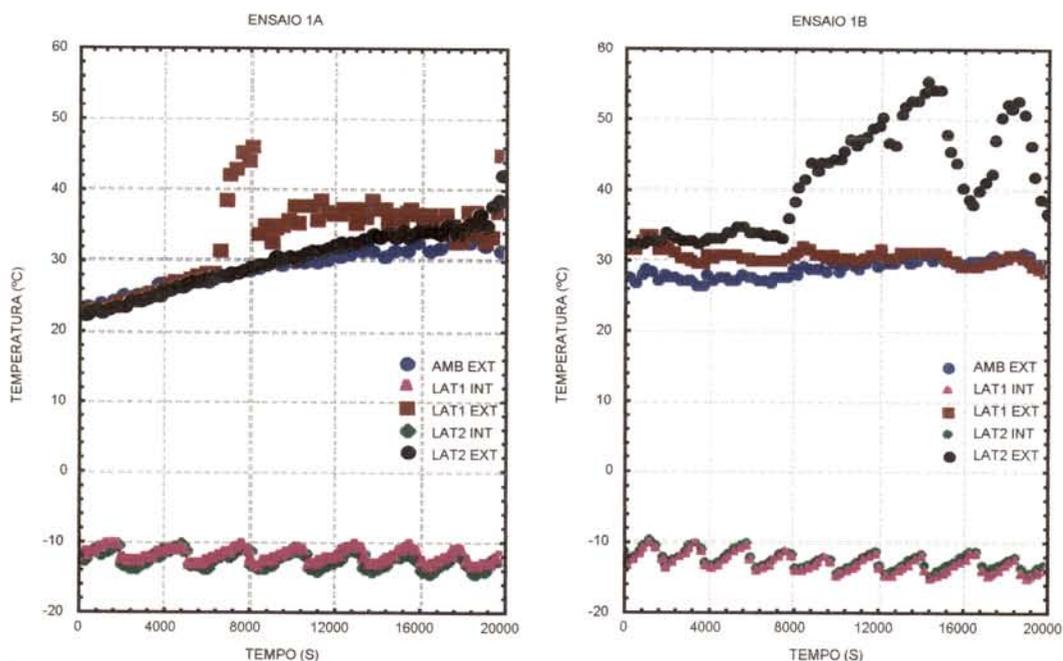


Figura 5.7 - Históricos das leituras de temperatura das superfícies interna e externa das paredes laterais da carroceira, durante os experimentos 1A e 1B relativos ao ensaio 1.

As temperaturas das superfícies interna e externa do teto e do piso são apresentados na Figura 5.8. Nesse caso, como o piso fica menos exposto às variações de temperatura, principalmente quando a carroceira permanece imóvel, a temperatura da superfície interna do piso tem uma oscilação menor quando comparada com a da superfície interna do teto.

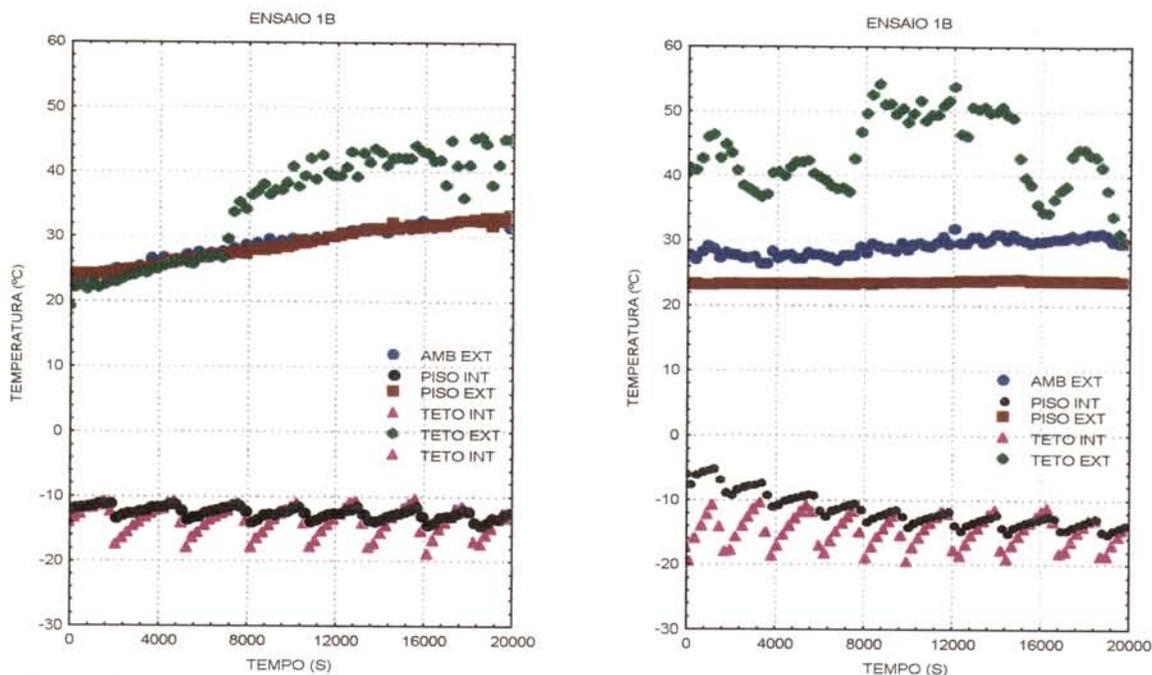


Figura 5.8 - Históricos das leituras de temperatura das superfícies interna e externa do teto e do piso da carroceira, durante os experimentos 1A e 1B relativos ao ensaio 1.

O comportamento da temperatura das superfícies externas e internas das paredes dianteira e traseira é mostrado na Figura 5.9, em que pode ser observado que a oscilação da temperatura da parede traseira é maior do que a que ocorre com a parede dianteira.

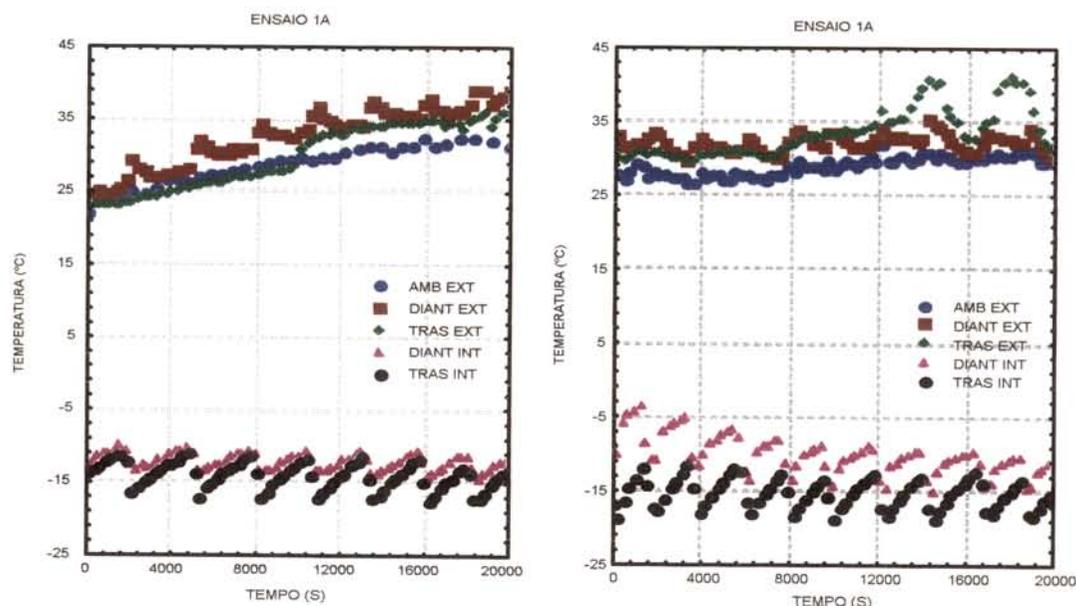


Figura 5.9 - Históricos das temperatura das superfícies interna e externa das paredes dianteira e traseira da carroceira, durante os experimentos 1A e 1B relativos ao ensaio 1.

O comportamento da temperatura do ar de retorno da carroceira para o ensaio 2 (à noite, sem abertura de portas ou introdução de carga térmica artificial) e para o ensaio 1, a partir desse gráfico representado pelo ensaio 1A, é apresentado na Figura 5.10. Pela Figura pode ser verificado que a frequência de oscilação da temperatura do ar de retorno ao evaporador, responsável pelas operações de “liga-desliga” do equipamento frigorífico é maior para o ensaio durante o dia.

Comparando o comportamento da temperatura das superfícies internas e externas das parede laterais da carroceira durante o ensaio à noite com o ensaio realizado durante o dia, pode-se verificar que as superfícies externas das paredes laterais possuem temperaturas superiores à ambiente durante o dia, devido à incidência solar direta, enquanto que, à noite, as temperatura são inferiores à ambiente, conforme visto na Figura 5.11.

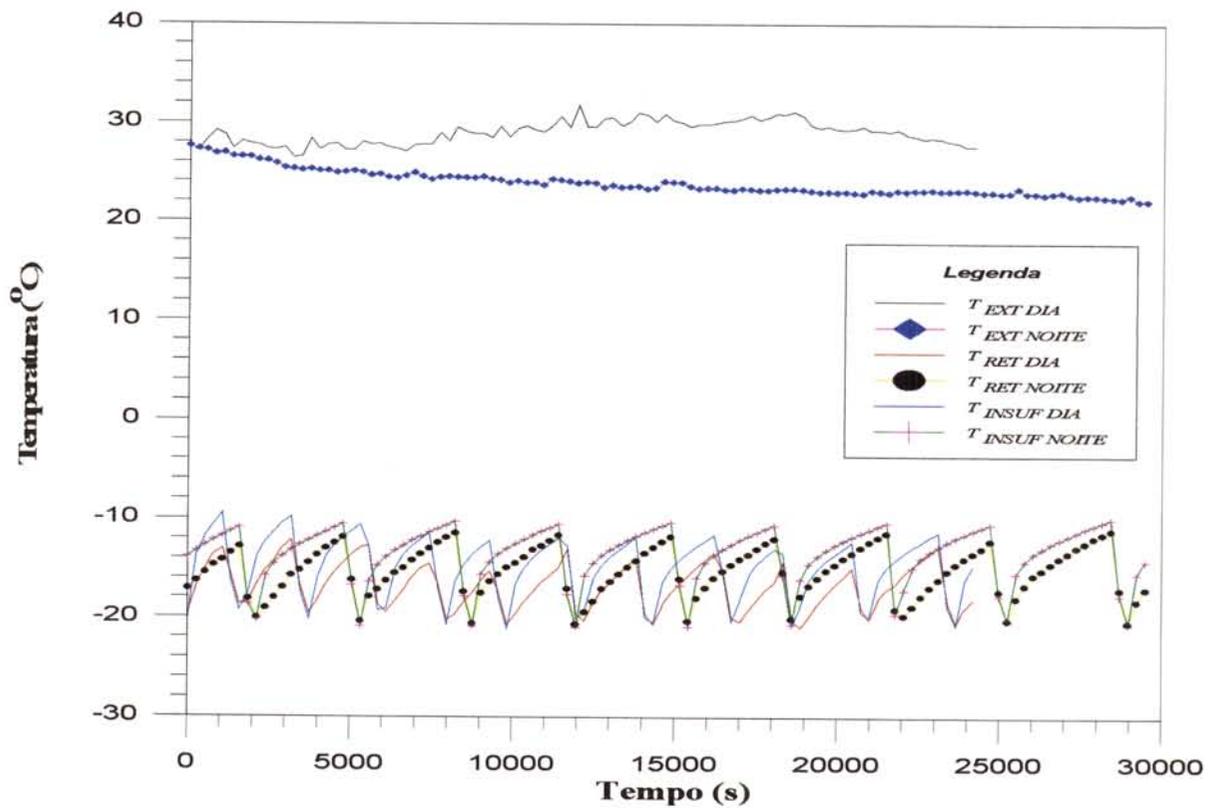


Figura 5.10 - Histórico das temperaturas do ar de retorno e de insuflamento de ar do evaporador durante os ensaios 1 e 2.

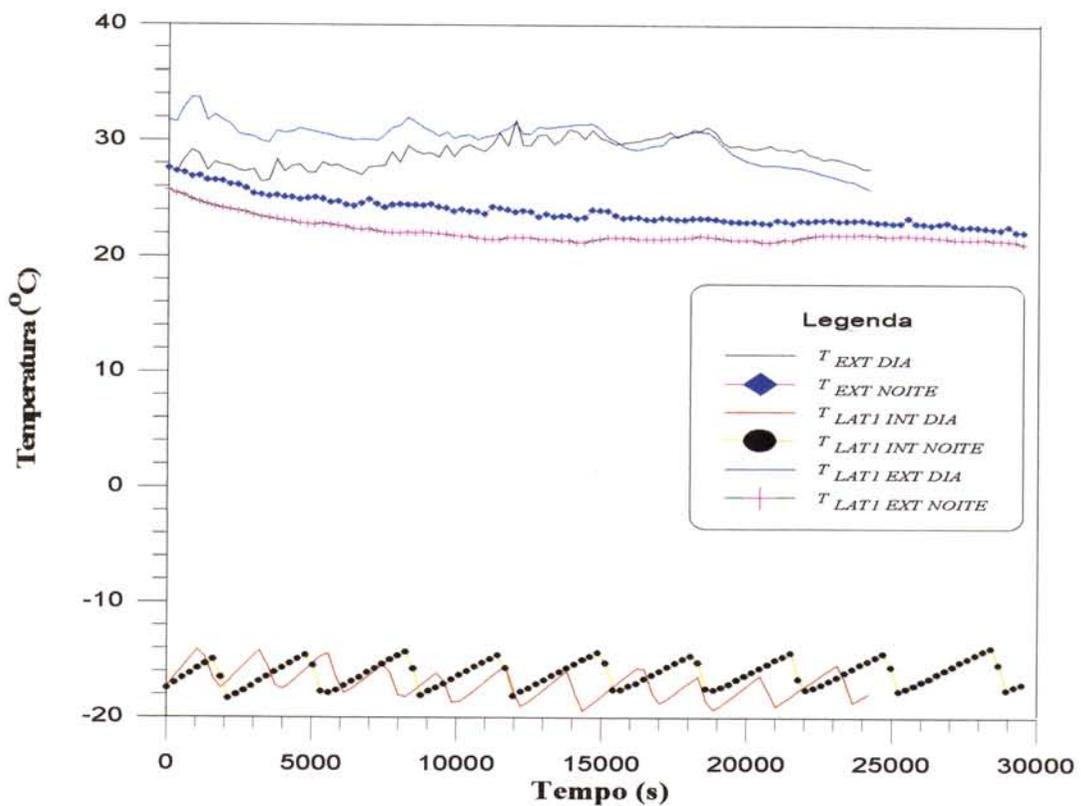


Figura 5.11 - Histórico das temperaturas das superfícies interna e externa da parede lateral 1 durante os ensaios 1 e 2.

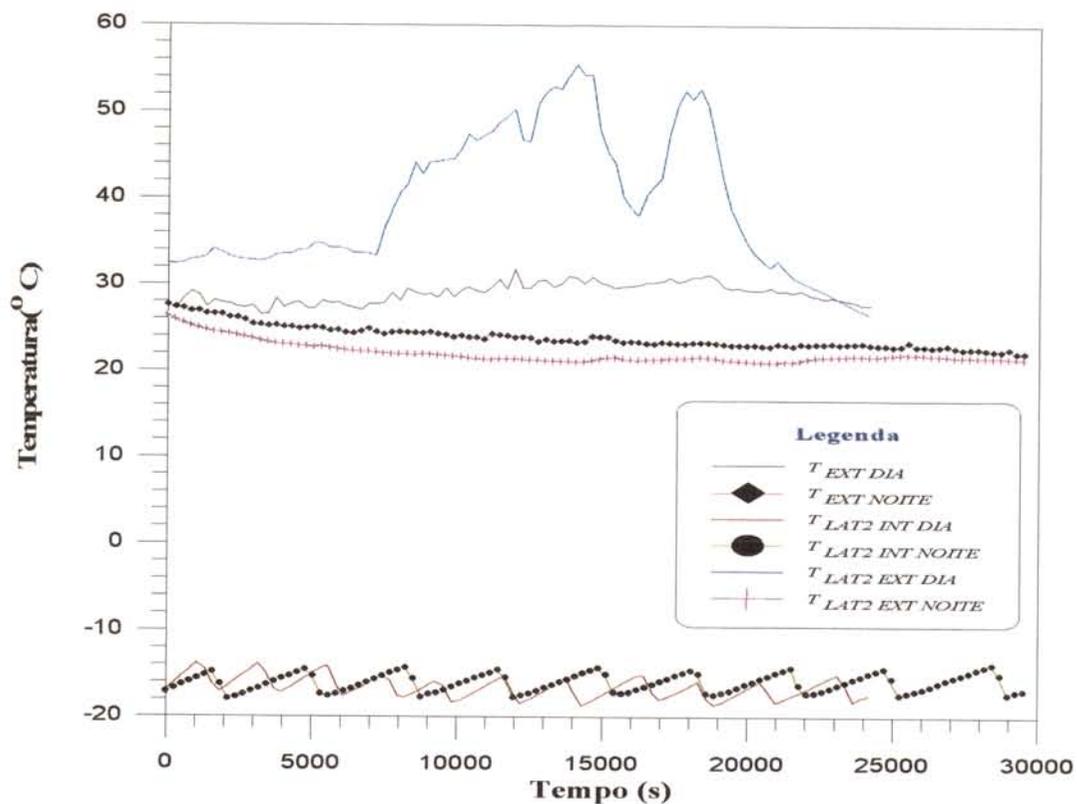


Figura 5.12 - Histórico das temperaturas das superfícies interna e externa da parede lateral 2 durante os ensaios 1 e 2.

O histórico das temperaturas das paredes externas e internas do piso e do teto da carroceira é apresentado nas Figuras 5.13 e 5.14. Conforme observado na Figura 5.13, a superfície externa do teto possui valores de temperatura muito superiores ao valor da temperatura ambiente externa durante o dia, apresentando valores inferiores à temperatura ambiente externa durante a noite. No caso da parede interna do teto, a frequência de oscilação é maior durante o dia. Para o caso do piso da carroceira, segundo observado na Figura 5.14, a temperatura da parede externa se mantém em um patamar praticamente constante, tanto de dia como de noite, e inferior ao valor da temperatura ambiente externa.

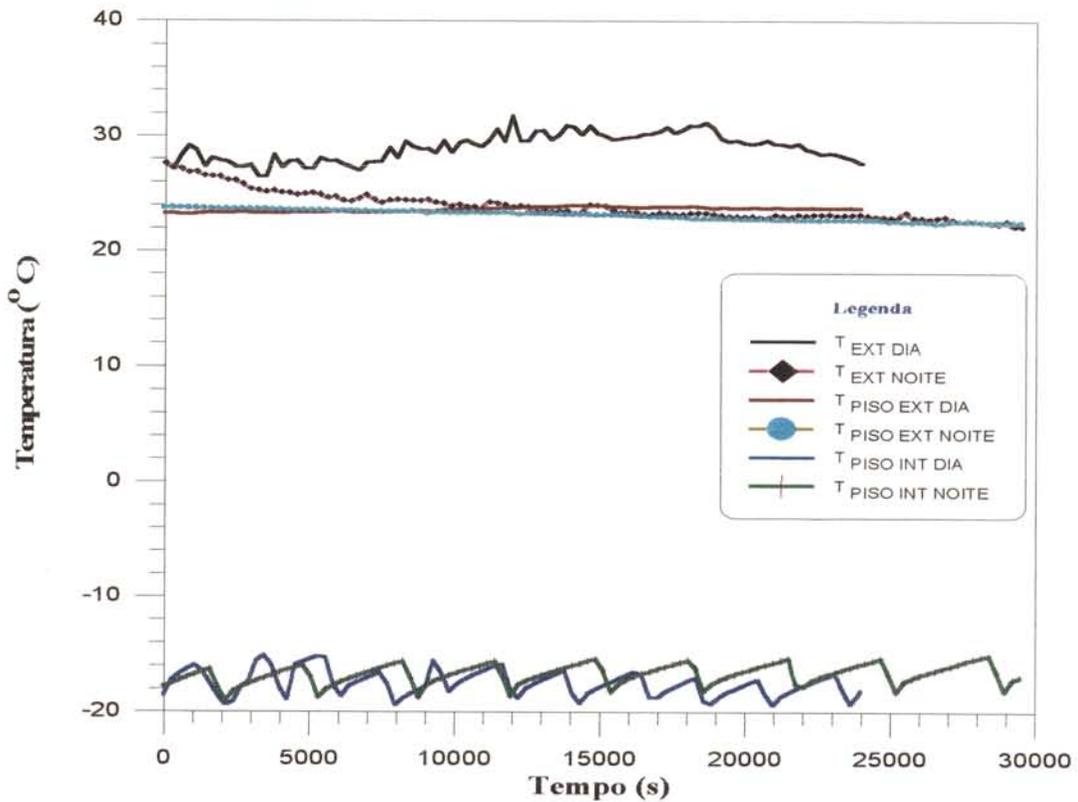


Figura 5.13 - Histórico das temperaturas das superfícies interna e externa do piso da carroceira durante os ensaios 1 e 2.

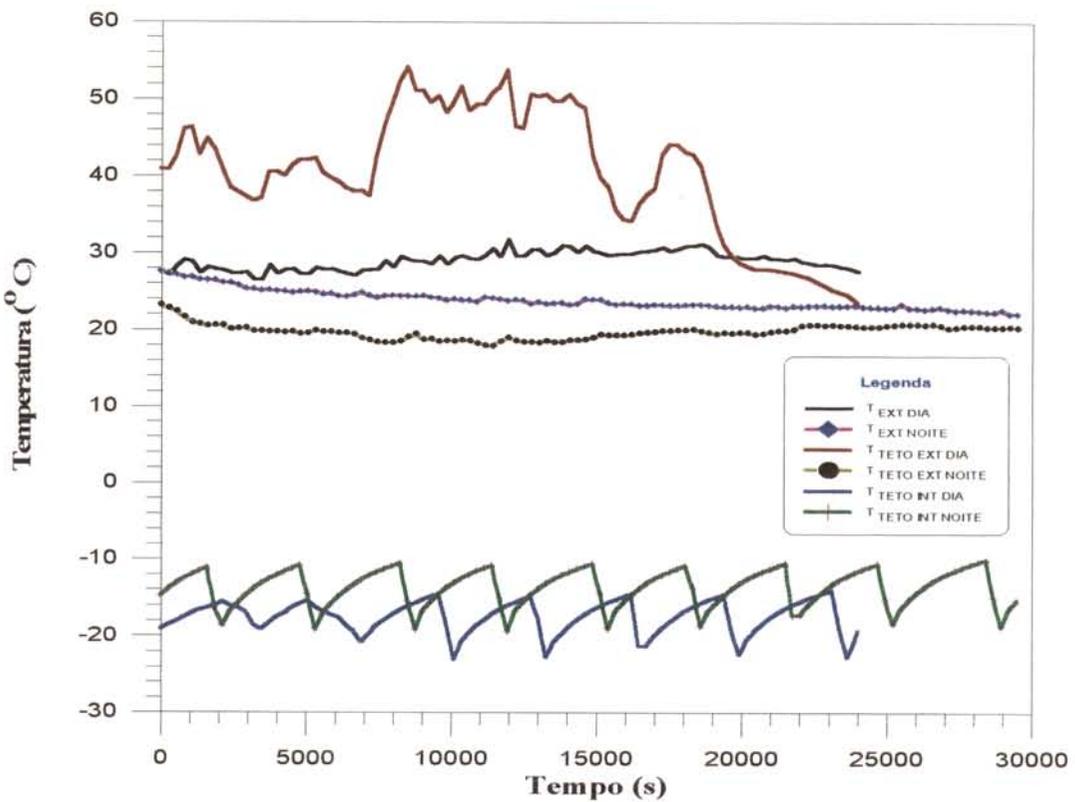


Figura 5.14 - Histórico das temperaturas das superfícies interna e externa do teto da carroceira durante os ensaios 1 e 2.

Os resultados observados para a temperatura das superfícies externas da carroceria mostram que a diferença entre a superfície e a temperatura ambiente pode chegar a valores superiores a 20 °C, em horários de grande incidência solar.

5.3 - ENSAIOS COM ABERTURA DE PORTA E SEM INTRODUÇÃO DE CARGA TÉRMICA ARTIFICIAL

Para cada uma das portas da carroceria foram feitos ensaios com tempos de abertura de 5, 10 e 15 minutos.

5.3.1 - Porta 1

A porta 1 está localizada na parte frontal da face oeste da carroceria, perto do evaporador do sistema frigorífico. Possui um vão livre de 0,11 m². Os resultados encontrados para os ensaios feitos para a porta 1 são apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 1, sem introdução de carga térmica artificial.

Ensaio	Repetição	t_{AB} (s)	T_{RET} (°C)	Q_{RES} (kJ)	Rad (W/m²)	T_{EXT} (°C)	t_{SET} (s)
007	I	300	-18,4	---	979,6	29,8	1308
	II	300	-18,7	---	787,5	28,5	1007
008	I	300	-18,9	---	---	22,7	1002
	II	300	-16,4	---	---	23,3	962
013	I	600	-15,7	---	901,7	27,0	1494
	II	600	-14,4	---	818,9	29,3	1495
014	I	600	-15,3	---	---	27,9	1330
	II	600	-17,5	---	---	20,7	1187
019	I	900	-16,8	---	777,7	28,3	1897
	II	900	-13,9	---	50,8	23,1	1923
020	I	900	-13,7	---	---	23,1	1805
	II	900	-18,5	---	---	25,0	1731

O comportamento da temperatura do termopar localizado na região próxima à porta 1 de acordo com o tempo de abertura da mesma para os ensaios durante o dia (7, 13 e 19) e durante a noite (8, 14 e 20), é apresentado nas Figuras 5.15 e 5.16 respectivamente. A observação do comportamento das temperaturas dos termopares localizados na região próxima à porta 1 e no ar de retorno ao evaporador de acordo com o período do dia é feita nas Figuras 5.17 ($t_{ab} = 300$ s) , 5.18 ($t_{ab} = 600$ s) e 5.19 ($t_{ab} = 900$ s).

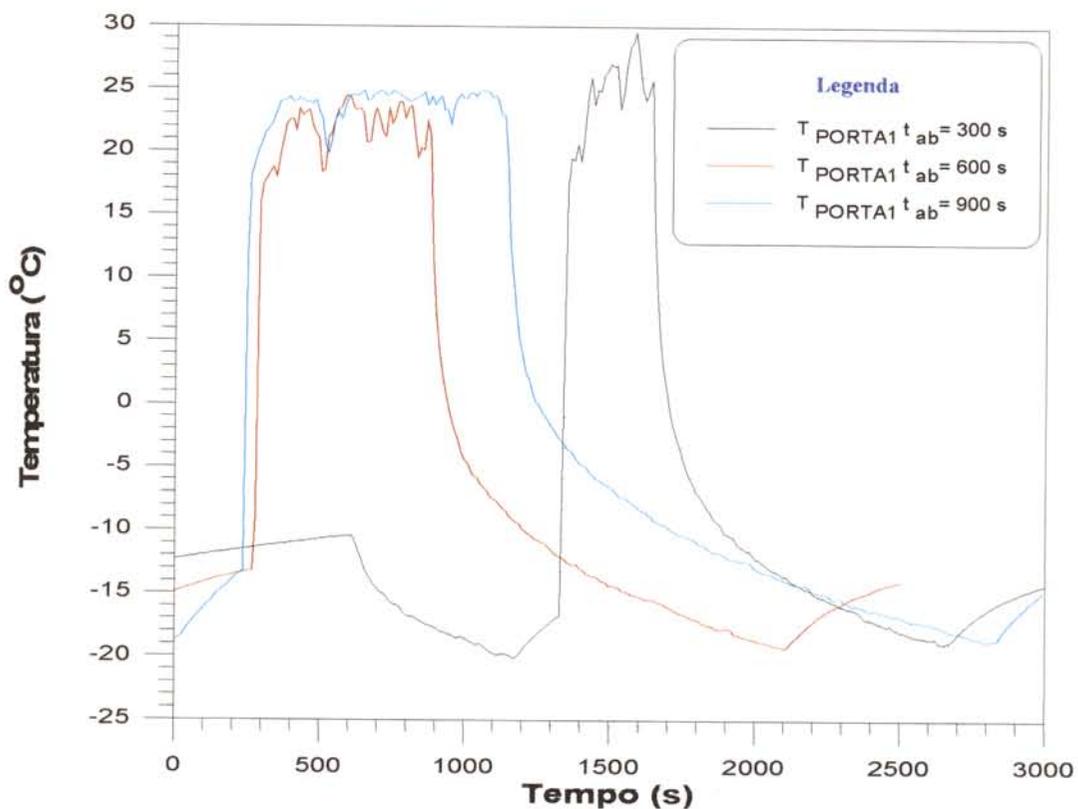


Figura 5.15 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 1 para os ensaios durante o dia: 07 ($t_{AB} = 300$ s) , 13 ($t_{AB} = 600$ s) e 19 ($t_{AB} = 900$ s).

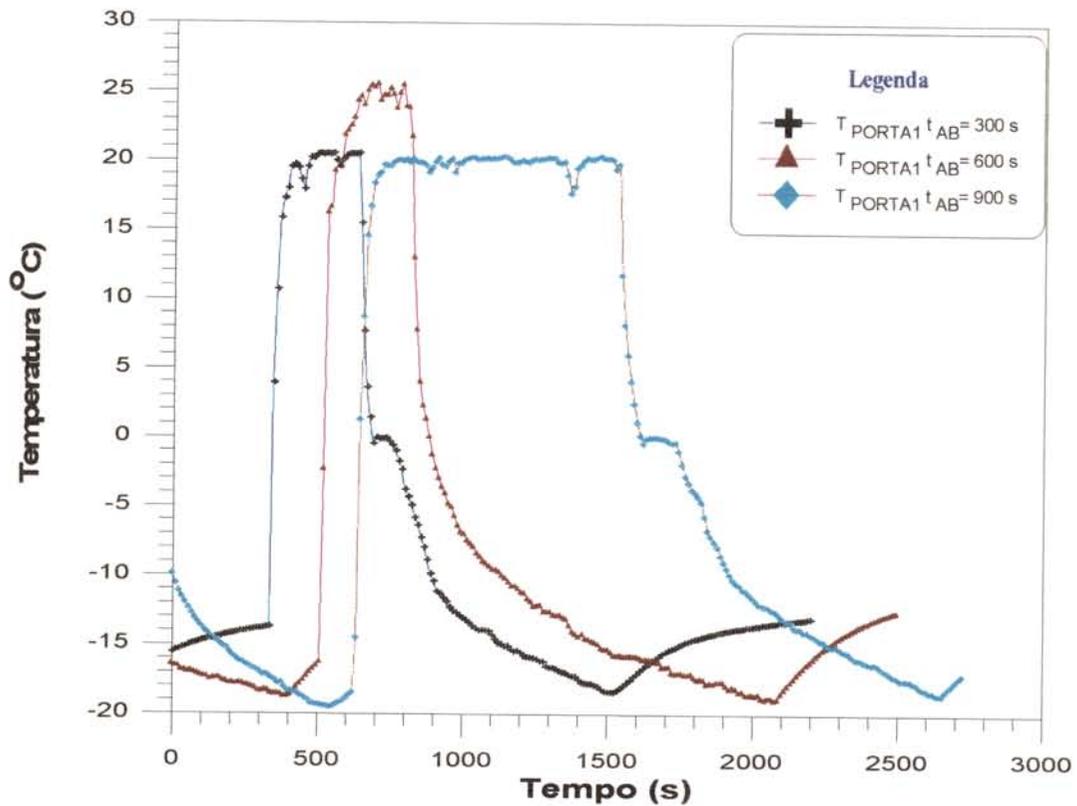


Figura 5.16 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 1 para os ensaios durante a noite: 08 ($t_{\text{AB}} = 300 \text{ s}$), 14 ($t_{\text{AB}} = 600 \text{ s}$) e 20 ($t_{\text{AB}} = 900 \text{ s}$).

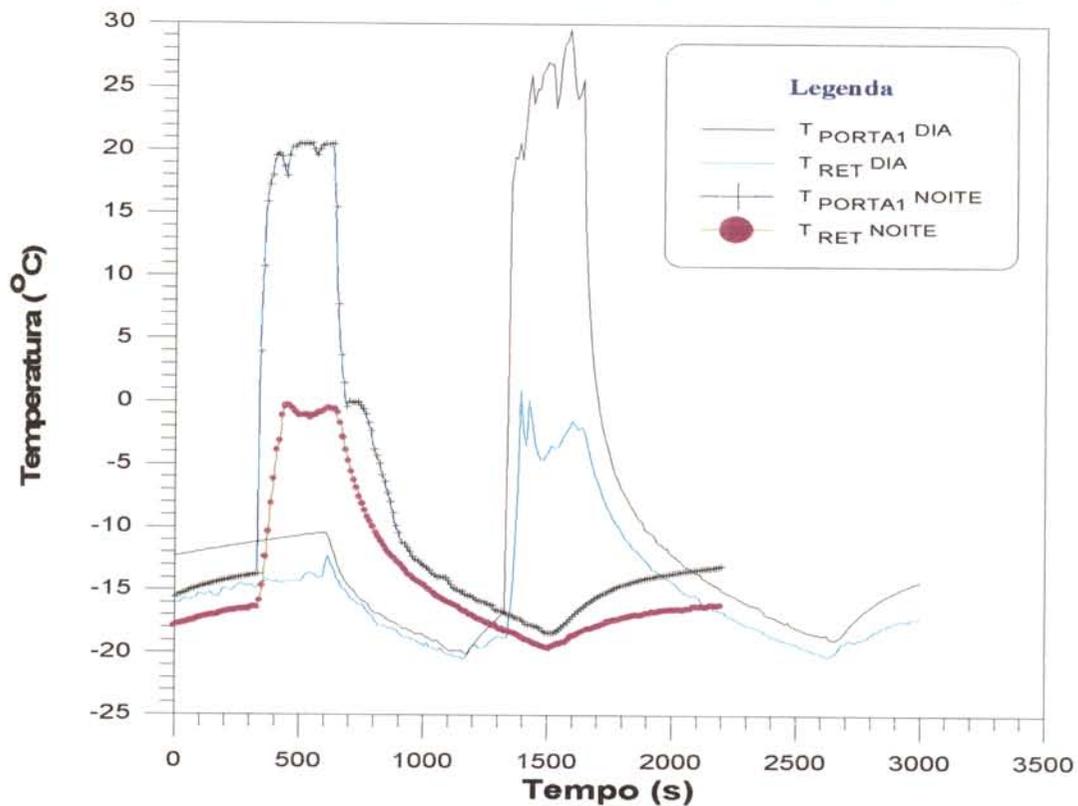


Figura 5.17- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 1 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 07 e 08 ($t_{\text{AB}} = 300 \text{ s}$).

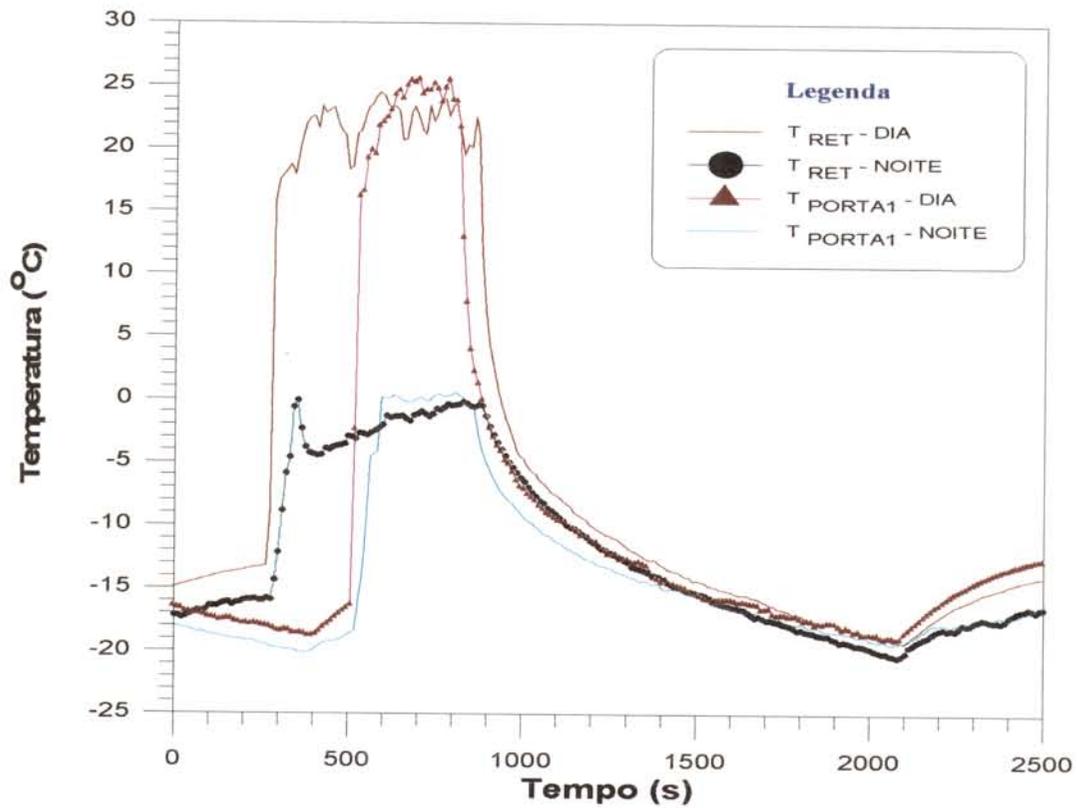


Figura 5.18- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 1 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 13 e 14 ($t_{AB} = 600$ s).

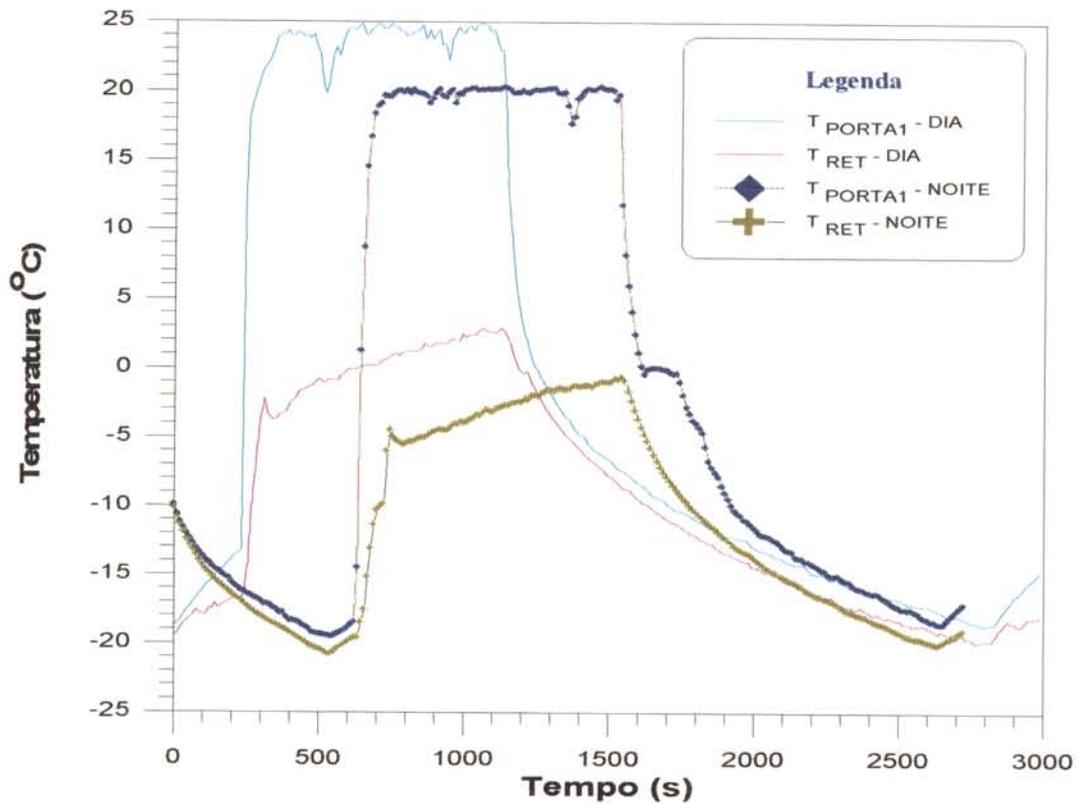


Figura 5.19- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 1 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 19 e 20 ($t_{AB} = 900$ s).

De acordo com as Figuras 5.15 e 5.16, pode-se observar que as diferenças entre as oscilações ocorridas com a temperatura da região próxima à porta 1 estão diretamente relacionadas com o tempo de abertura da porta, enquanto que a temperatura máxima atingida nesse ponto da carroceria durante as perturbações está relacionada com a temperatura ambiente, visto que as maiores temperaturas atingidas foram as dos ensaios 07 e 14, respectivamente. Estes ensaios foram realizados em condições para a temperatura ambiente superiores aos demais ensaios. Para os ensaios nessa etapa, sendo que com a porta 1, a temperatura do ar de retorno atingiu temperaturas de cerca de 0 °C.

Os valores medidos do tempo decorrido entre o início da perturbação e o momento em que o sistema entrou em operação novamente ($t_{REL\ SIST}$) são apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 1.

Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)		Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)
007	I	84		014	I	74
	II	68		014	II	65
008	I	89		019	I	62
	II	76		019	II	84
013	I	80		020	I	91
	II	89		020	II	88

5.3.2 - Porta 2

A porta 2 está localizada na parte traseira da face oeste da carroceria, perto do evaporador do sistema frigorífico, possuindo um vão livre de 0,11 m². A Tabela 5.5 apresenta os resultados encontrados para os ensaios com abertura de portas sem introdução de carga térmica feitos para a porta 2.

Tabela 5.5 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 2, sem introdução de carga térmica artificial.

Ensaio	Repetição	t_{AB} (s)	T_{RET} (°C)	Q_{RES} (kJ)	Rad (W/m²)	T_{EXT} (°C)	t_{SET} (s)
025	I	300	-13,2	---	114,1	28,1	1230
	II	300	-11,5	---	177,2	29,4	1324
026	I	300	-17,3	---	---	23,1	1094
	II	300	-15,5	---	---	23,3	1103
031	I	600	-16,1	---	374,1	28,1	1408
	II	600	-13,7	---	920,4	31,3	1594
032	I	600	-16,9	---	---	25,3	1373
	II	600	-14,7	---	---	23,1	1466
037	I	900	-17,2	---	720,6	27,3	1803
	II	900	-17,3	---	70,0	24,8	1829
038	I	900	-16,4	---	---	23,7	1750
	II	900	-15,9	---	---	24,6	1804

O comportamento da temperatura do termopar localizado na região próxima à porta 2 de acordo com o tempo de abertura da mesma para os ensaios durante o dia (25, 31 e 37) e durante a noite (26, 32 e 38), é apresentado nas Figuras 5.20 e 5.21, respectivamente. A observação das temperaturas dos termopares, localizados na região próxima à porta 2 e no ar de retorno ao evaporador, de acordo com o período do dia, é feita nas Figuras 5.22 ($t_{AB} = 300$ s), 5.23 ($t_{AB} = 600$ s) e 5.24 ($t_{AB} = 900$ s).

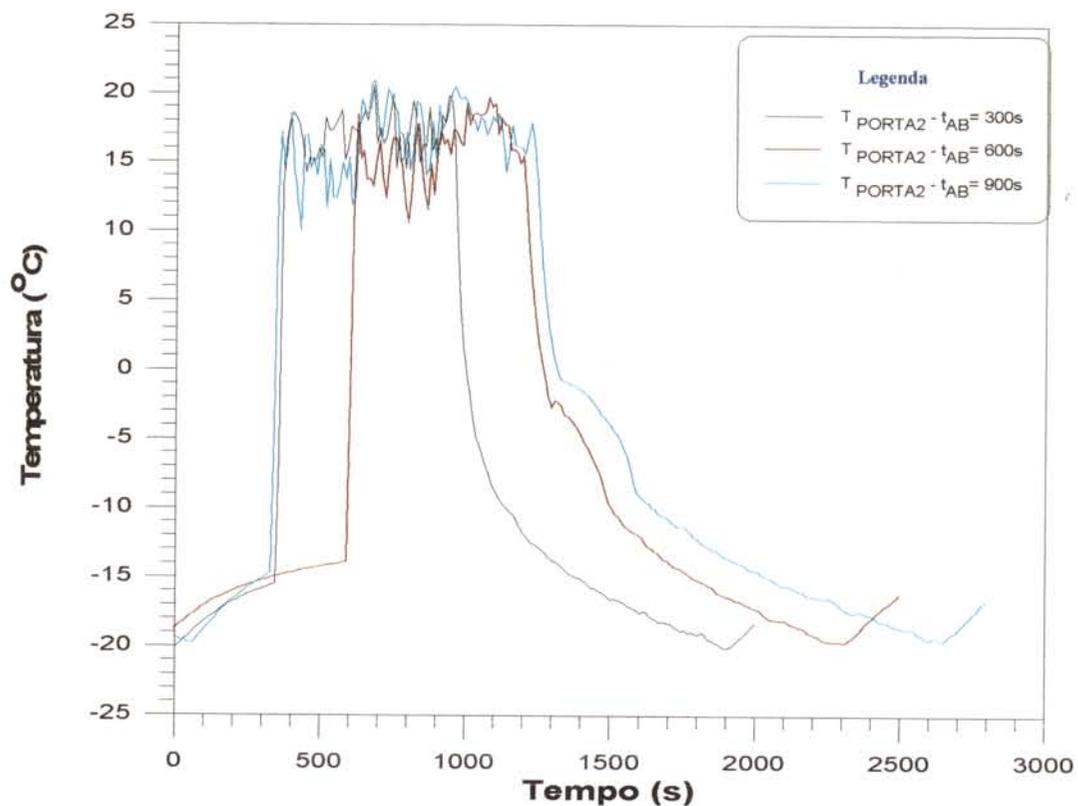


Figura 5.20 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 2 para os ensaios durante o dia - 25 ($t_{AB} = 300 s$), 31 ($t_{AB} = 600 s$) e 37 ($t_{AB} = 900 s$).

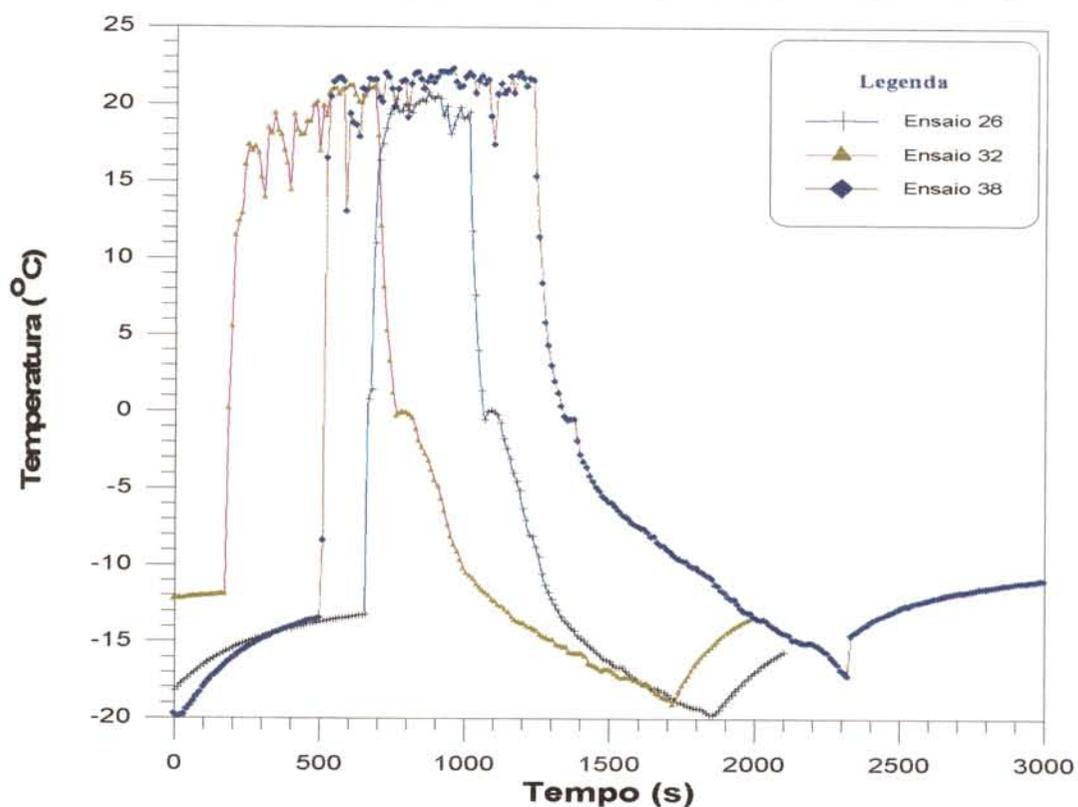


Figura 5.21 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 2 para os ensaios durante a noite - 26 ($t_{AB} = 300 s$), 32 ($t_{AB} = 600 s$) e 38 ($t_{AB} = 900 s$).

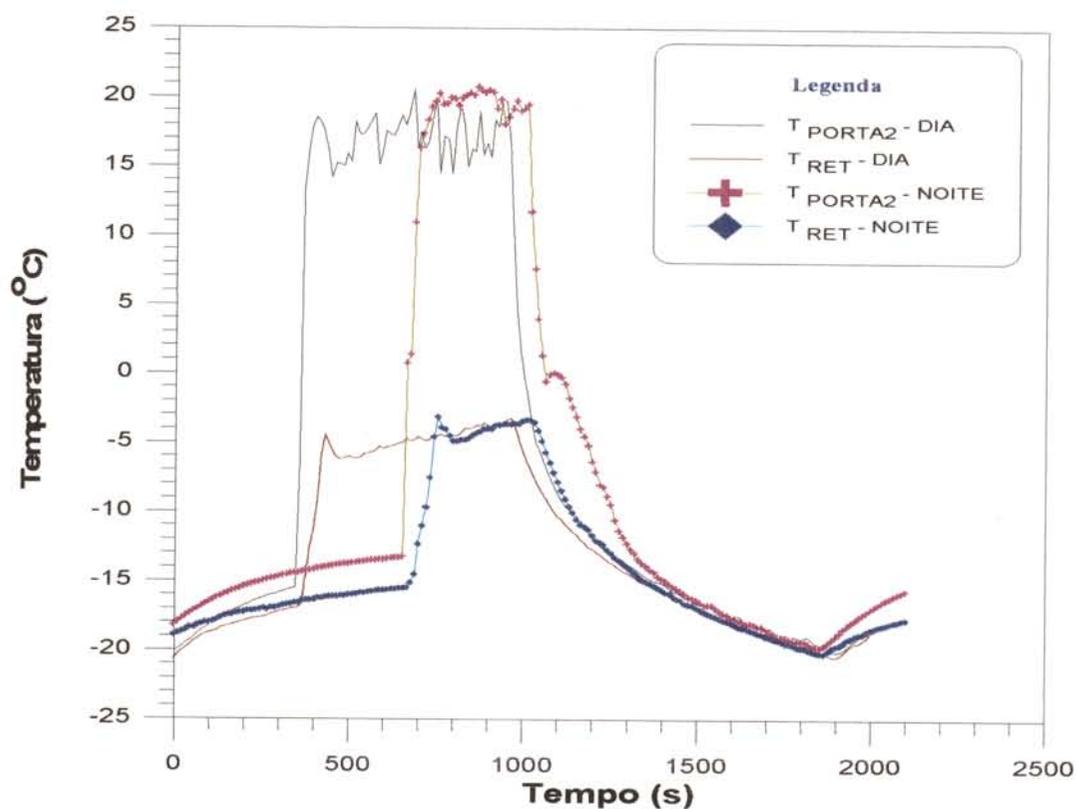


Figura 5.22- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 2 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 25 e 26 ($t_{AB} = 300$ s).

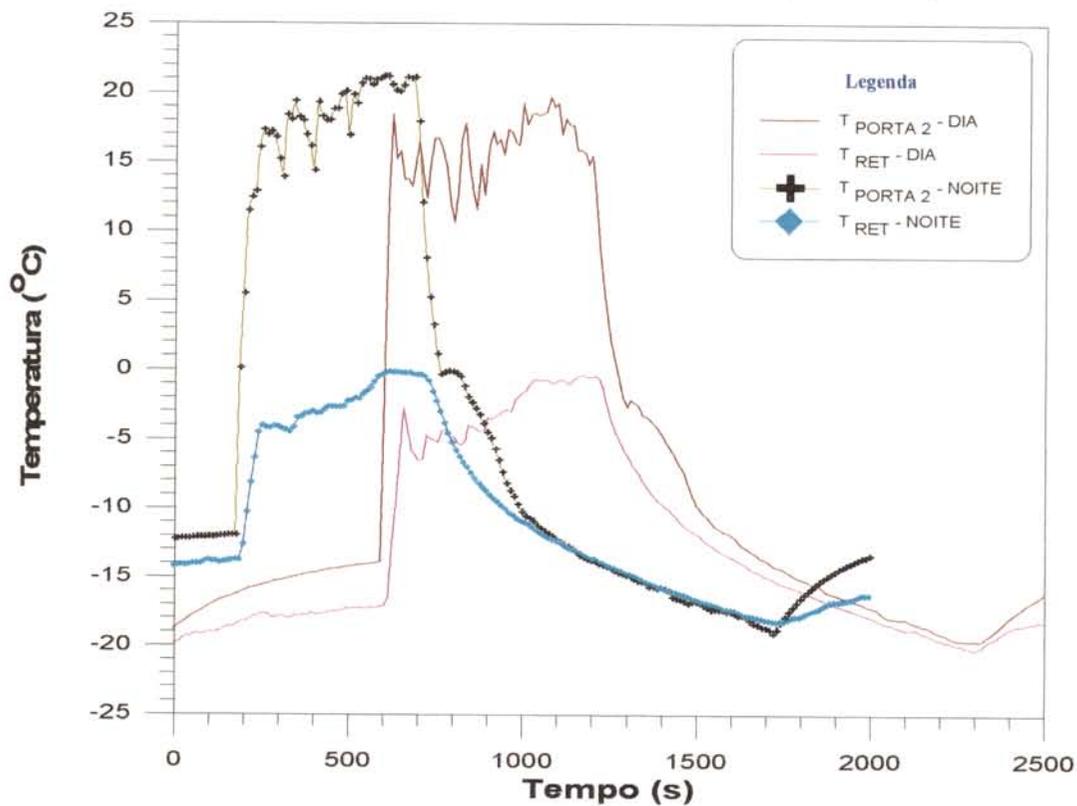


Figura 5.23- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 2 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 31 e 32 ($t_{AB} = 600$ s).

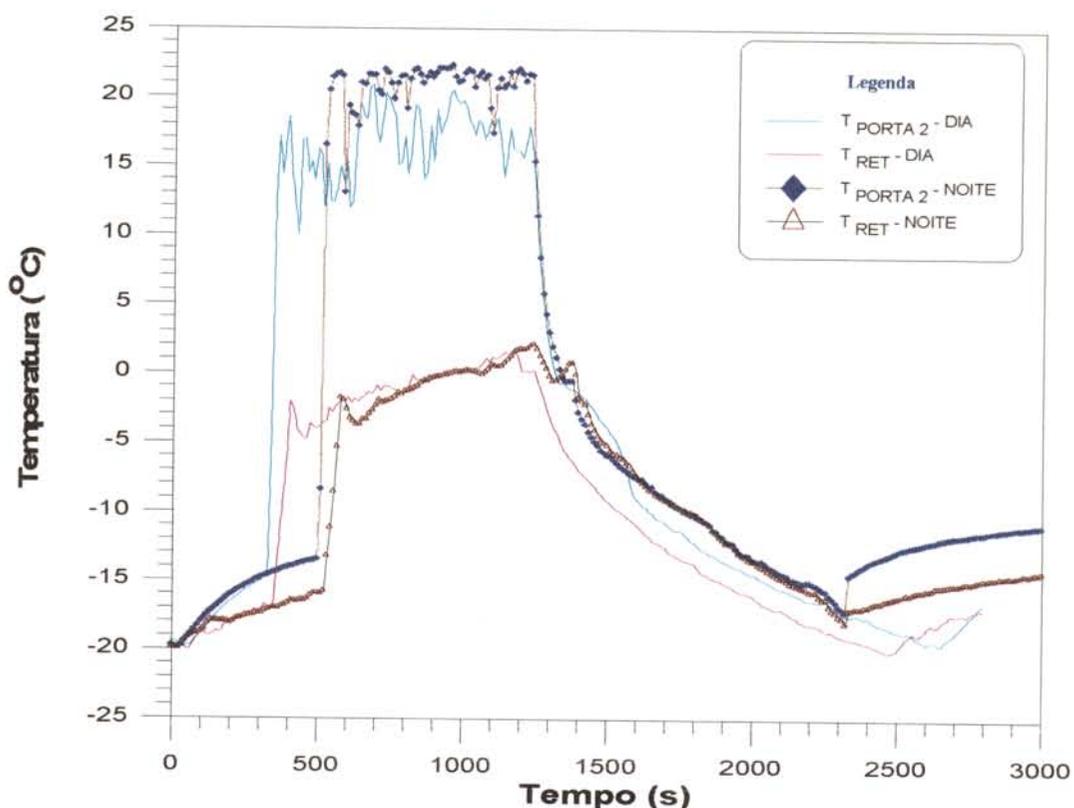


Figura 5.24- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 2 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 37 e 38 ($t_{AB} = 900$ s).

Pode-se observar que o comportamento das curvas relativas aos ensaios para a porta 2 possuem comportamento similar com as dos ensaios para a porta 1, no que diz respeito às temperaturas atingidas pelo ar de retorno ao evaporador durante as perturbações, bem como para t_{SET} .

Os valores medidos $t_{REL\ SIST}$ são apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 2.

Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)		Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)
025	I	65		032	I	44
	II	72			II	61
026	I	55		037	I	63
	II	79			II	71
031	I	48		038	I	57
	II	55			II	70

5.3.3 - Porta 3

A parte traseira da carroceira possui duas portas, sendo que cada uma delas tem um vão livre de 0,19 m². A Tabela 5.7 apresenta os resultados encontrados para os ensaios com abertura de portas sem introdução de carga térmica feitos para a porta 3.

Tabela 5.7 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 3, sem introdução de carga térmica artificial.

Ensaio	Repetição	t_{AB} (s)	T_{RET} (°C)	Q_{RES} (kJ)	Rad (W/m²)	T_{EXT} (°C)	t_{SET} (s)
043	I	300	-16,1	---	781,5	30,2	1405
	II	300	-17,1	---	864,6	30,0	1350
044	I	300	-18,6	---	---	26,8	1340
	II	300	-17,8	---	---	21,5	1212
049	I	600	-17,7	---	916,4	33,7	1877
	II	600	-14,2	---	838,3	34,6	1947
050	I	600	-15,7	---	---	26,2	1860
	II	600	-18,3	---	---	24,3	1664
055	I	900	-17,9	---	445,6	32,0	2500
	II	900	-18,9	---	321,9	25,9	2389
056	I	900	-14,6	---	---	25,1	2470
	II	900	-19,8	---	---	23,6	2005

O comportamento da temperatura do termopar localizado na região próxima à porta 3 de acordo com o tempo de abertura da mesma para os ensaios durante o dia (43, *49 e 55) e à noite (44, 50 e 56), é apresentado nas Figuras 5.25 e 5.26, respectivamente. A observação do comportamento das temperaturas dos termopares localizados na região próxima à porta 3 e no ar de retorno ao evaporador, de acordo com o período do dia, é feita nas Figuras 5.27 (t_{AB} = 300 s), 5.28 (t_{AB} = 600 s) e 5.29 (t_{AB} = 900 s).

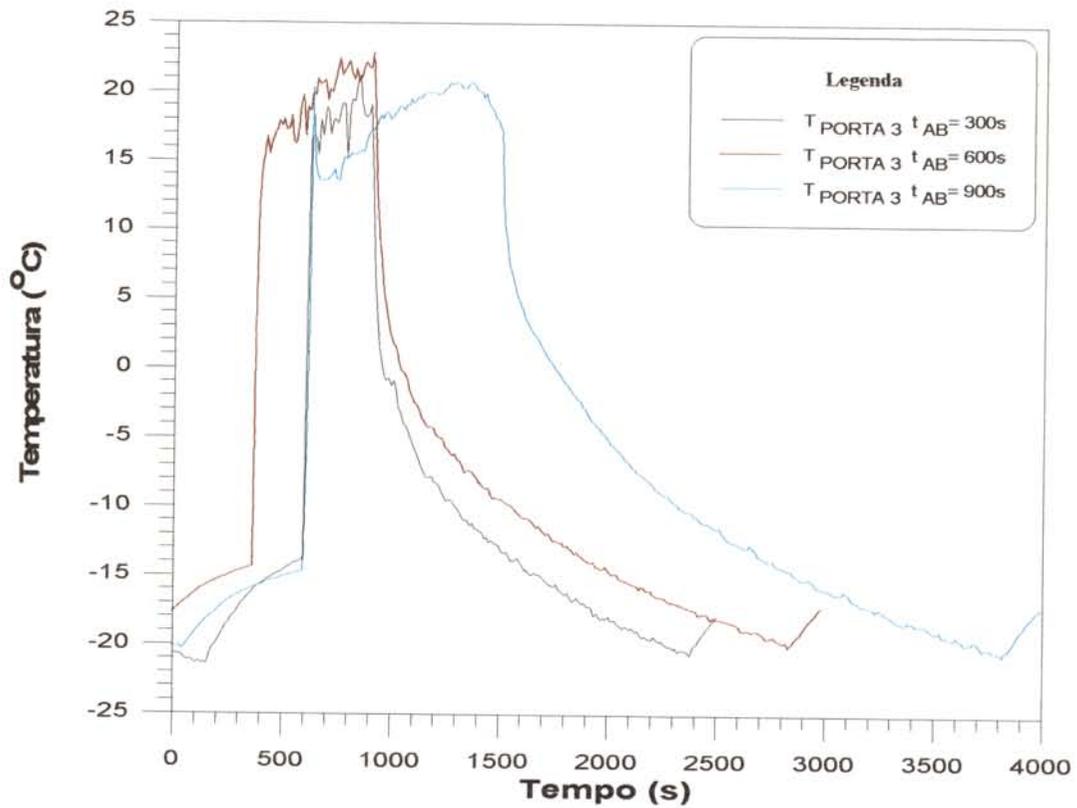


Figura 5.25 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 3 para os ensaios durante o dia - 43 ($t_{\text{AB}} = 300 \text{ s}$), 48 ($t_{\text{AB}} = 600 \text{ s}$) e 55 ($t_{\text{AB}} = 900 \text{ s}$).

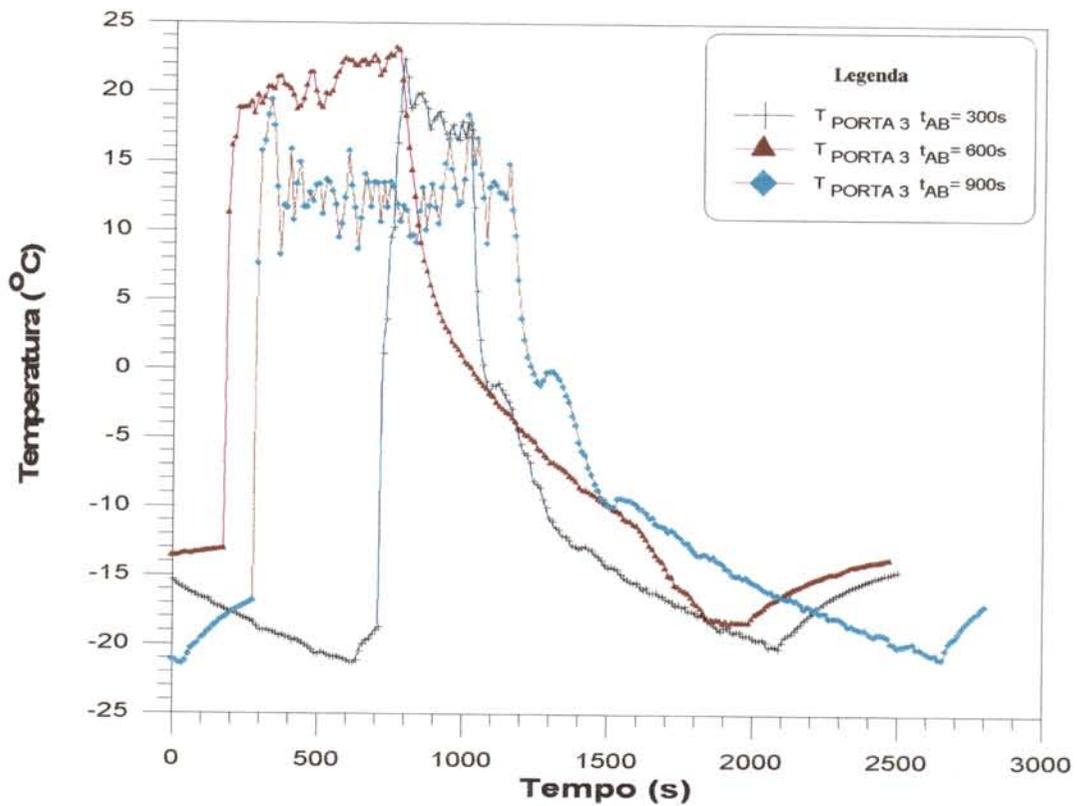


Figura 5.26 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 3 para os ensaios durante o dia - 44 ($t_{\text{AB}} = 300 \text{ s}$), 49 ($t_{\text{AB}} = 600 \text{ s}$) e 56 ($t_{\text{AB}} = 900 \text{ s}$).

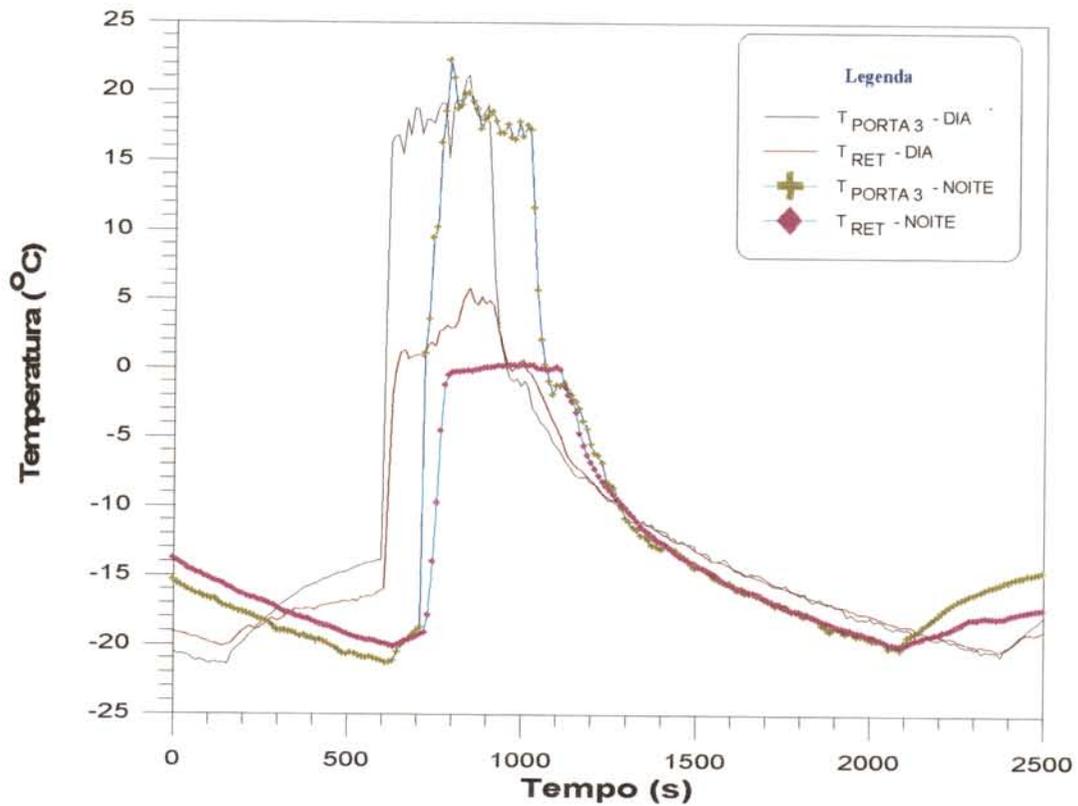


Figura 5.27- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 3 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 43 e 44 ($t_{AB} = 300$ s).

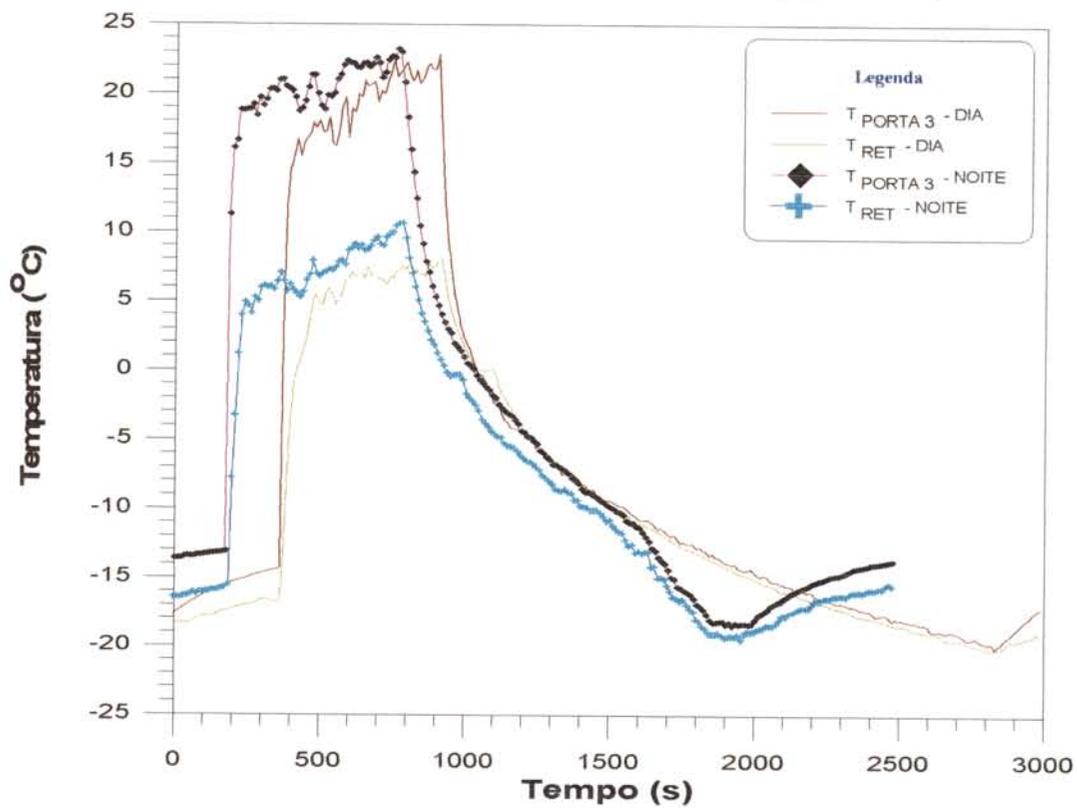


Figura 5.28- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 3 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 49 e 50 ($t_{AB} = 600$ s).

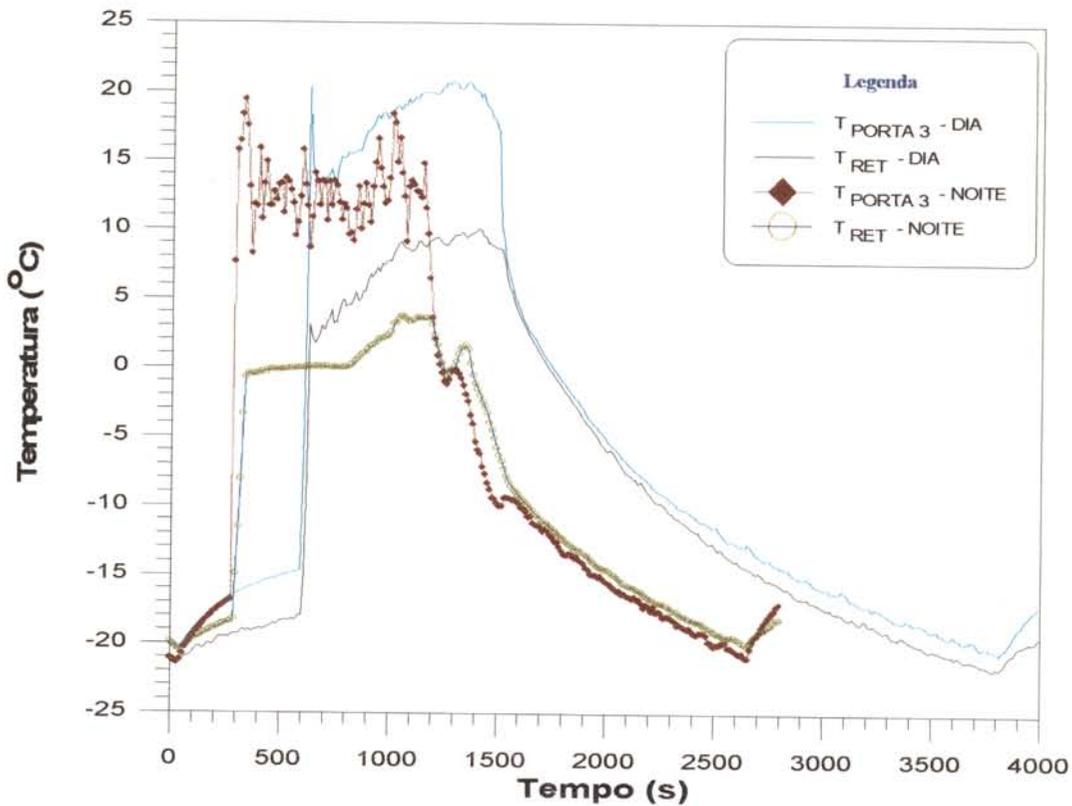


Figura 5.29- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 3 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 55 e 56 ($t_{AB} = 900$ s).

De acordo com as Figuras 5.27, 5.28 e 5.29 pode-se observar que a temperatura do ar de retorno durante os experimentos atingiu valores de até 10 °C, aproximadamente, ou seja, a diferença da temperatura máxima atingida e o valor desejado chegou a atingir valores próximos a 30 °C.

Os valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ são apresentados na Tabela 5.8

Tabela 5.8 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 3

Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)		Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)
043	I	36		050	I	30
	II	30			II	43
044	I	41		055	I	55
	II	35			II	47
049	I	48		056	I	38
	II	39			II	55

5.3.4 - Porta 4

A porta 4 está localizada na parte frontal da face leste da carroceira, perto do evaporador do sistema frigorífico. Possui um vão livre de 0,05 m². A Tabela 5.9 apresenta os resultados encontrados para os ensaios com abertura de portas sem introdução de carga térmica feitos para a porta 4.

Tabela 5.9 - Ensaio efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 4, sem introdução de carga térmica artificial.

Ensaio	Repetição	T _{AB} (s)	T _{RET} (°C)	Q _{RES} (kJ)	Rad (W/m ²)	T _{EXT} (°C)	t _{SET} (s)
061	I	300	-17,3	---	609,2	26,3	732
	II	300	-17,6	---	927,9	31,4	740
062	I	300	-15,7	---	---	26,3	741
	II	300	-16,9	---	---	24,1	671
067	I	600	-14,4	---	1013,5	29,2	1059
	II	600	-18,4	---	723,0	25,6	886
068	I	600	-18,5	---	---	25,2	801
	II	600	-17,7	---	---	23,0	843
073	I	900	-15,4	---	736,8	29,1	1207
	II	900	-17,8	---	651,2	31,2	1114
074	I	900	-16,5	---	---	24,8	1160
	II	900	-19,8	---	---	23,6	995

O comportamento da temperatura do termopar localizado na região próxima à porta 4, de acordo com o tempo de abertura da mesma para os ensaios durante o dia (61, 67 e 73) e durante a noite (62, 68 e 74), é apresentado nas Figuras 5.30 e 5.31 respectivamente. A observação do comportamento das temperaturas dos termopares localizados na região próxima à porta 4 e no ar de retorno, de acordo com o período do dia, é feita nas Figuras 5.32 ($t_{AB} = 300$ s), 5.33 ($t_{AB} = 600$ s) e 5.34 ($t_{AB} = 900$ s).

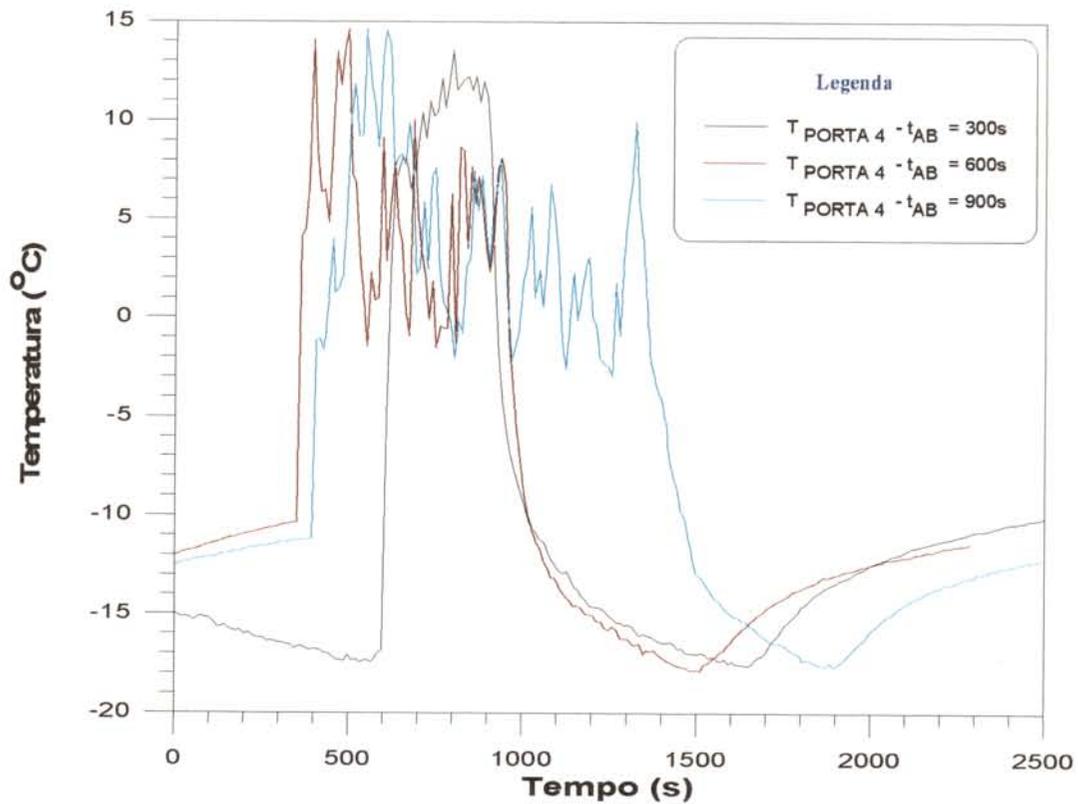


Figura 5.30 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 4 para os ensaios durante o dia - 61 ($t_{ab} = 300 s$), 67 ($t_{ab} = 600 s$) e 73 ($t_{ab} = 900 s$).

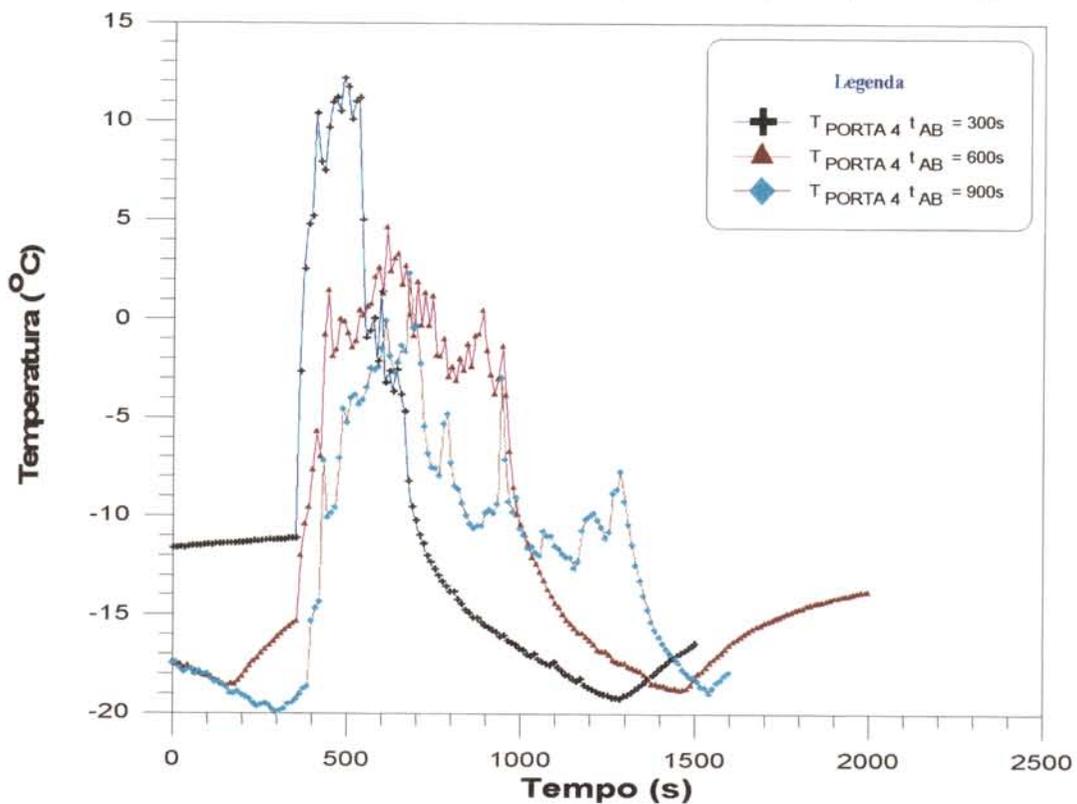


Figura 5.31 - Comportamento da temperatura na região próxima à porta 4 para os ensaios durante a noite - 62 ($t_{ab} = 300 s$), 68 ($t_{ab} = 600 s$) e 74 ($t_{ab} = 900 s$).

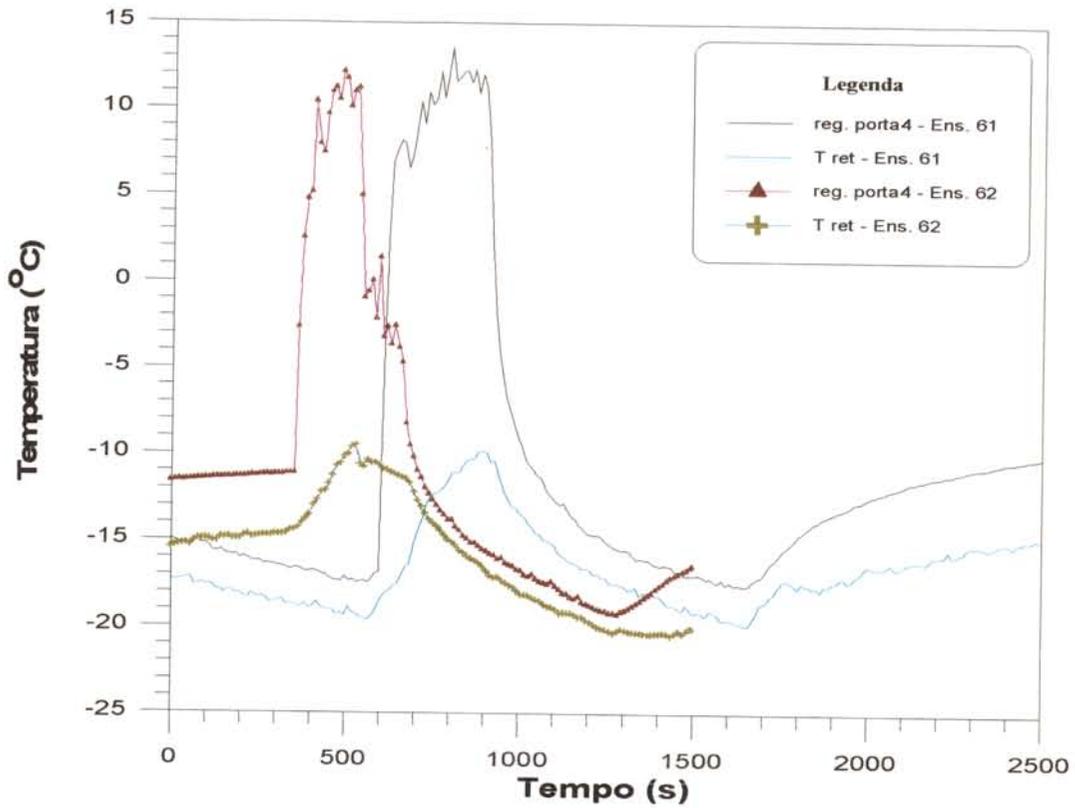


Figura 5.32- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 4 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 61 e 62 ($t_{AB} = 300$ s).

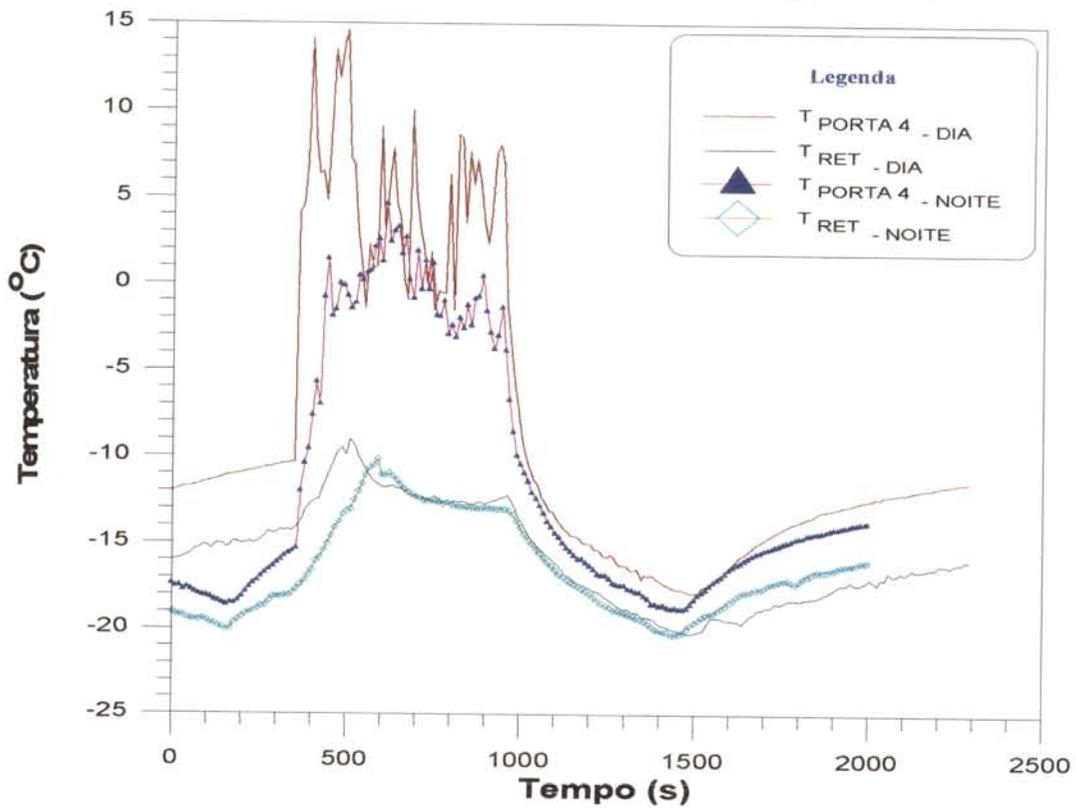


Figura 5.33- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 4 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 67 e 68 ($t_{AB} = 600$ s).

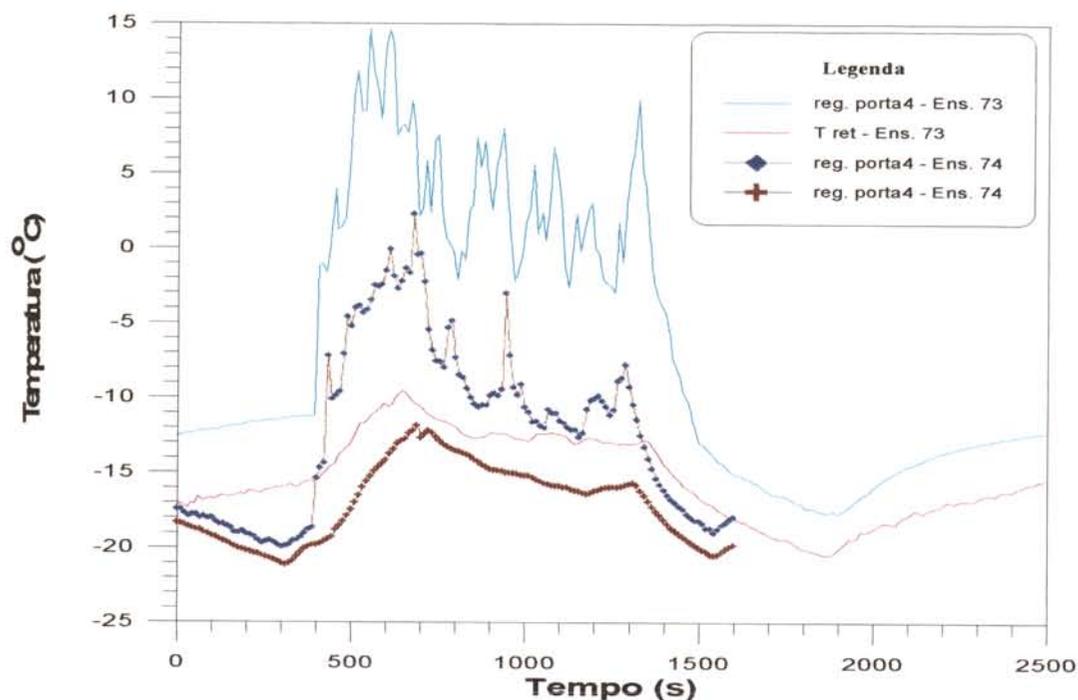


Figura 5.34- Comportamento das temperaturas na região próxima à porta 4 e do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios 73 e 74 ($t_{AB} = 900$ s).

A temperatura da região próxima à porta 4 atingiu valores de até 15 °C, inferiores aos valores obtidos para os ensaios feitos com as outras portas, assim como os valores para a temperatura do ar de retorno, de até - 10 °C.

Os valores medidos do tempo entre o início da perturbação e o momento em que o sistema entrou em operação novamente ($t_{REL\ SIST}$) são apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 4

Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)		Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)
061	I	306		068	I	29
	II	253			II	82
062	I	177		073	I	201
	II	287			II	154
067	I	354		074	I	294
	II	141			II	103

5.4 - ENSAIOS SEM ABERTURA DE PORTA E COM INTRODUÇÃO DE CARGA TÉRMICA ARTIFICIAL

Foram realizados ensaios durante o dia e à noite, com introdução de carga térmica artificial de 5000 kJ e 10000 kJ. Os resultados obtidos para esses ensaios são apresentados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Ensaios efetuados com introdução de carga térmica artificial.

Ensaio	Repetição	T _{RET} (°C)	Q _{RES} (kJ)	Rad (W/m ²)	T _{EXT} (°C)	t _{SET} (s)
03	I	-17,7	5004,6	741,6	27,2	1413
	II	-16,9	5004,3	65,9	26,6	1384
04	I	-13,8	5004,2	---	24,3	1413
	II	-11,7	5003,3	---	26,8	1489
05	I	-18,6	9999,3	701,7	32,4	2086
	II	-19,6	10000,0	297,9	31,0	2063
06	I	-18,8	10003,0	---	26,3	1990
	II	-19,3	10000,1	---	23,6	1945

O comportamento da temperatura do termopar localizado no ar de retorno ao evaporador, de acordo com a carga térmica artificial introduzida, é apresentado nas Figuras 5.35 (dia) e 5.36 (noite), enquanto são apresentados tais comportamento, em função do período do dia, nas Figuras 5.37 (Q_{RES} = 5000 kJ) e 5.38 (Q_{RES} = 10000 kJ).

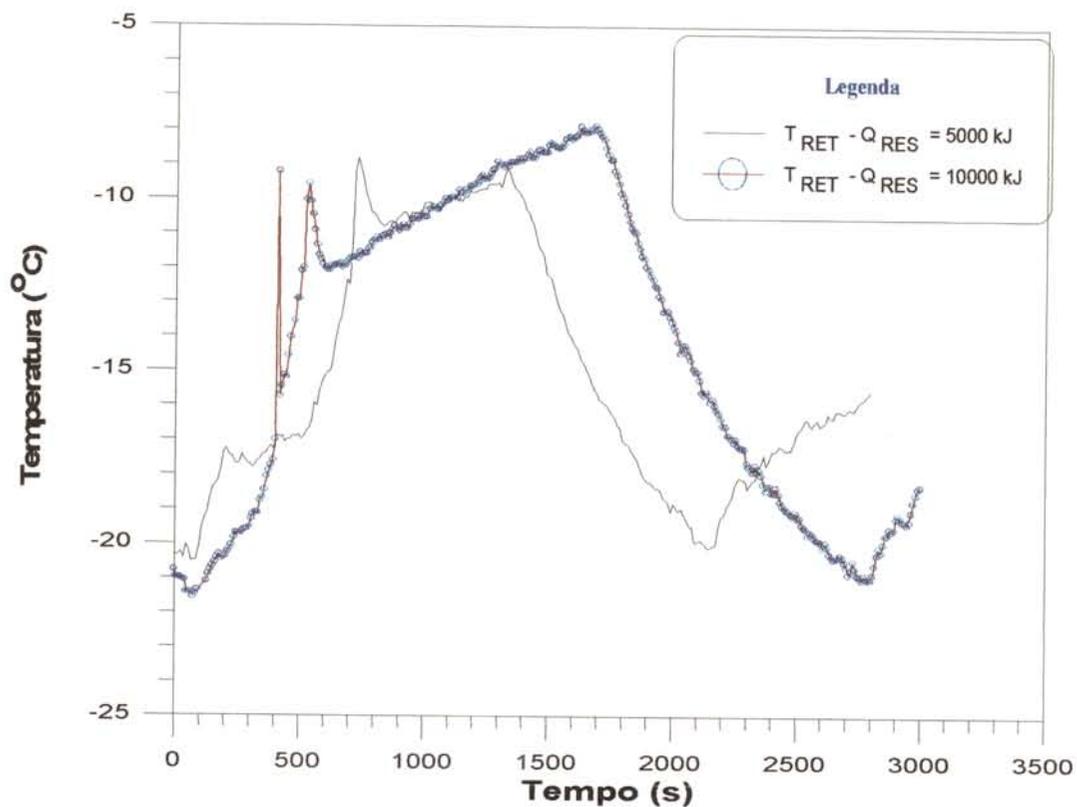


Figura 5.35 - Comportamento da temperatura do ar de retorno ao evaporador para os ensaios realizados durante o dia - 03 ($Q_{RES} = 5000$ kJ) e 05 ($Q_{RES} = 10000$ kJ).

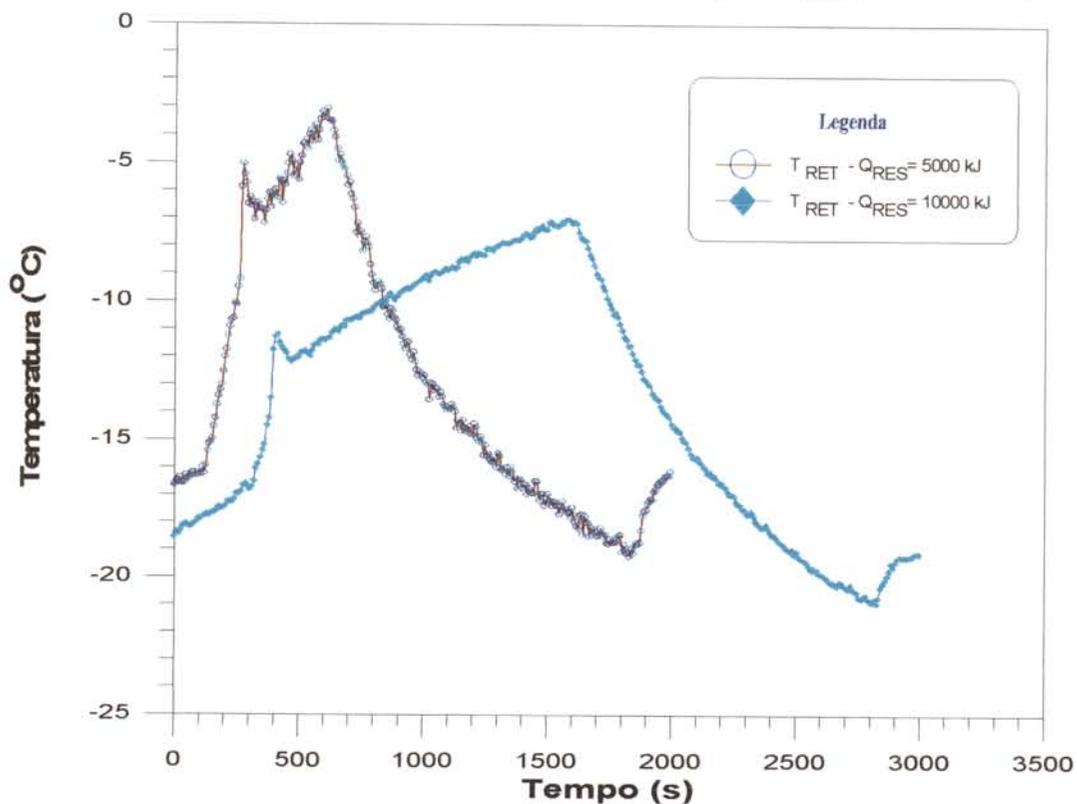


Figura 5.36 - Comportamento da temperatura do ar de retorno ao evaporador para os ensaios realizados durante a noite - 04 ($Q_{RES} = 5000$ kJ) e 06 ($Q_{RES} = 10000$ kJ).

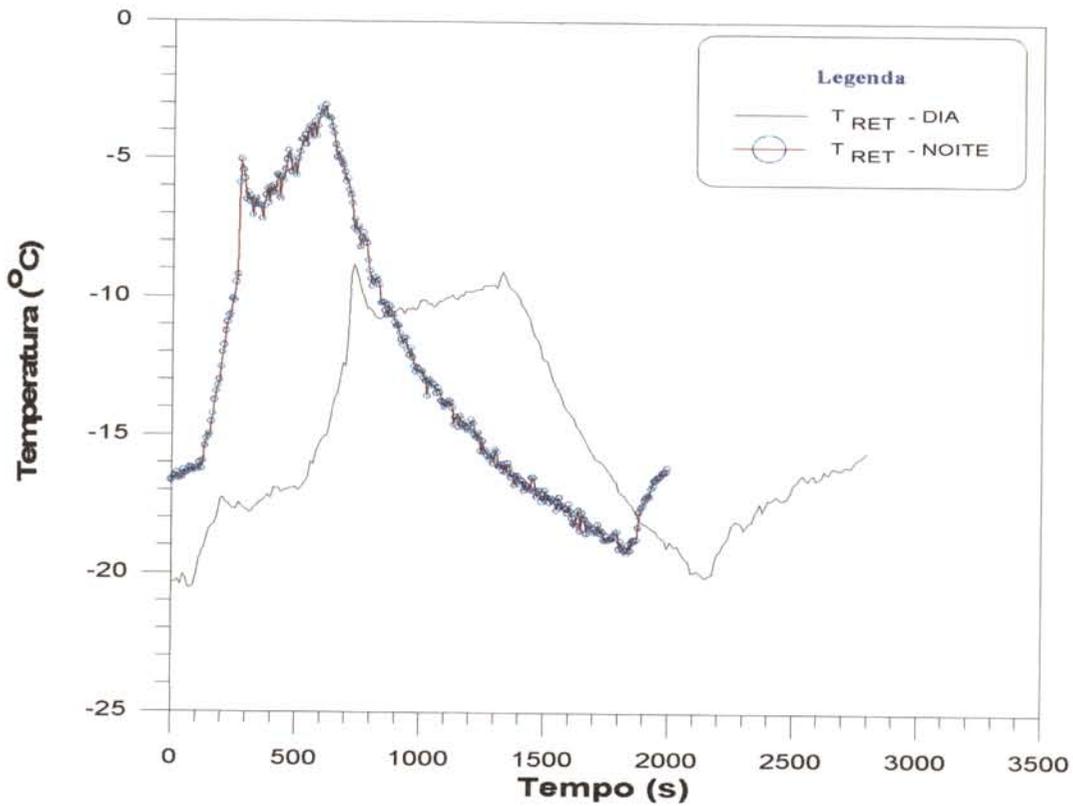


Figura 5.37 - Comportamento da temperatura do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios com introdução de $Q_{RES} = 5000$ kJ : 03 (dia) e 04 (noite).

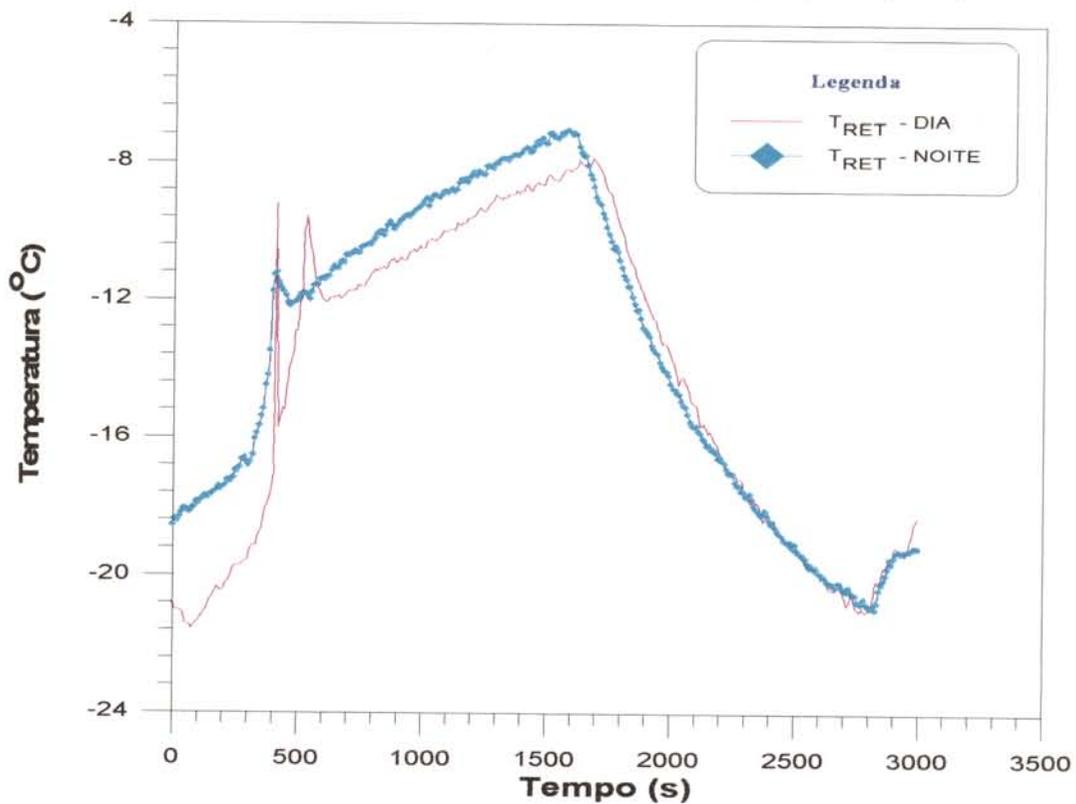


Figura 5.38 - Comportamento da temperatura do ar de retorno ao evaporador durante os ensaios com introdução de $Q_{RES} = 10000$ kJ : 05 (dia) e 06 (noite).

A partir das Figuras 5.37 e 5.38, pode-se observar que a temperatura do ar de retorno atingida no ensaio 04 ($Q_{RES} = 5000$ kJ durante a noite) foi de até -3 °C, maior do que as atingidas no ensaio 03 ($Q_{RES} = 5000$ kJ durante o dia), de até -10 °C, no ensaio 05 ($Q_{RES} = 10000$ kJ durante o dia), de -8 °C e no ensaio 06 ($Q_{RES} = 5000$ kJ durante a noite), de -7 °C. Visto que a carroceria nestas condições de ensaio permanece fechada, tal comportamento pode ser explicado pelas diferenças nos valores da temperatura do ar de retorno ao evaporador no momento da perturbação, já que para o ensaio 04, T_{RET} é de $-11,7$ °C, enquanto que para os ensaios 03, 05 e 06, os valores para T_{RET} são de $-17,7$ °C, $-18,6$ e $-18,3$ °C, respectivamente. Assim a carroceria, no ensaio 4, está em uma situação desfavorável para o recebimento de calor, uma vez que a temperatura do ar de retorno encontrava-se em um valor distante do desejado (-18 °C).

Os valores medidos do tempo entre o início da perturbação e o momento em que o sistema entrou em operação novamente ($t_{REL\ SIST}$) são apresentados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios sem abertura de portas, com introdução de carga térmica.

Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)		Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)
03	I	239		05	I	295
	II	260			II	130
04	I	220		06	I	184
	I	241			I	215

5.5 - ENSAIOS COM ABERTURA DE PORTA E INTRODUÇÃO DE CARGA TÉRMICA ARTIFICIAL

Nessa etapa, para cada uma das portas da carroceira foram feitos ensaios com tempos de abertura de 5, 10 e 15 minutos, com a introdução de carga térmica artificial de 5000 kJ e 10000 kJ.

5.5.1 - Porta 1

Os resultados encontrados para os ensaios com abertura de portas e introdução de carga térmica feitos para a porta 1 são apresentados na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 1 e introdução de carga térmica artificial.

Ensaio	Repetição	t_{ab} (s)	t_{RET} (°C)	Q_{RES} (kJ)	Rad (W/m²)	T_{EXT} (°C)	t_{SET} (s)
09	I	300	-16,6	5001,6	573,4	27,6	1989
	II	300	-17,8	4998,6	625,0	25,1	1810
010	I	300	-20,2	5000,0	---	28,1	1765
	II	300	-17,5	5002,3	---	26,3	1864
011	I	300	-19,1	10005,8	416,1	25,6	2443
	II	300	-18,0	10001,7	650,0	29,8	2496
012	I	300	-14,2	10000,9	---	24,6	2331
	II	300	-16,8	10001,3	---	21,8	2195
015	I	600	-18,3	5000,0	350,8	21,9	2096
	II	600	-16,3	5001,1	510,0	25,6	2254
016	I	600	-13,8	5002,4	---	24,2	2062
	II	600	-19,5	4999,8	---	26,1	2110
017	I	600	-16,7	10000,2	525,0	29,7	2560
	II	600	-17,5	9998,5	351,4	28,7	2531
018	I	600	-15,7	10000,9	---	24,5	2424
	II	600	-16,5	10003,2	---	23,1	2386
021	I	900	-13,6	5001,5	701,5	28,6	2483
	II	900	-18,9	5003,5	873,0	28,9	2426
022	I	900	-14,3	5002,5	---	25,3	2440
	II	900	-18,5	5000,3	---	26,0	2303
023	I	900	-17,1	10002,6	632,5	27,4	2912
	II	900	-16,5	10004,5	718,9	29,6	2985
024	I	900	-18,3	9998,9	---	24,5	2789
	II	900	-19,5	10000,1	---	25,1	2764

O comportamento das temperaturas da região próxima à porta 1 e do ar de retorno ao evaporador, de acordo com o período do dia, durante os ensaios 09 (dia) e 10 (noite), com tempo de abertura da porta 1 de 300 segundos e introdução de carga térmica de 5000 kJ, é apresentado na Figura 3.39, enquanto que na Figura 5.40 são apresentados os comportamentos das temperaturas da região próxima à porta 1 e do ar de retorno, de acordo com o tempo de abertura da porta, dos ensaios 11 ($t_{AB} = 300$ s), 17 ($t_{AB} = 600$ s) e 23 ($t_{AB} = 900$ s), realizados durante o dia com $Q_{RES} = 10000$ kJ. Na Figura 5.41, são apresentados tais comportamentos, de acordo com a carga térmica artificial introduzida, para os ensaios 15 ($Q_{RES} = 5000$ kJ) e 17 ($Q_{RES} = 10000$ kJ), feitos durante o dia com $t_{AB} = 600$ s.

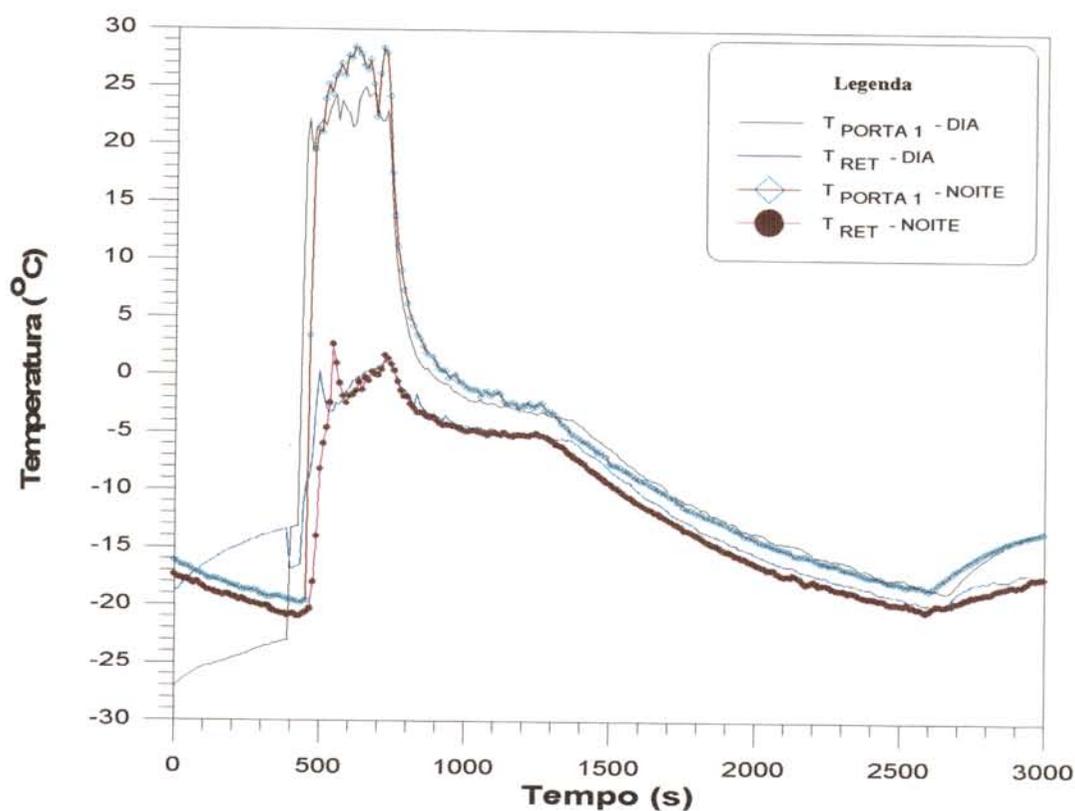


Figura 5.39 - Temperatura do ar de retorno ao evaporador e da região próxima à porta 1 durante os ensaios 09 (dia) e 10 (noite), com $t_{AB} = 300$ s e $Q_{RES} = 5000$ kJ.

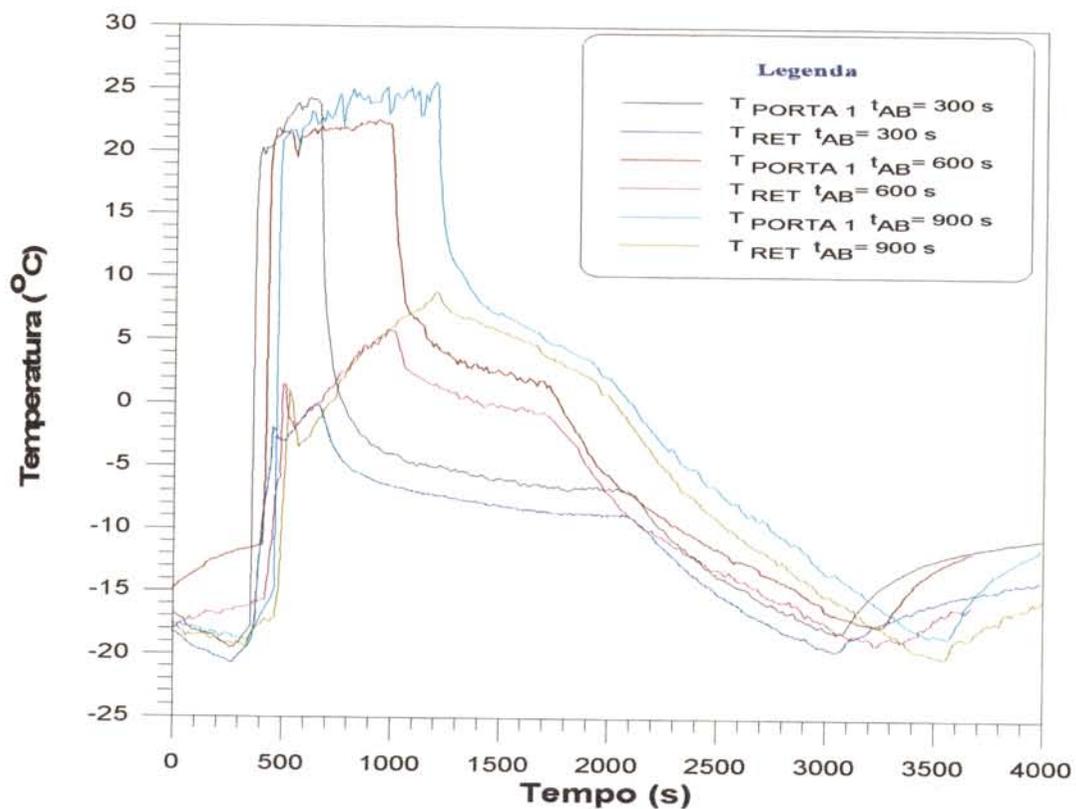


Figura 5.40 - Temperatura do ar de retorno e da região próxima à porta 1 dos ensaios 11 ($t_{AB} = 300$ s), 17 ($t_{AB} = 600$ s) e 23 ($t_{AB} = 900$ s), durante o dia e com $Q_{RES} = 10000$ kJ.

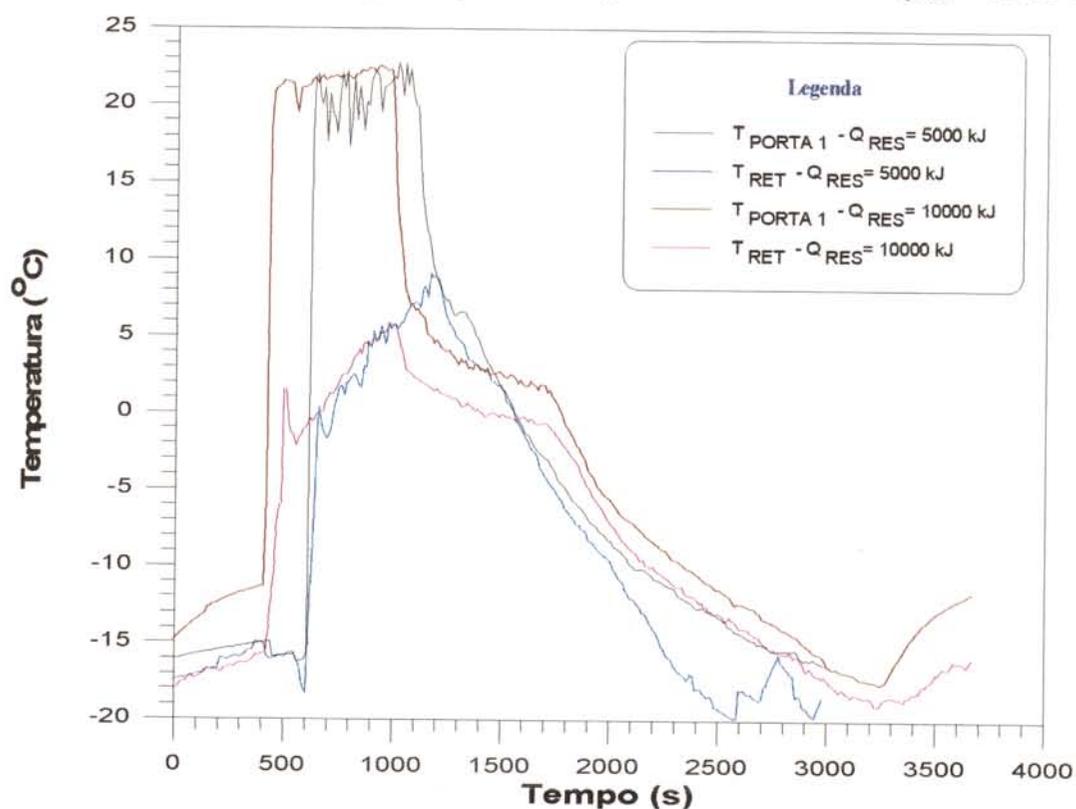


Figura 5.41 - Temperatura do ar de retorno e da região próxima à porta 1 dos ensaios 15 ($Q_{RES} = 5000$ kJ) e 17 ($Q_{RES} = 10000$ kJ), durante o dia e com $t_{AB} = 600$ s.

A partir dos comportamentos apresentados nas Figuras 5.39, 5.40 e 5.41, as temperaturas do termopar localizado na região próxima à porta 1 atingem valores próximos a temperatura ambiente, com a temperatura do ar de retorno ao evaporador atingindo valores de cerca de 10 °C, superiores aos verificados nos ensaios realizados com abertura da porta, sem introdução de carga térmica artificial.

Os valores para $t_{REL\ SIST}$ nestes ensaios são apresentados na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 1 e introdução de carga térmica artificial variável.

Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)		Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)
09	I	66		017	I	57
	II	60			II	64
010	I	71		018	I	57
	II	53			II	89
011	I	99		021	I	13
	II	63			II	75
012	I	52		022	I	29
	II	77			II	88
015	I	41		023	I	73
	II	85			II	98
016	I	42		024	I	78
	II	74			II	83

5.4.2 - Porta 2

Os resultados encontrados para os ensaios com abertura de portas sem introdução de carga térmica feitos para a porta 2 são apresentados na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 2 e introdução de carga térmica artificial variável.

Ensaio	Repetição	t_{ab} (s)	T_{RET} (°C)	Q_{RES} (kJ)	Rad (W/m²)	T_{EXT} (°C)	t_{SET} (s)
027	I	300	-18,8	5004,5	886,0	32,3	1656
	II	300	-19,1	4999,8	358,3	29,9	1683
028	I	300	-19,1	5000,2	---	25,9	1557
	II	300	-18,4	5000,0	---	27,3	1592
029	I	300	-17,4	10005,3	479,2	30,5	2274
	II	300	-13,8	10005,7	997,2	30,4	2417
030	I	300	-19,2	10000,1	---	26,2	2219
	II	300	-17,3	10003,0	---	25,4	2301
033	I	600	-17,0	5003,5	493,4	27,3	1967
	II	600	-17,9	5004,5	328,3	26,4	1912
034	I	600	-15,6	5006,1	---	22,9	1903
	II	600	-19,3	4999,8	---	26,3	1791
035	I	600	-16,0	10000,0	521,4	30,5	2451
	II	600	-13,9	10005,7	997,2	30,4	2517
036	I	600	-17,8	10003,5	---	26,1	2377
	II	600	-18,5	10001,2	---	25,3	2278
039	I	900	-19,8	5004,6	860,2	26,3	2294
	II	900	-18,4	5004,5	1077,6	31,8	2380
040	I	900	-17,5	5004,8	---	23,8	2353
	II	900	-18,3	5000,3	---	24,3	2251
041	I	900	-14,7	10000,7	402,1	31,0	2923
	II	900	-17,8	10004,3	391,4	27,5	2734
042	I	900	-13,2	10004,3	---	25,9	2898
	II	900	-17,9	10001,2	---	22,9	2776

O comportamento das temperaturas da região próxima à porta 2 e do ar de retorno, de acordo com o período do dia, para os ensaios 41 (dia) e 42 (noite), com tempo de abertura da porta de 900 segundos e introdução de carga térmica de 10000 kJ, é apresentado na Figura 5.42, enquanto que na Figura 5.43 são apresentados os comportamentos das temperaturas da região próxima à porta 2 e do ar de retorno, de acordo com o tempo de abertura da porta, dos ensaios 29 ($t_{AB} = 300$ s), 35 ($t_{AB} = 600$ s) e 41 ($t_{AB} = 900$ s), realizados durante o dia com $Q_{RES} = 10000$ kJ. Na Figura 5.44 são apresentados tais comportamentos, de acordo com a carga térmica artificial introduzida, para os ensaios 33 ($Q_{RES} = 5000$ kJ) e 35 ($Q_{RES} = 10000$ kJ), feitos durante o dia com tempo de abertura de 600 s.

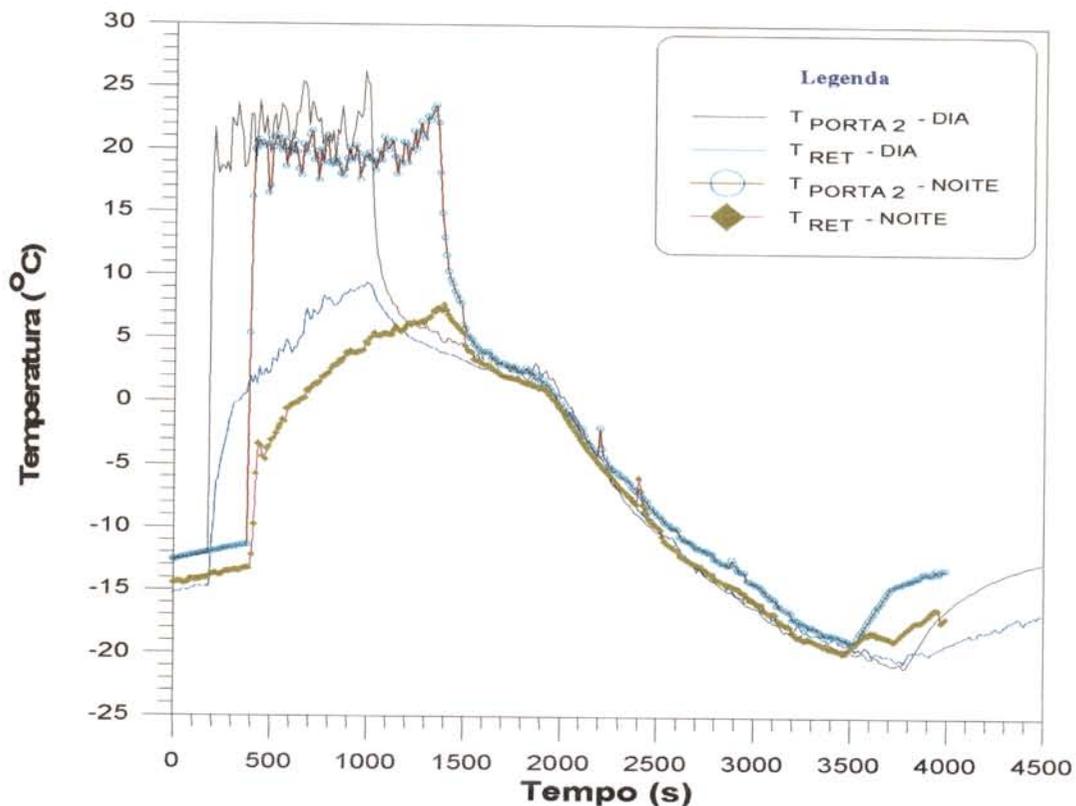


Figura 5.42 - Temperatura do ar de retorno ao evaporador e da região próxima à porta 2 durante os ensaios 41 (dia) e 42 (noite), com $t_{AB} = 900$ s e $Q_{RES} = 10000$ kJ.

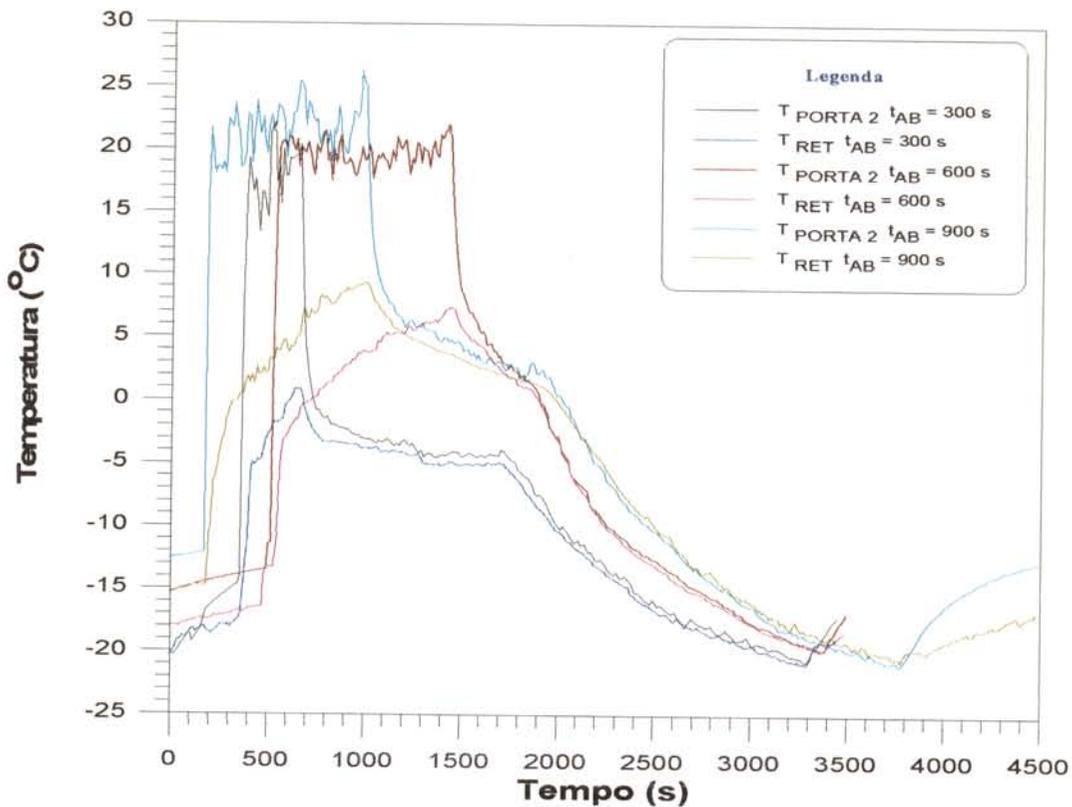


Figura 5.43 - Temperaturas do ar de retorno e da região próxima à porta 2, para os ensaios 29($t_{AB} = 300\ s$), 35($t_{AB} = 600\ s$) e 41($t_{AB} = 900\ s$), durante o dia com $Q_{RES} = 10000\ kJ$.

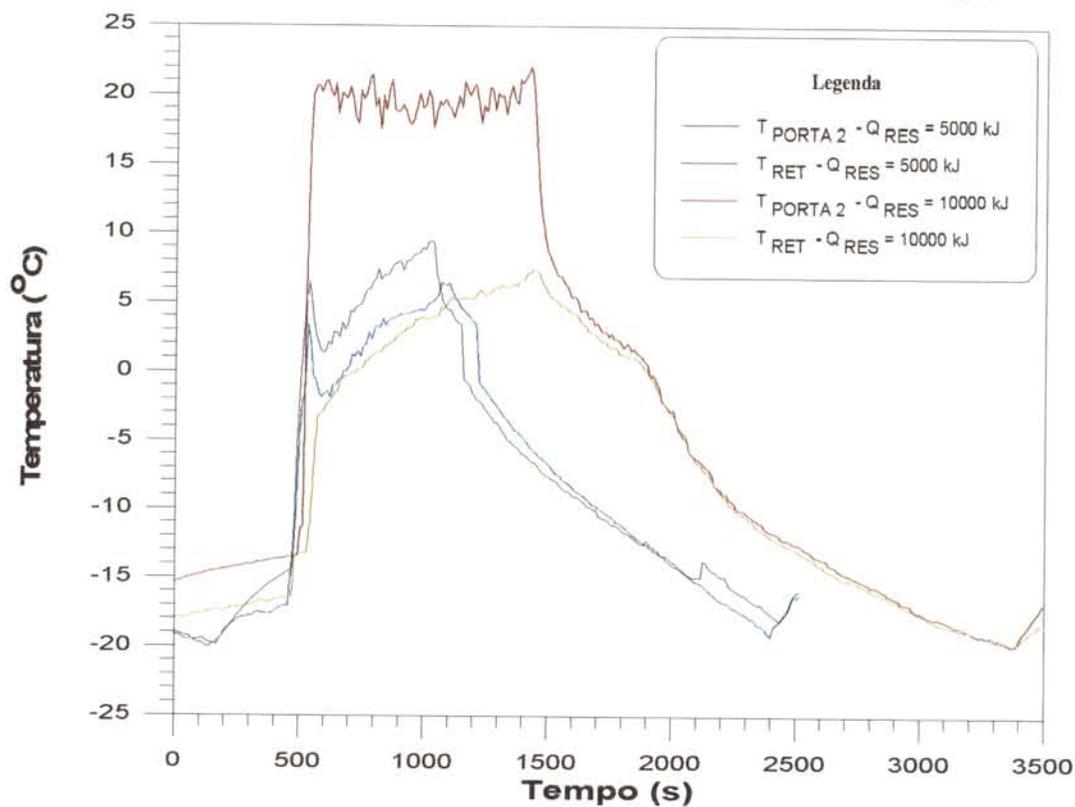


Figura 5.44 - Temperatura do ar de retorno e da região próxima à porta 1 dos ensaios 33 ($Q_{RES} = 5000\ kJ$) e 35 ($Q_{RES} = 10000\ kJ$), durante o dia e com $t_{AB} = 600\ s$.

Pelas Figuras 5.42, 5.43 e 5.44, pode-se verificar que a temperatura do ar de retorno atinge valores de até 10 °C, superiores às encontradas nos ensaios com abertura da porta 2 sem introdução de carga térmica artificial variável.

Os valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ são apresentados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 2 e introdução de carga térmica artificial variável.

Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)		Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)
027	I	57		035	I	43
	II	62		035	II	40
028	I	80		036	I	41
	II	64		036	II	52
029	I	53		039	I	66
	II	38		039	II	78
030	I	73		040	I	69
	II	61		040	II	97
033	I	69		041	I	21
	II	78		041	II	81
034	I	59		042	I	43
	II	91		042	II	58

5.4.3 - Porta 3

Os resultados encontrados para os ensaios com abertura de portas e introdução de carga térmica variável feitos para a porta 3 são mostrados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 3, e introdução de carga térmica artificial variável.

Ensaio	Repetição	t_{ab} (s)	T_{RET} (°C)	Q_{RES} (kJ)	Rad (W/m²)	T_{EXT} (°C)	t_{SET} (s)
045	I	300	-17,2	5005,6	789,9	31,3	2294
	II	300	-18,3	5001,2	611,2	29,5	2031
046	I	300	-19,0	5003,1	---	25,1	1947
	II	300	-17,5	5000,8	---	23,4	2003
047	I	300	-20,0	10003,4	574,3	29,4	2710
	II	300	-17,3	10001,8	612,8	27,3	2743
048	I	300	-17,7	10001,2	---	20,7	2592
	II	300	-17,7	10003,5	---	25,5	2499
051	I	600	-19,2	5005,3	403,4	24,3	2355
	II	600	-17,8	5001,8	851,2	28,7	2465
052	I	600	-16,3	5001,3	---	21,2	2218
	II	600	-18,8	5003,8	---	24,8	2018
053	I	600	-19,9	10004,8	790,1	28,4	3080
	II	600	-18,8	10001,3	531,8	29,1	3094
054	I	600	-17,2	10004,4	---	21,2	2732
	II	600	-18,4	10000,8	---	23,8	2701
057	I	900	-19,7	5004,5	111,8	25,6	2670
	II	900	-19,4	5000,1	149,6	28,3	2684
058	I	900	-17,7	5000,1	---	20,7	2420
	II	900	-18,8	4999,8	---	23,6	2387
059	I	900	-15,7	10003,9	378,6	29,9	3294
	II	900	-17,9	10004,7	841,2	28,7	3141
060	I	900	-15,8	10004,7	---	20,7	3229
	II	900	-18,5	10000,8	---	23,8	3098

O comportamento das temperaturas da região próxima à porta 3 e do ar de retorno, de acordo com o período do dia, durante os ensaios 51 (dia) e 52 (noite), com tempo de abertura da porta de 600 segundos e introdução de carga térmica de 5000 kJ, é apresentado na Figura 5.45, enquanto que na Figura 5.46 são apresentados os comportamentos das temperaturas da região próxima à porta 3 e do ar de retorno ao evaporador, em função do tempo de abertura da porta, dos ensaios 45 ($t_{AB} = 300$ s), 51 ($t_{AB} = 600$ s) e 57 ($t_{AB} = 900$ s), realizados durante o dia com $Q_{RES} = 5000$ kJ, e na Figura 5.44 são apresentados tais comportamentos, de acordo com a carga térmica artificial introduzida, para os ensaios 45 ($Q_{RES} = 5000$ kJ) e 47 ($Q_{RES} = 10000$ kJ), feitos durante o dia com tempo de abertura da porta 3 de 600 s.

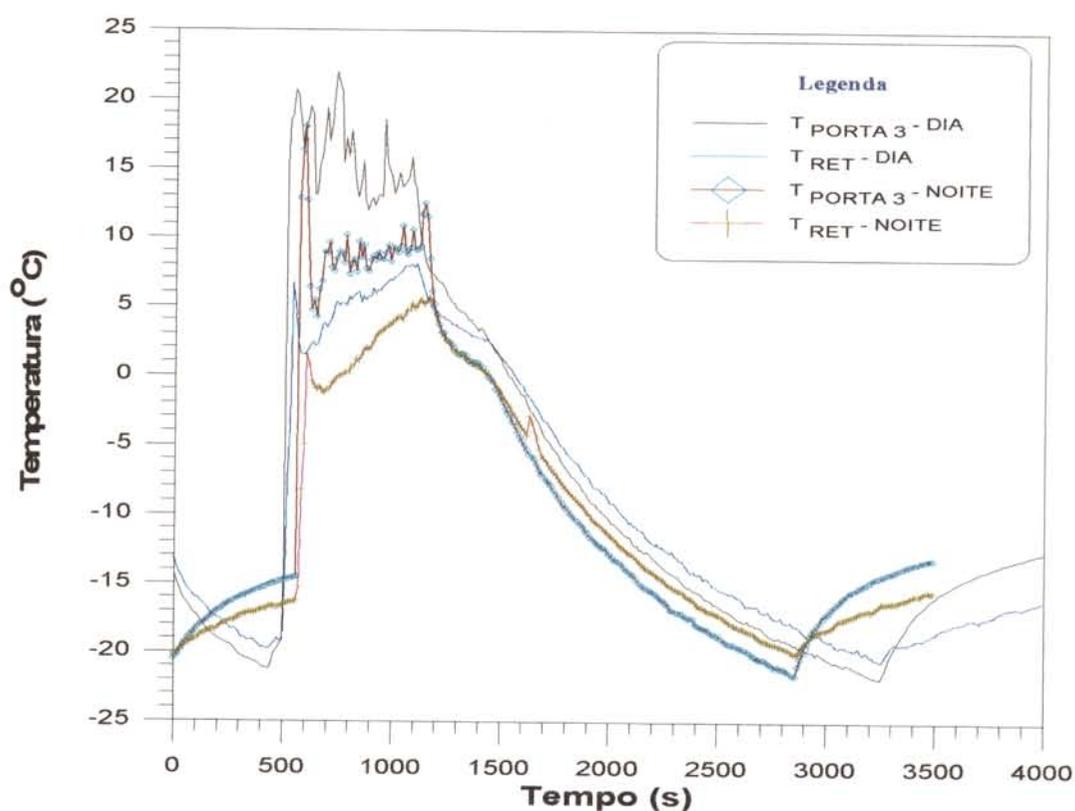


Figura 5.45 - Temperatura do ar de retorno ao evaporador e da região próxima à porta 3 durante os ensaios 51 (dia) e 52 (noite), com $t_{AB} = 600$ s e $Q_{RES} = 5000$ kJ.

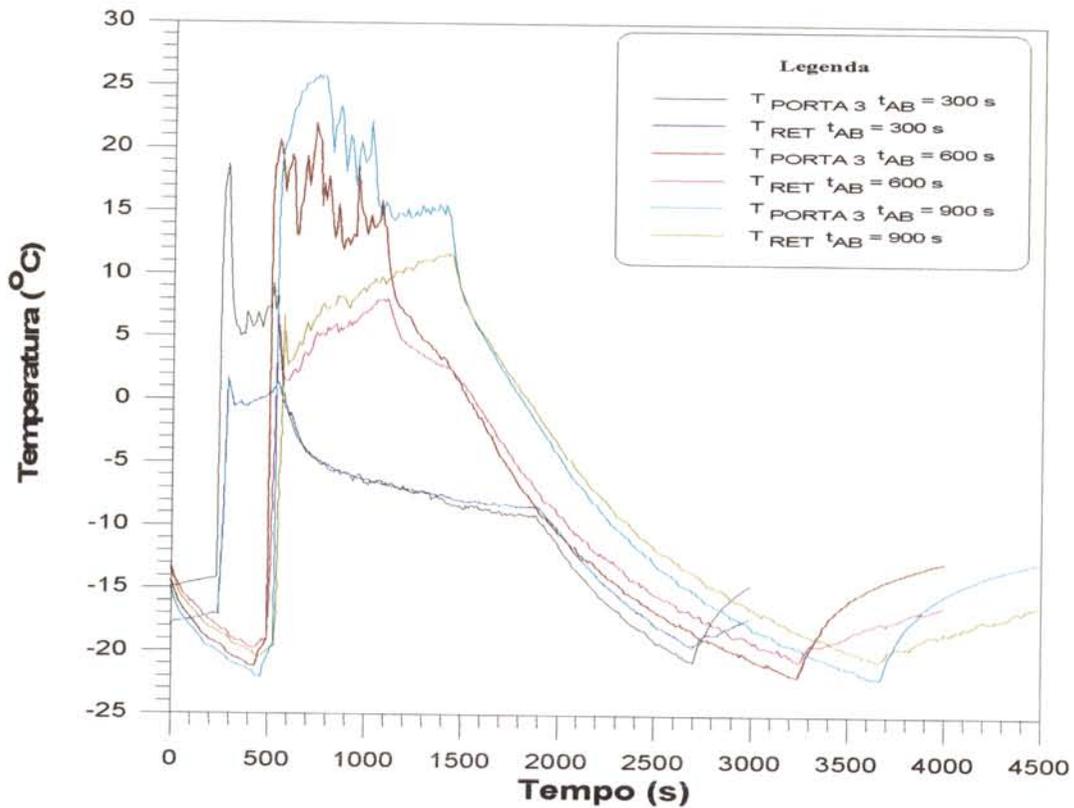


Figura 5.46 - Temperatura do ar de retorno e da região próxima à porta 2 dos ensaios 45 ($t_{\text{AB}}=300 \text{ s}$), 51 ($t_{\text{AB}}=600 \text{ s}$) e 57 ($t_{\text{AB}} = 900 \text{ s}$), durante o dia e com $Q_{\text{RES}} = 5000 \text{ kJ}$.

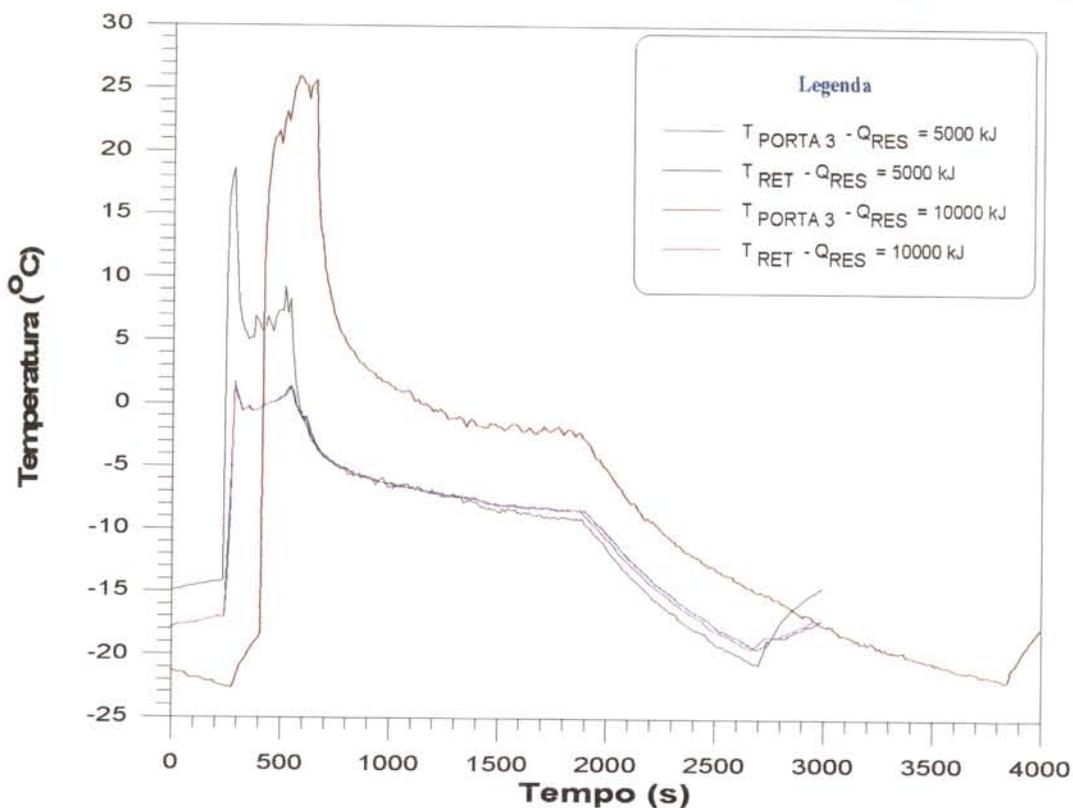


Figura 5.47 - Temperatura do ar de retorno e da região próxima à porta 1 dos ensaios 45 ($Q_{\text{RES}} = 5000 \text{ kJ}$) e 47 ($Q_{\text{RES}} = 10000 \text{ kJ}$), durante o dia e com $t_{\text{AB}} = 300 \text{ s}$.

Pelas Figuras 5.45, 5.46 e 5.47 observa-se que a temperatura do ar de retorno ao evaporador atinge valores semelhantes, e até menores, com os verificados nos ensaios com abertura da porta 3 sem introdução de carga térmica artificial variável, mostrando a importância exercida pela temperatura ambiente nesse caso.

Os valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ são apresentados na Tabela 5.18.

Tabela 5.18 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 3 e introdução de carga térmica artificial variável.

Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)		Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)
045	I	46		053	I	43
	II	63			II	50
046	I	42		054	I	48
	II	55			II	72
047	I	41		057	I	38
	II	43			II	29
048	I	32		058	I	40
	II	54			II	78
051	I	42		059	I	22
	II	71			II	64
052	I	46		060	I	42
	II	66			II	79

5.4.4 - Porta 4

Os resultados encontrados para os ensaios com abertura de portas e introdução de carga térmica artificial feitos para a porta 4 são apresentados na Tabela 5.19.

Tabela 5.19 - Ensaios efetuados com diferentes tempos de abertura da porta 4 e introdução de carga térmica artificial variável.

Ensaio	Repetição	t_{ab} (s)	T_{RET} (°C)	Q_{RES} (kJ)	Rad (W/m²)	T_{EXT} (°C)	t_{SET} (s)
063	I	300	-18,4	5001,7	448,6	30,9	1598
	II	300	-19,9	5003,2	641,2	32,1	1619
064	I	300	-18,2	5000,1	---	22,9	1534
	II	300	-18,2	5000,7	---	26,2	1540
065	I	300	-17,7	10003,4	842,5	30,8	2332
	II	300	-19,2	10005,0	707,7	31,9	2206
066	I	300	-15,9	10005,8	---	27,8	2302
	II	300	-13,9	10003,5	---	22,4	2220
069	I	600	-17,9	504,3	953,8	31,4	1689
	II	600	-18,3	5002,3	741,2	24,8	1494
070	I	600	-13,4	5004,8	---	23,9	1674
	II	600	-18,9	5001,8	---	26,6	1584
071	I	600	-16,3	10006,4	642,7	32,7	2390
	II	600	-20,5	10004,0	801,7	32,7	2204
072	I	600	-16,6	10001,1	---	27,1	2259
	II	600	-18,4	10000,7	---	22,5	2198
075	I	900	-18,6	5002,5	612,0	28,9	1930
	II	900	-17,9	5004,3	787,6	25,3	2008
076	I	900	-13,9	5004,3	---	29,3	1881
	II	900	-17,9	4998,1	---	22,4	1730
077	I	900	-18,5	10003,0	303,2	29,4	2597
	II	900	-14,4	10004,8	305,9	26,1	2684
078	I	900	-16,2	10005,4	---	25,8	2637
	II	900	-18,4	10001,8	---	22,1	2514

O histórico das temperaturas da região próxima à porta 4 e do ar de retorno, de acordo com o período do dia, durante os ensaios 69 (dia) e 70 (noite), com tempo de abertura da porta de 600 segundos e introdução de carga térmica de 5000 kJ, é apresentado na Figura 5.48, enquanto que na Figura 5.49 são apresentados os comportamentos das temperaturas da região próxima à porta3 e do ar de retorno ao evaporador, de acordo com o tempo de abertura da porta, dos ensaios 63 ($t_{AB} = 300$ s), 69($t_{AB} = 600$ s) e 75($t_{AB} = 900$ s), realizados durante o dia com $Q_{RES} = 5000$ kJ. Na Figura 5.50, são apresentados tais comportamentos, de acordo com a carga térmica artificial introduzida, para os ensaios 69 ($Q_{RES} = 5000$ kJ) e 70 ($Q_{RES} = 10000$ kJ), feitos durante o dia com tempo de abertura da porta 4 de 600 s.

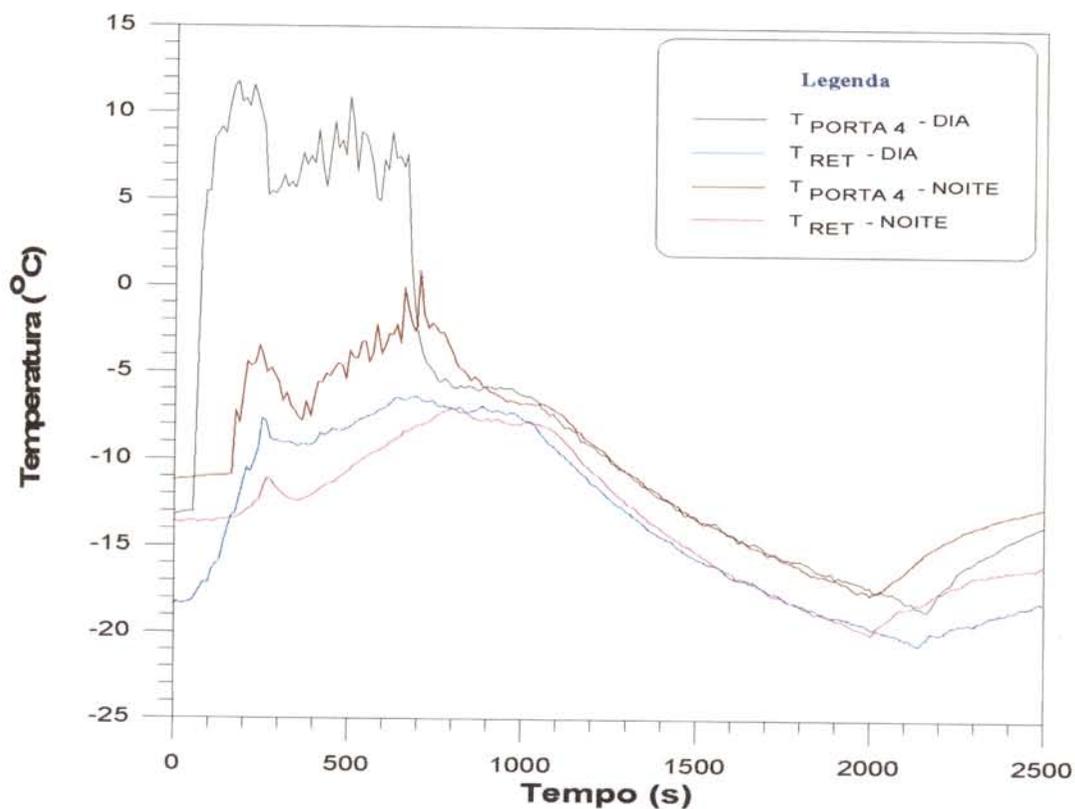


Figura 5.48 - Temperatura do ar de retorno ao evaporador e da região próxima à porta 3 durante os ensaios 69 (dia) e 70 (noite), com $t_{AB} = 600$ s e $Q_{RES} = 5000$ kJ.

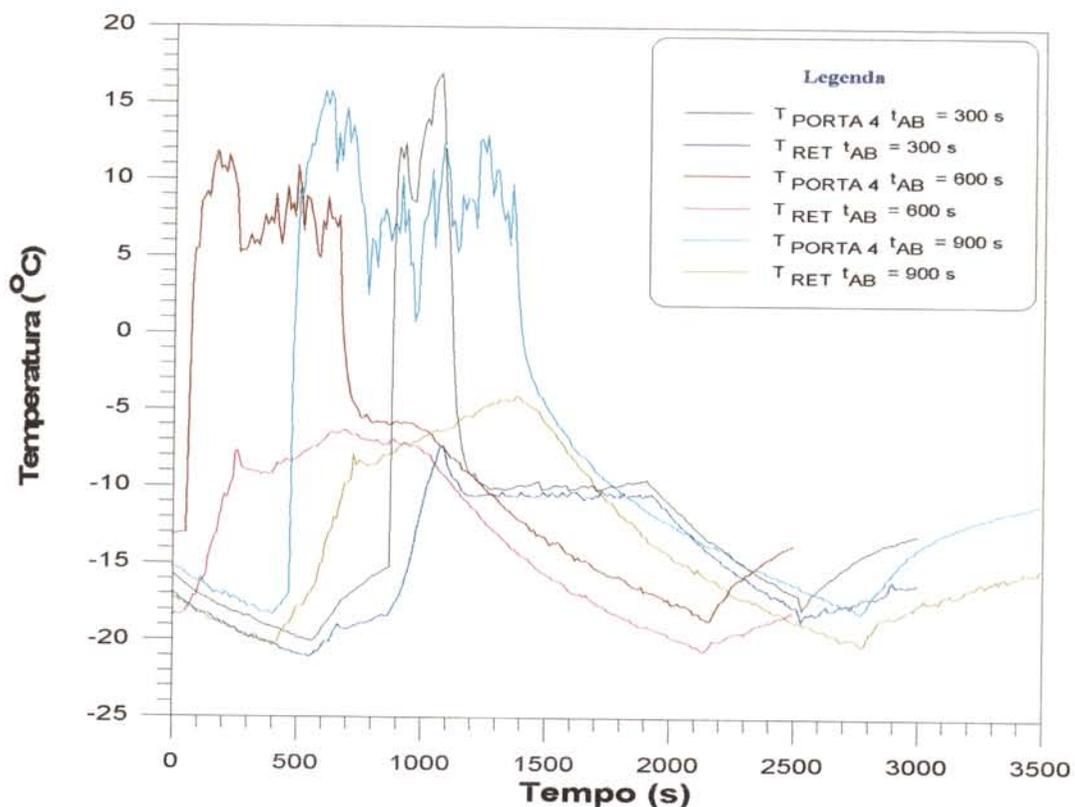


Figura 5.49 - Temperaturas do ar de retorno e da região próxima à porta 2 dos ensaios 63 ($t_{\text{AB}} = 300 \text{ s}$), 69 ($t_{\text{AB}} = 600 \text{ s}$) e 75 ($t_{\text{AB}} = 900 \text{ s}$), durante o dia e com $Q_{\text{RES}} = 5000 \text{ kJ}$.

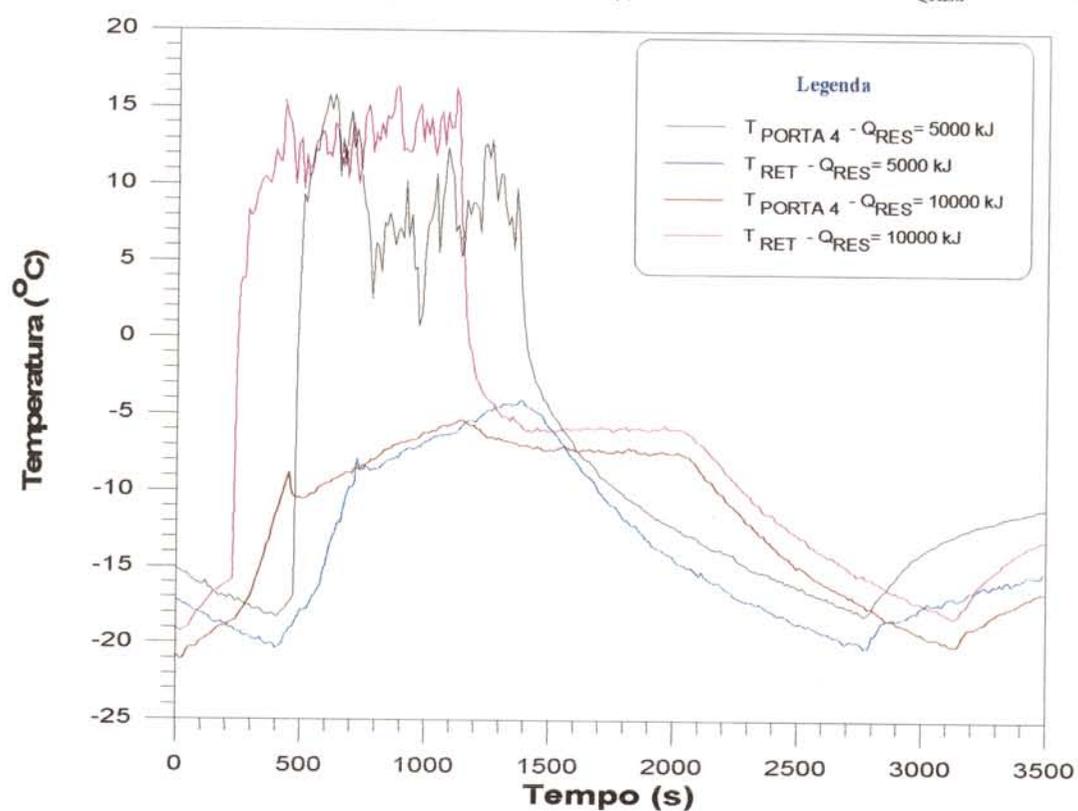


Figura 5.50 - Temperatura do ar de retorno e da região próxima à porta 1 dos ensaios 73 ($Q_{\text{RES}} = 5000 \text{ kJ}$) e 75 ($Q_{\text{RES}} = 10000 \text{ kJ}$), durante o dia e com $t_{\text{AB}} = 900 \text{ s}$.

Tabela 5.20 - Valores medidos de $t_{REL\ SIST}$ para os ensaios com abertura da porta 4 e introdução de carga térmica artificial variável.

Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)		Ensaio	Repetição	$t_{REL\ SIST}$ (s)
063	I	210		071	I	80
	II	221			II	241
064	I	237		072	I	135
	I	248			I	198
065	I	185		075	I	250
	II	202			II	227
066	I	143		076	I	96
	I	106			I	254
069	I	189		077	I	217
	II	203			II	112
070	I	76		078	I	216
	I	235			I	247

5.6 - MODELOS EMPÍRICOS OBTIDOS

A partir dos resultados foram obtidos modelos lineares para prever tempo necessário para que a temperatura do ar de retorno ao evaporador retornasse a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, conforme a perturbação ocorrida.

5.6.1 - Porta 1

A codificação das variáveis utilizadas para a construção do modelo empírico para a porta 1 é apresentada na Tabela 5.21

Tabela 5.20 - Codificação das variáveis do modelo para a porta 1.

Níveis	T _{AMB} (°C)	t _{AB} (s)	Q _{RES} (kJ)	Rad (W/m ²)	T _{RET} (°C)
+1	32,4	900	10005,8	979,6	-11,7
0	26,6	450	5002,9	489,8	-16,0
-1	20,7	0	0	0	-20,2

Para a porta 1, o modelo obtido foi o descrito abaixo com um coeficiente de correlação linear quadrático R² igual a 0,9531 :

$$t_{SET} = 1876,3 + 516,7*t_{AB} + 620,1*Q_{RES} + 45,4*Rad + 33,9*T_{EXT} + 15,0*T_{RET}.$$

Uma comparação entre os valores preditos pelo modelo e os valores observados experimentalmente é apresentada na Figura 5.51.

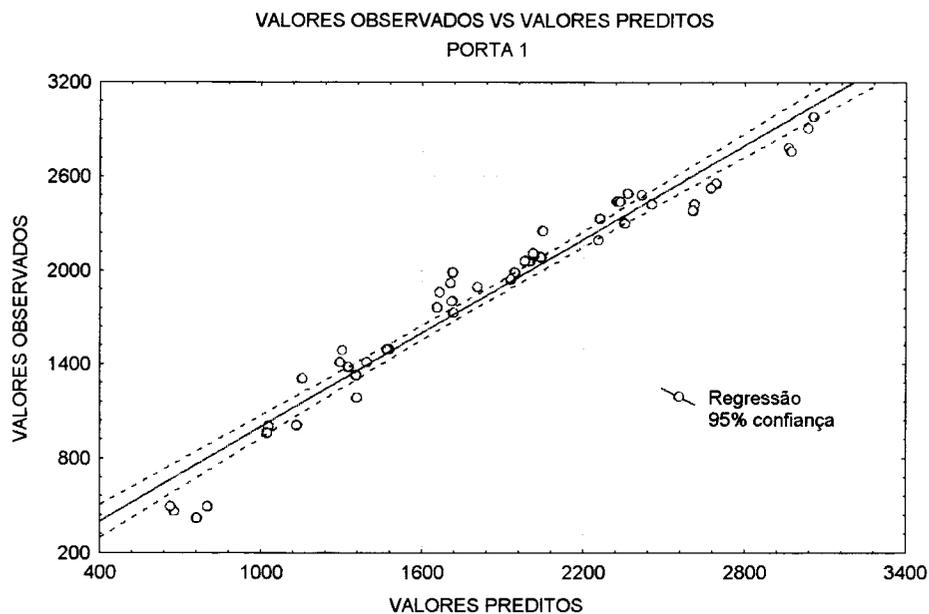


Figura 5.51 - Valores Preditos pelo modelo obtido para a porta 1 em relação aos valores observados experimentalmente.

5.6.2 - Porta 2

A codificação das variáveis utilizadas para a construção do modelo empírico para a porta 2 é apresentada na Tabela 5.22 :

Tabela 5.22- Codificação das variáveis do modelo para a porta 2.

Níveis	T _{AMB} (°C)	t _{AB} (s)	Q _{RES} (kJ)	Rad (W/m ²)	T _{RET} (°C)
+1	32,4	900	10005,7	1077,6	-11,5
0	27,5	450	5002,9	533,8	-15,7
-1	22,6	0	0	0	-19,8

Para a porta 2, o modelo obtido foi o descrito abaixo com um coeficiente de correlação linear quadrático R² igual a 0,9574:

$$t_{SET} = 1809,7 + 502,0 \cdot t_{AB} + 574,8 \cdot Q_{RES} + 43,13 \cdot Rad + 98,4 \cdot T_{EXT} + 34,8 \cdot T_{RET}.$$

Na Figura 5.52 é apresentada uma comparação entre os valores preditos pelo modelo e os valores observados experimentalmente.

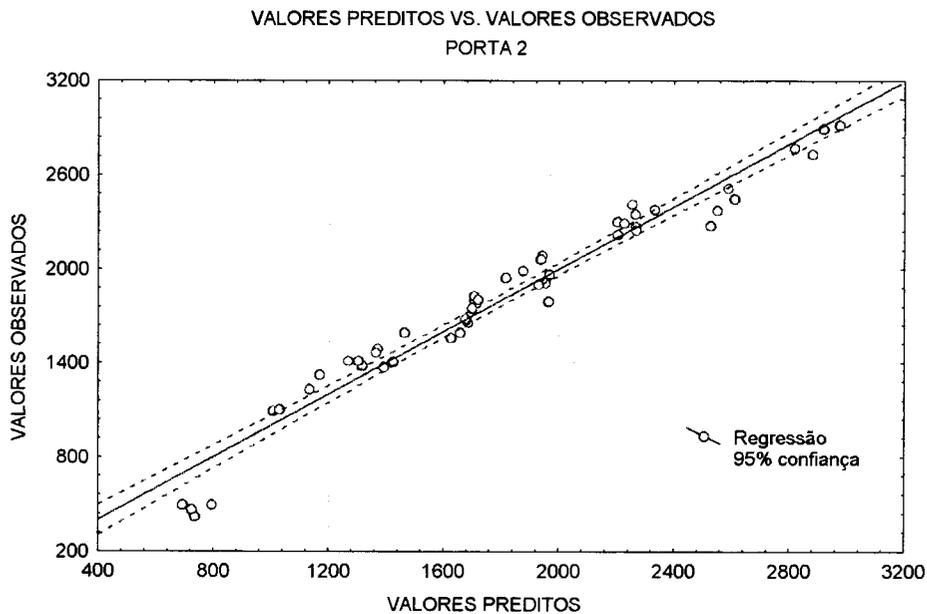


Figura 5.52 - Valores Preditos pelo modelo obtido para a porta 2 em relação aos valores observados experimentalmente.

5.6.3 - Porta 3

A codificação das variáveis utilizadas para a construção do modelo empírico para a porta 3 é apresentada na Tabela 5.23 :

Tabela 5.23 - Codificação das variáveis do modelo para a porta 3.

Níveis	T _{AMB} (°C)	t _{AB} (s)	Q _{RES} (kJ)	Rad (W/m ²)	T _{RET} (°C)
+1	34,6	900	10004,8	961,7	-11,7
0	27,7	450	5002,4	480,9	-15,9
-1	20,7	0	0	0	-20

Para a porta 3, o modelo obtido foi o descrito abaixo com um coeficiente de correlação linear quadrático R² igual a 0,9415:

$$t_{SET} = 2090,1 + 678,8 \cdot t_{AB} + 605,5 \cdot Q_{RES} + 26,9 \cdot Rad + 88,8 \cdot T_{EXT} + 53,1 \cdot T_{RET}.$$

Uma comparação entre os valores preditos pelo modelo e os valores observados experimentalmente é feita na Figura 5.53.

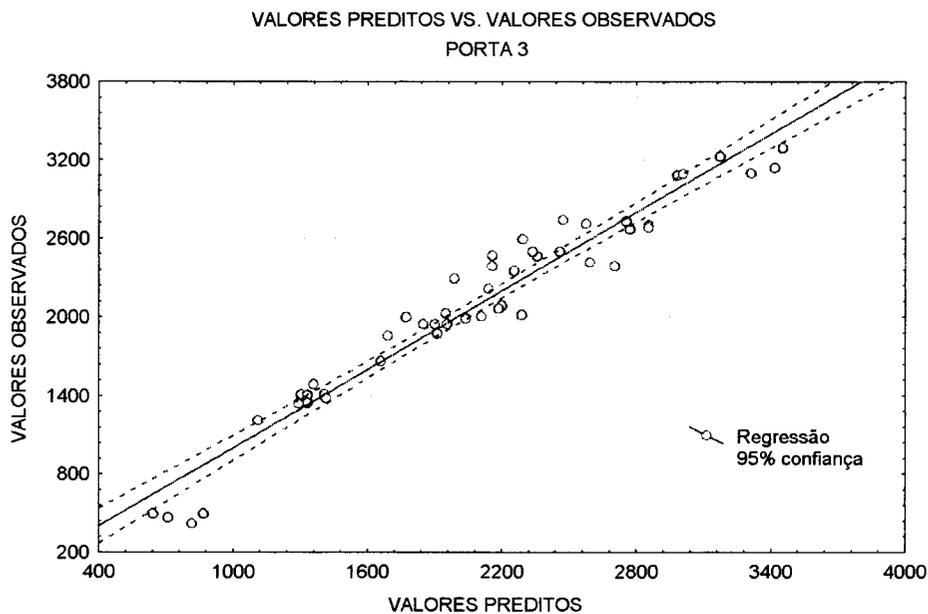


Figura 5.53 - Valores Preditos pelo modelo obtido para a porta 3 em relação aos valores observados experimentalmente.

5.5.4 - Porta 4

A codificação das variáveis utilizadas para a construção do modelo empírico para a porta 3 é apresentada na Tabela 5.24 :

Tabela 5.24 - Codificação das variáveis do modelo para a porta 4.

Níveis	T _{EXT} (°C)	t _{AB} (s)	Q _{RESISTÊNCIAS} (kJ)	Rad (W/m ²)	T _{AR} RETORNO (°C)
+1	32,7	900	10006,4	1013,5	-11,7
0	27,4	450	5003,2	506,8	-16,1
-1	22,1	0	0	0	-20,5

Para a porta 4, o modelo obtido foi o descrito abaixo com um coeficiente de correlação linear quadrático R² igual a 0,9819:

$$t_{SET} = 1593,9 + 276,2 \cdot t_{AB} + 750,8 \cdot Q_{RES} + 10,1 \cdot Rad + 45,1 \cdot T_{EXT} + 77,2 \cdot T_{RET}.$$

Uma comparação entre os valores preditos pelo modelo e os valores observados experimentalmente é apresentada na Figura 5.54.

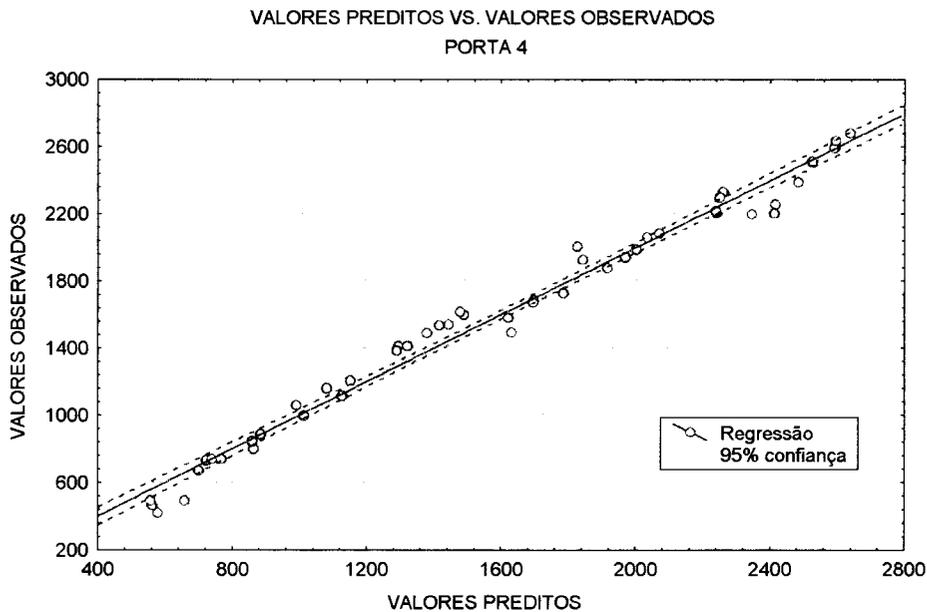


Figura 5.54 - Valores Preditos pelo modelo obtido para a porta 4 em relação aos valores observados experimentalmente.

5.7 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS

Os resultados obtidos para o fator de sensibilidade (FS) das variáveis independentes manipuladas, para cada um dos modelos, com relação ao tempo necessário para que a temperatura do ar de retorno atinja o valor desejado de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, após sofrer uma determinada perturbação (t_{SET}), são mostrados na Figura 5.23 em que as variáveis manipuladas com os valores em destaque possuem valor de FS superior ao das demais variáveis.

Tabela 5.25 - Fatores de sensibilidade encontrados para as variáveis manipuladas com relação a t_{SET} .

	t_{AB}	Q_{RES}	Rad	T_{EXT}	T_{RET}
<i>Porta 1</i>	0,2892	0,3471	0,0254	0,0871	-0,0313
<i>Porta 2</i>	0,2774	0,3176	0,0234	0,3050	-0,0719
<i>Porta 3</i>	0,3248	0,2897	0,0129	0,4389	-0,0962
<i>Porta 4</i>	0,1733	0,4710	0,0064	0,1464	-0,1772

Como os modelos obtidos possuem valores codificados das variáveis independentes nos níveis de -1 a $+1$, foram feitas algumas adaptação no cálculo do fator de sensibilidade :

a) Utilização dos valores relativos ao nível 0 como os valores de referência das variáveis independentes;

b) Perturbação da variável independente manipulada do nível 0 para o nível $+1$.

Os valores encontrados para o fator de sensibilidade dos parâmetros experimentais em cada um dos modelos são apresentados na Figura 5.55.

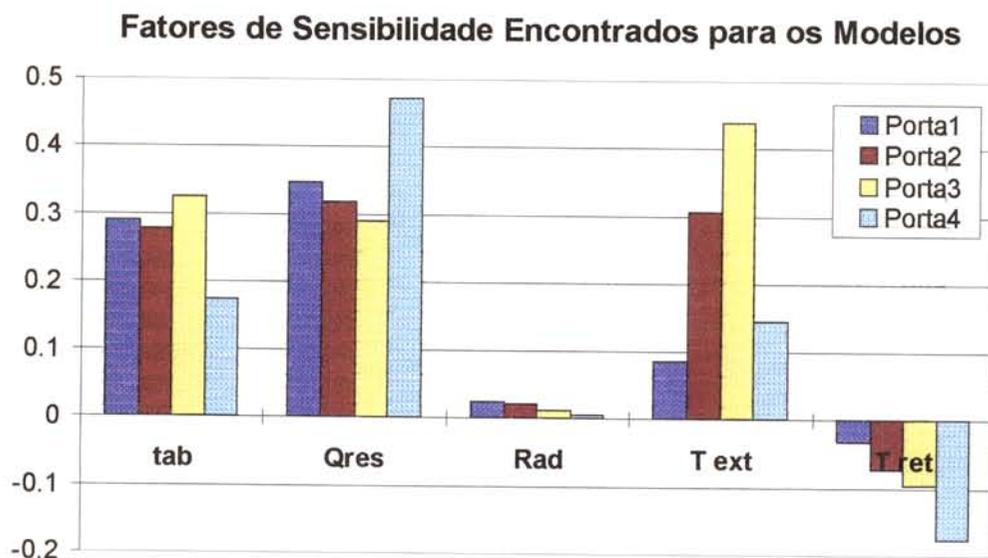


Figura 5.55 - Fatores de sensibilidade dos parâmetros envolvidos nos modelos obtidos para cada uma das portas da carroceria, com relação a t_{SET} .

5.8 - COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS PARA CONTROLE DO SISTEMA FRIGORÍFICO:

Nessa etapa foi feita uma comparação, a partir dos resultados obtidos, entre a temperatura utilizada como controle do sistema, no caso, a temperatura do ar de retorno ao evaporador, e um novo parâmetro de controle proposto, T_{PROP} , que é a média entre as temperaturas do ar de retorno, e das região próxima à cada uma das portas da carroceria, para avaliar quais as diferença que o sistema apresentaria, caso ocorresse essa troca da estratégia de controle.

Os comportamentos das temperaturas do ar de retorno ao evaporador e de T_{PROP} para os diferentes ensaios são mostrados na Figuras 5.56 a 5.64.

Considerando que a banda de controle *on-off* do sensor de temperatura presente no ar de retorno ao evaporador seja de ± 6 °C, a comparação entre as temperaturas foi feita utilizando uma nova variável, denominada de tempo de resposta (t_{RESP}), que representa o tempo necessário para que T_{RET} ou T_{PROP} atinjam valores iguais ou superiores a -12 °C, após a ocorrência de uma determinada perturbação iniciada em um tempo t_0 .

Os resultados encontrados para o tempo de resposta, de acordo com os ensaios estudados são apresentados na Tabela 5.26.

Tabela 5.26 - Resultados encontrados para o tempo de resposta dos ensaios estudados, para a temperatura do ar de retorno ($t_{resp, ret}$) e a temperatura T_{PROP} ($t_{resp, prop}$).

Ensaio	t_0 (s)	$t_{resp, ret}$ (s)	$t_{resp, prop}$ (s)	Ensaio	t_0 (s)	$t_{resp, ret}$ (s)	$t_{resp, prop}$ (s)
03	180	173	117	53	300	15	4
04	420	254	181	54	500	36	13
11	360	41	10	55	570	40	27
12	130	33	24	56	270	41	19
19	240	38	16	67	360	34	11
20	620	67	22	68	360	178	73
31	600	32	11	77	240	155	44
32	180	29	9	78	660	113	90

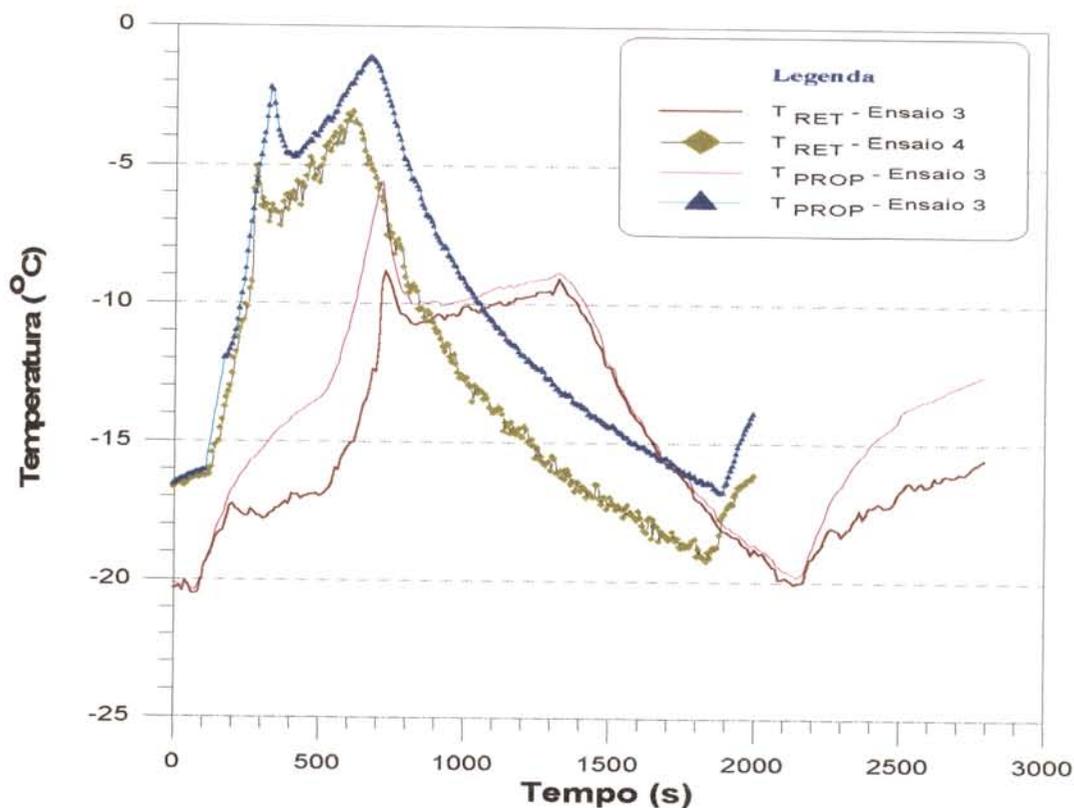


Figura 5.56 - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 3 (dia) e 4 (noite), com $Q_{RES} = 5000$ kJ e sem abertura de portas.

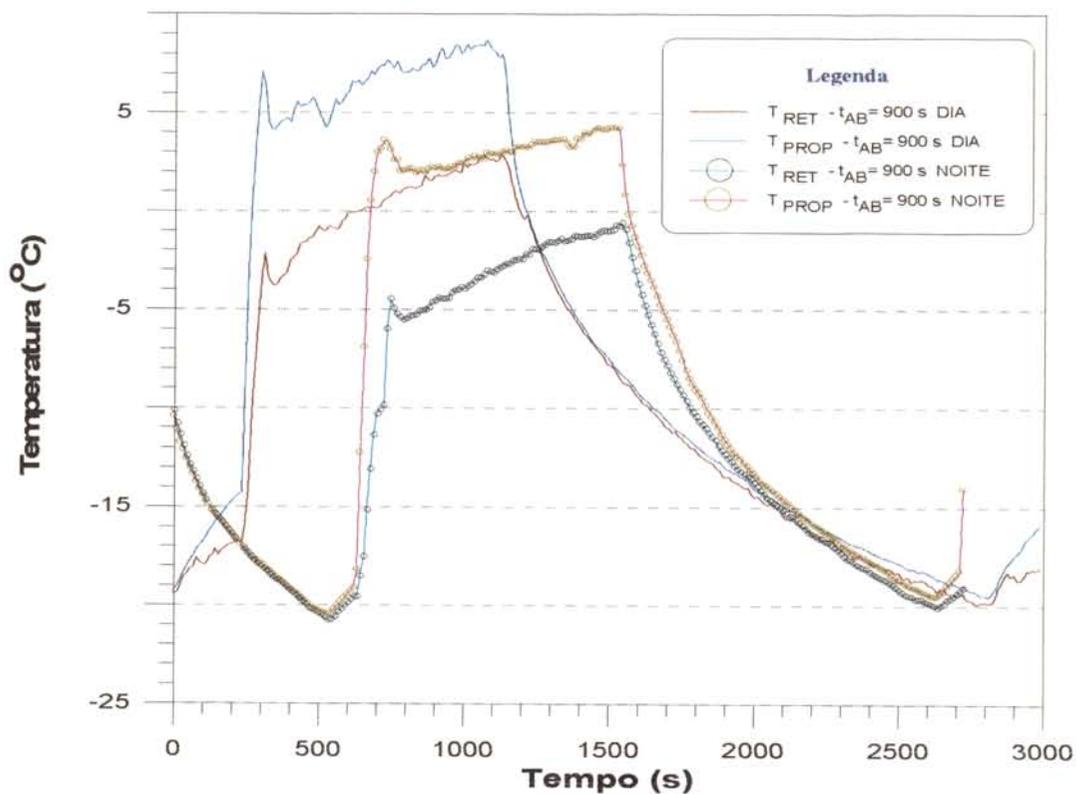


Figura 5.57 - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} , para os ensaios 19 (dia) e 20 (noite), sem introdução de carga térmica e com tempo de abertura de 900 s da porta 1.

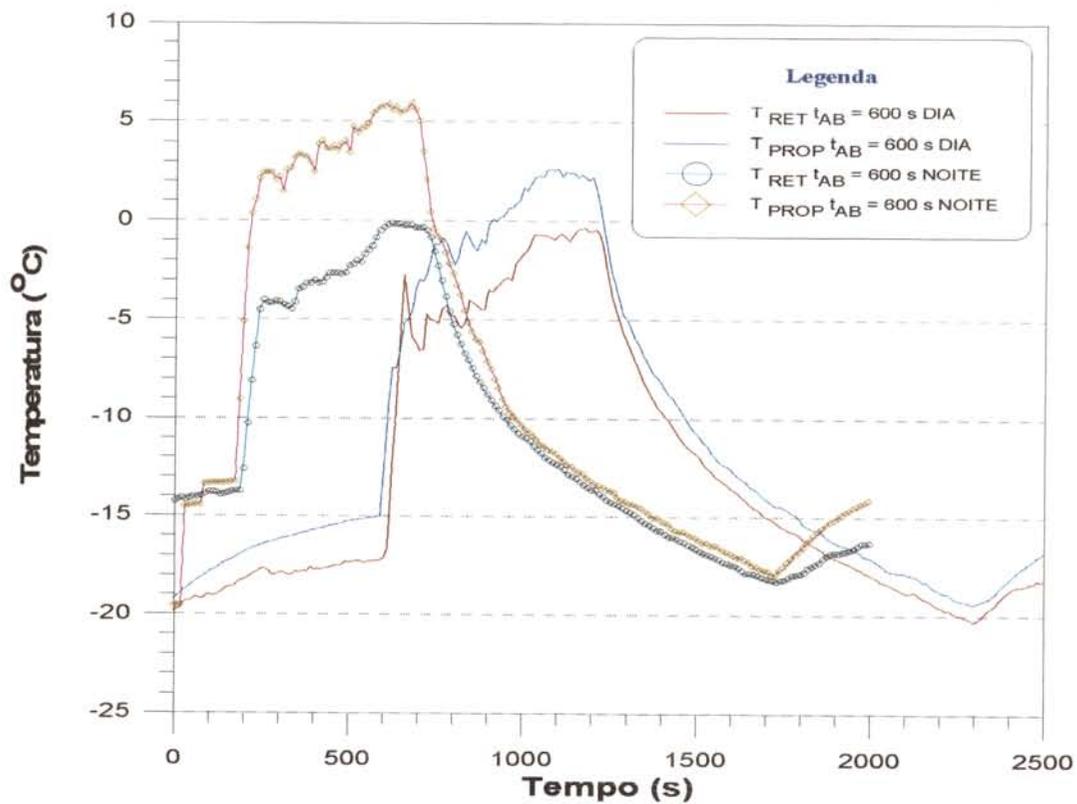


Figura 5.58 - Comportamento de T_{RET} em relação a T_{PROP} , para os ensaios 31(dia) e 32 (noite), sem introdução de carga térmica e com tempo de abertura de 600 s da porta 2.

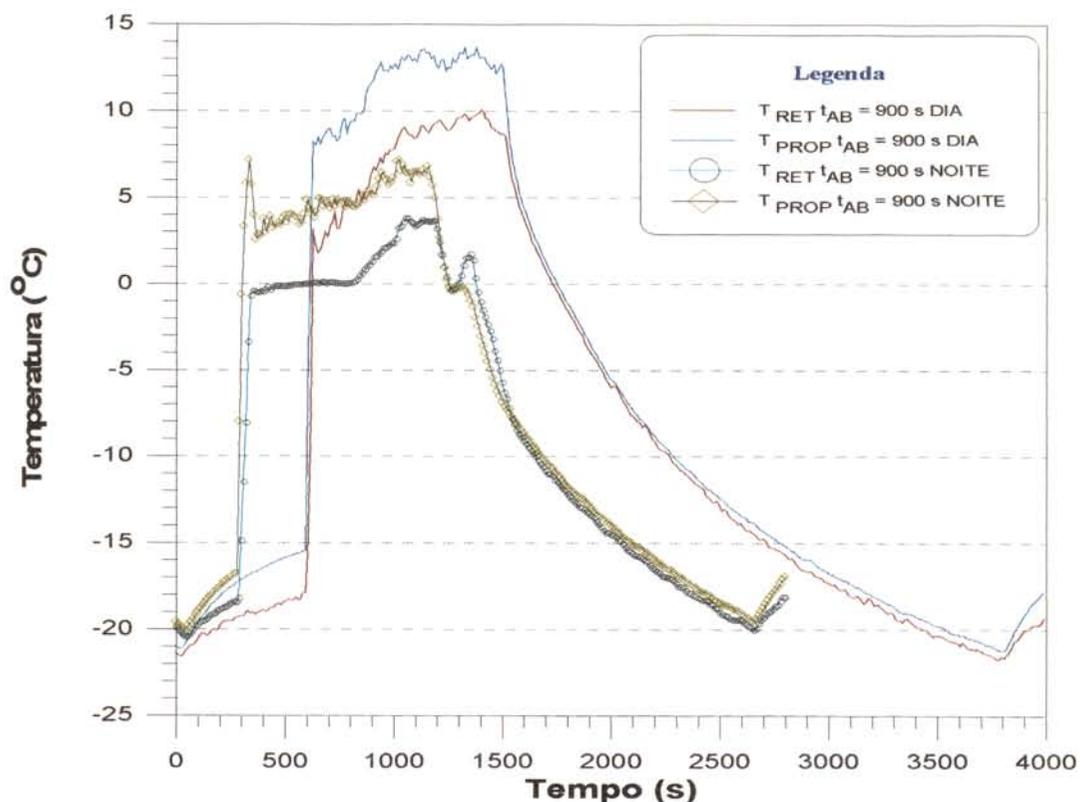


Figura 5.59 - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 55 (dia) e 52 (noite), sem introdução de carga térmica e com tempo de abertura de 900 s da porta 3.

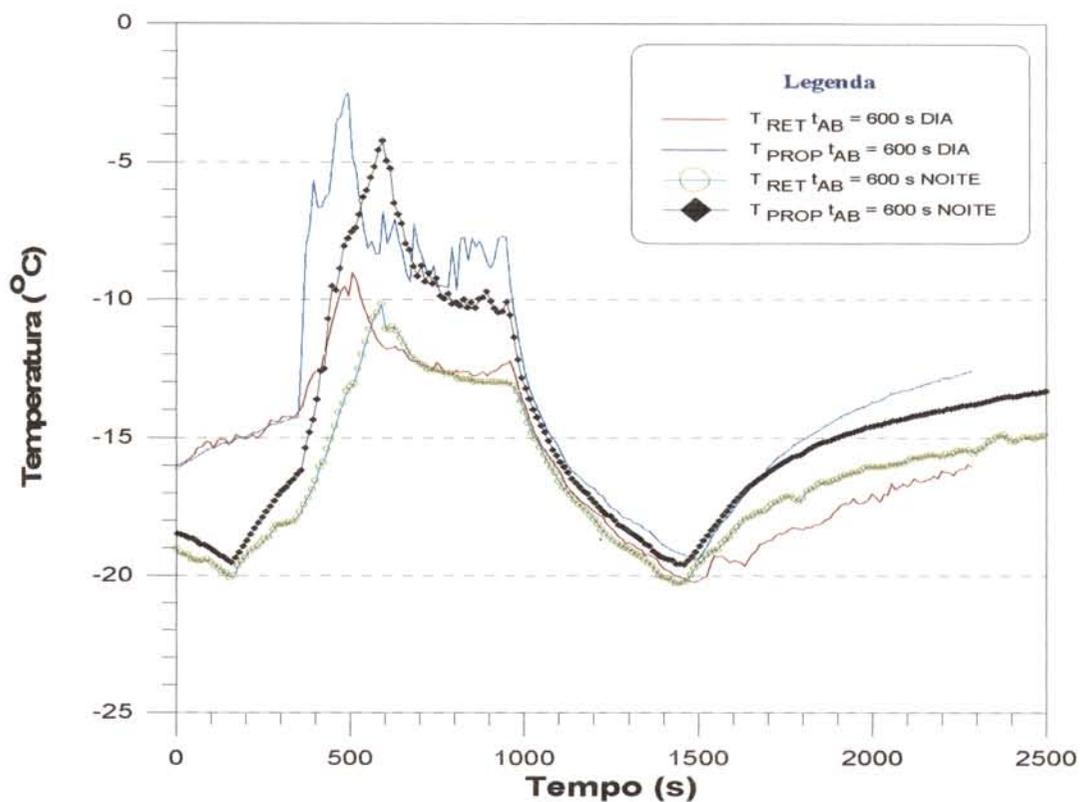


Figura 5.60 - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 67(dia) e 68 (noite), sem introdução de carga térmica e com tempo de abertura de 600 s da porta 4.

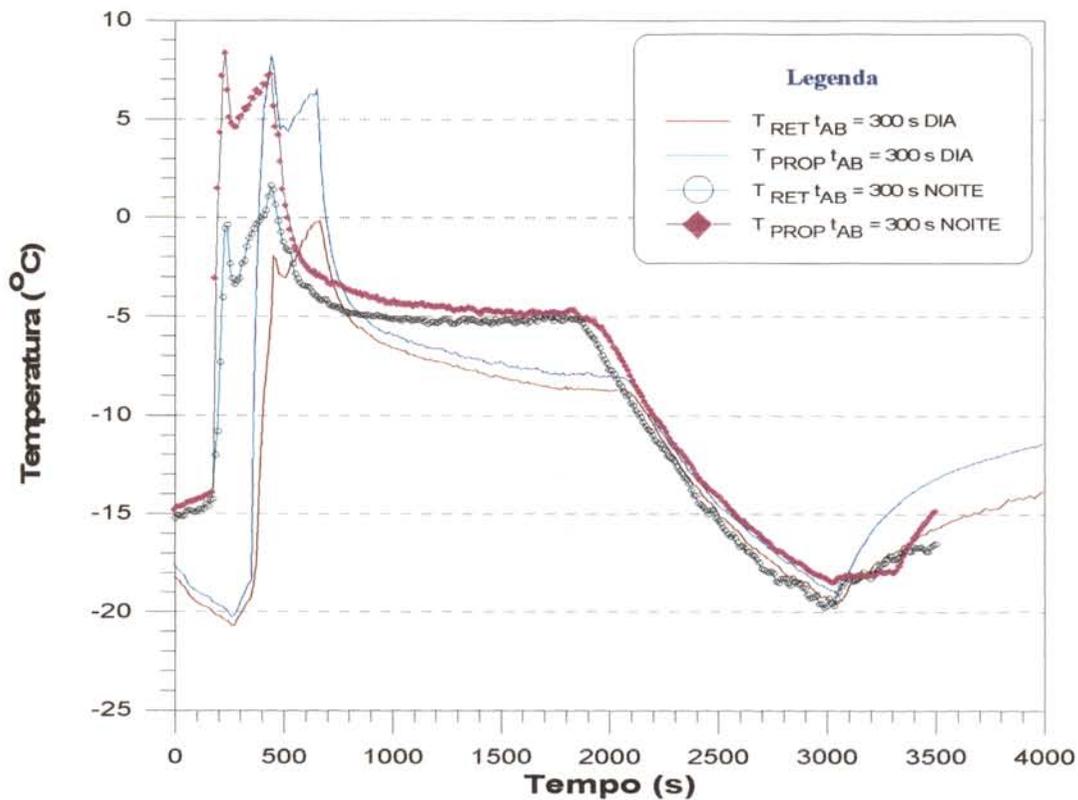


Figura 5.61 - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 11(dia) e 12 (noite), com tempo de abertura de 300 s da porta 1 e $Q_{RES} = 10000 \text{ kJ}$.

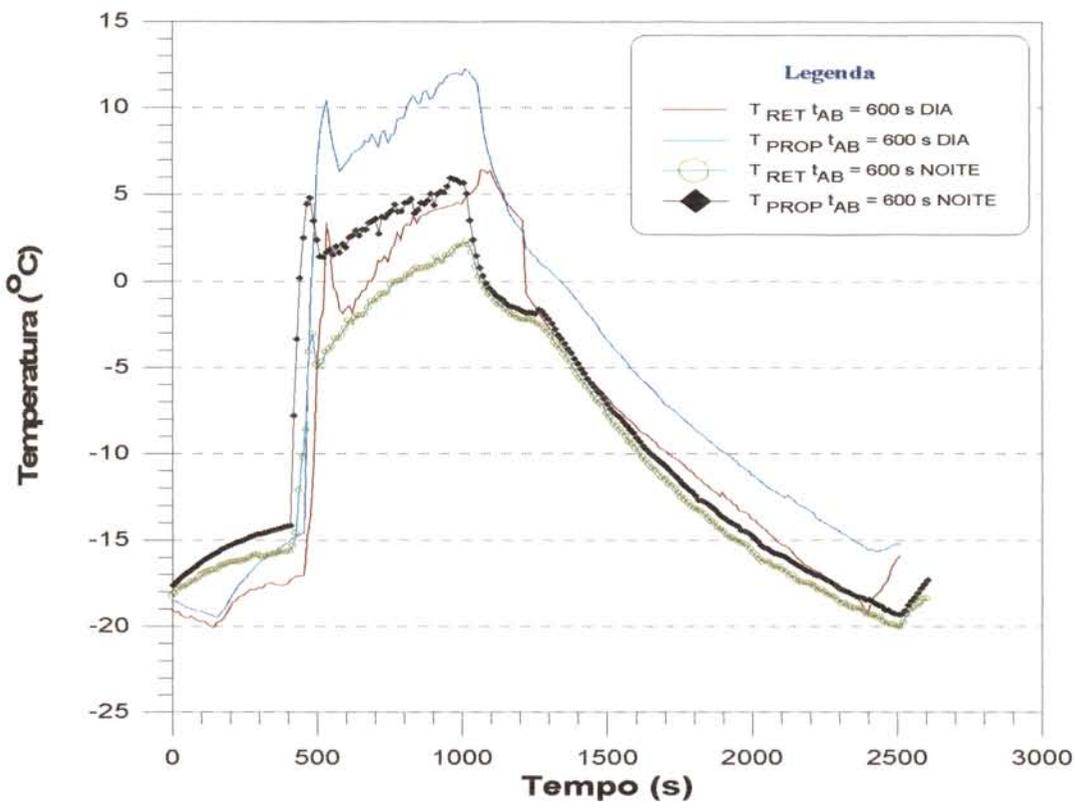


Figura 5.62 - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 33(dia) e 34 (noite), com tempo de abertura de 600 s da porta 2 e $Q_{RES} = 5000 \text{ kJ}$.

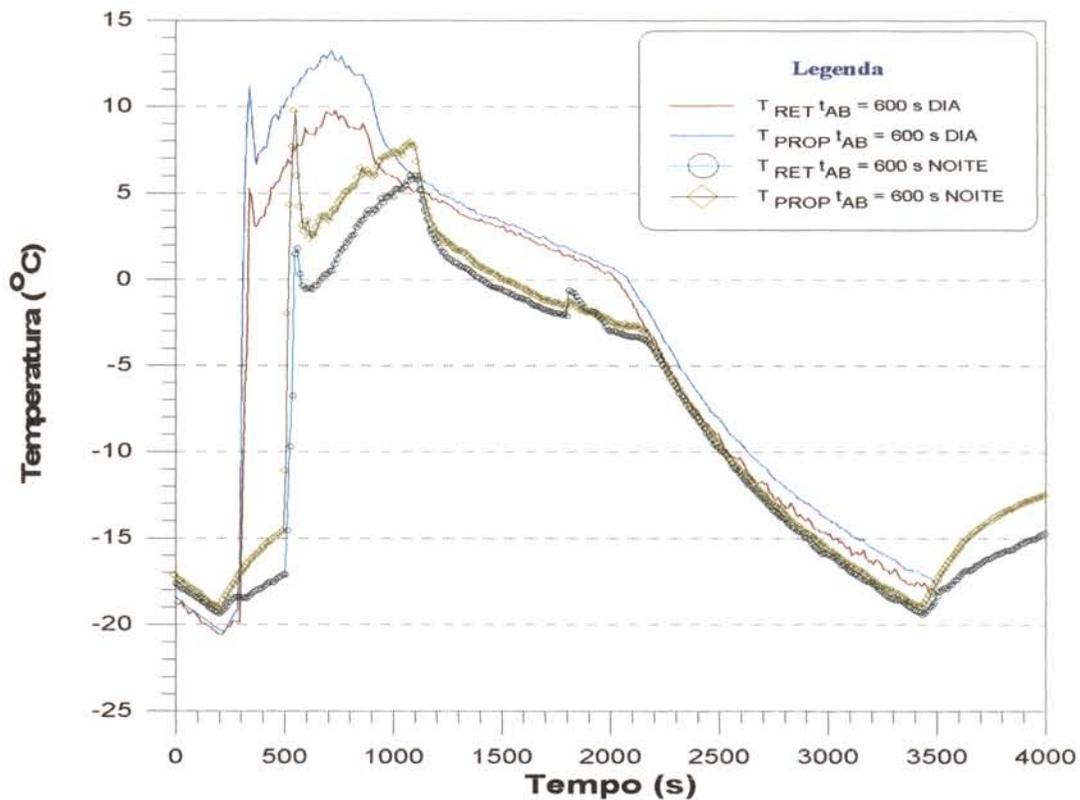


Figura 5.63 - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 51(dia) e 52(noite), com tempo de abertura de 600 s da porta 3 e $Q_{RES} = 5000 \text{ kJ}$.

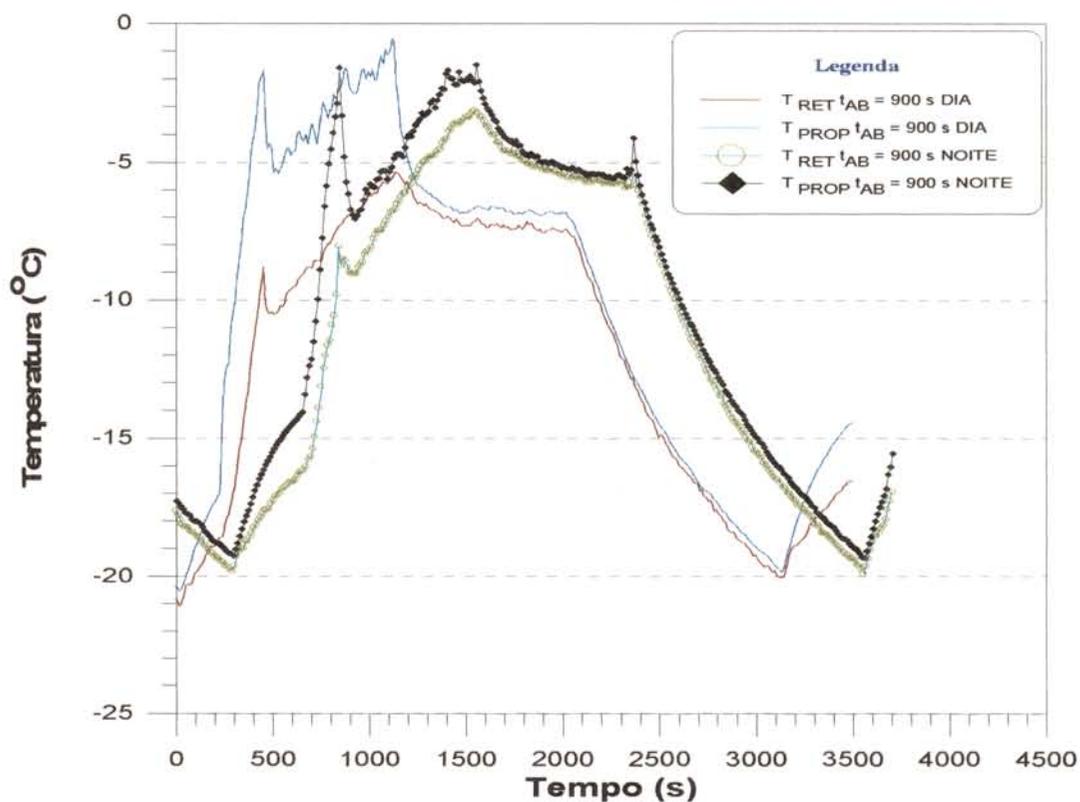


Figura 5.64 - Comportamento da T_{RET} em relação a T_{PROP} para os ensaios 77(dia) e 78(noite), com tempo de abertura de 900 s da porta 2 e $Q_{RES} = 10000 \text{ kJ}$.

A partir dos comportamentos observados nas Figuras 5.56 a 5.64, a resposta às perturbações ocorridas são mais rápidas para o parâmetro T_{PROP} do que para a temperatura do ar de retorno. A sua utilização para o controle da temperatura provavelmente diminuiria o grau de oscilação da temperatura frente às perturbações e o tempo de retorno às condições desejadas.

6 - CONCLUSÕES

A partir dos resultados experimentais obteve-se as seguintes conclusões a respeito do trabalho desenvolvido:

- Durante os ensaios realizados sem abertura de portas ou introdução de carga térmica artificial, os resultados obtidos mostraram que a carroceira possui uma excelente proteção, com relação à transmissão de calor através do isolamento, visto que, mesmo em condições de altas temperaturas externas das paredes e incidência solar, as temperaturas nas superfícies internas da carroceira tiveram pequenas variações, o que contribuiu para que a oscilação da temperatura no interior da câmara fosse bem menor do que a observada nos outros casos estudados. A pequena transmissão de calor através do isolamento pode ser também observada pelos baixos valores obtidos do fator de sensibilidade da radiação solar com relação a t_{SET} em todos os modelos.

- Os modelos empíricos obtidos para t_{SET} representam significativamente o processo, uma vez os coeficientes de correlação (R^2) foram superiores a 0,93. Dentro da faixa de trabalho estudada, os valores preditos pelo modelo foram próximos aos encontrados experimentalmente, exceto para o caso dos ensaios sem abertura de portas ou introdução de carga térmica, em que os erros encontrados são maiores.

- A influência das aberturas das portas 1 e 2 sobre t_{SET} e a temperatura interna da carroceria são similares, uma vez que o fator de sensibilidade para a carga térmica artificial introduzida, para o tempo de abertura das portas e para a radiação solar, são da mesma ordem de grandeza, já que estas portas possuem as mesmas dimensões.

- O tempo de abertura e a temperatura ambiente são as variáveis que mais influenciam na temperatura do ar de retorno, quando operada a porta 3. Os fatores de sensibilidade para estas grandezas com relação à variável-resposta (t_{SET}) são as maiores observadas, uma vez que esta porta possui o maior vão livre, apesar de estar a uma maior distância do bulbo do termostato do sistema, instalado no ar de retorno ao evaporador.

- A influência da carga térmica artificial introduzida sobre o tempo de estabilização, para a porta 4, é a maior, quando comparada com as outras portas. Isto pode ser verificado pelo maior FS, uma vez que a porta 4 possui o menor vão livre, dentre as portas da carroceria.

- As operações de carga e descarga ao longo do percurso de entrega do veículo de transporte devem ser executadas pelas portas laterais, uma vez que a utilização da porta traseira (porta 3) incorre numa maior entrada de calor o sistema, ocasionando maiores oscilações da temperatura no interior da carroceria.

- A perturbação do processo com uma carga térmica artificial impossibilita uma análise mais profunda a respeito do comportamento da temperatura no interior da carroceria, uma vez que este procedimento não representa a inércia do sistema caso a carroceria estivesse carregada com carga real de produto a uma maior temperatura que a da carroceria.

- A frequência de oscilação observada para a temperatura do ar de retorno ao evaporador, em torno do “*set-point*” definido, permite concluir que a forma de controle utilizada, além de pontual, possui uma resposta muito lenta às perturbações ocorridas, podendo chegar a atrasos na resposta de até 4 minutos, dificultando a manutenção da temperatura de transporte. Assim sugere-se a utilização de outras estratégias de controle como a utilização de maior quantidade de sensores, para ter uma melhor temperatura representativa do sistema.

- O parâmetro sugerido T_{PROP} (média das temperaturas dos termopares instalados nas regiões próximas as portas da carroceria e a temperatura do ar de retorno) apresentou uma resposta mais rápida às perturbações do que o sensor instalado no ar de retorno, sendo uma boa proposta para o controle do sistema.

7 - SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS

A partir do trabalho realizado e de acordo com os resultados obtidos podem ser sugeridas algumas propostas de trabalho a seguir :

- a) Testes utilizando carga real de produto para avaliação da inércia do sistema, ou seja, capacitância térmica em função da carga parcial de transporte.
- b) Realização dos ensaios propostos neste trabalho com outros equipamentos similares de transporte refrigerado para a comparação dos resultados encontrados.
- c) Realização de ensaios com temperaturas de transporte diferentes para avaliação do comportamento do sistema com as perturbações ocorridas.
- d) Execução de ensaios com equipamento em movimento numa situação real de transporte refrigerado, com a utilização de sensores remotos de temperatura.
- f) Utilização de outras estratégias para o controle da temperatura interna da carroceria, com a colocação de outros sensores de temperatura no interior da câmara, para melhor representar a condição média da carroceria.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ◆ Anônimo. **Transporte deve oferecer qualidade em terra ou mar.** Revista ABRAVA. São Paulo. 19 (149), p. 22 e 24, 1995.
- ◆ Anônimo. **Refrigeração adequada é a base para produção eficiente.** Revista Engenharia de Alimentos. São Paulo. 1 (3), p. 10-13, 1996.
- ◆ Anônimo. **Logística garante qualidade na cadeia do frio.** Revista Engenharia de Alimentos. São Paulo. 1 (3), p. 18-19, 1996.
- ◆ Anônimo. **Turning the wheels of distribution.** Food Manufacture. Dezembro, 1992.
- ◆ Anônimo. **Refrigerated transport : Part of a system integration, the key to an effective future.** Food Trade Review Dezembro, 1982.
- ◆ Anônimo. **Onde mora o frio.** Revista Tecnológica. São Paulo. 2 (15), p. 6-8,10-13, 1997.
- ◆ ASHBY, B. H. Developments in Frozen Food Transport. **Food Technology.** Março, 1981. p. 67-70.
- ◆ ASHRAE **.Handbook : Refrigeration, Systems and Applications.** American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc. Atlanta: 1990.
- ◆ ASHRAE **.Handbook : Fundamentals.** American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc. Atlanta: 1993.

- ◆ ASHRAE **.Handbook : Refrigeration, Systems and Applications.** American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc. Atlanta: 1994.

- ◆ ASTM **. Manual on the use of thermocouples in temperatura measurement.** ASTM special technical publiation 470A. Filadélfia: 1974. 252p.

- ◆ BENNAHMIA, R. Transport de fruits et legumes à température dirigée. **Revue Internationale du Froid.** Paris: v.13, p. 393-400, 1990.

- ◆ CHITARRA, M. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças: Fisiologia e Manuseio.** Lavras:: ESAL / FAEPE. Lavras. 1990. 293 p.

- ◆ CORTEZ, L. A. B., VIGNEAULT, C., NEVES Fo., L. C. Análise econômica de uma unidade de resfriamento a vácuo de alface. In: **1º Curso de Atualização em Tecnologia de Resfriamento de Frutas e Hortaliças,** FEAGRI/UNICAMP. Campinas: 4 p. 1997.

- ◆ DOSSAT, R. J. **Princípios de Refrigeração.** Hemus - Livraria Ed. São Paulo. São Paulo. 884 p. 1980.

- ◆ EMBRAPA. Perdas na Agropecuária Brasileira. Centro de Pesquisas. **Relatório Preliminar. MARA.** São Paulo: 1993.

- ◆ GAC, A. L'Agreement des engins de transport de denrées perissables. **Revue Generale du Froid.** Paris. 7, p. 723-731, 1973.

- ◆ GAC, A., LARBUOLLIAT, J., ZIMMERMANN, P. Observations a propos des essais de machines frigorifiques pour engins de transport. **Reunion Com D2.** Wageningen. p. 1-9, 1974.

- ◆ HALES, K. C., SCRINE, G. R. & MANSFIELD, J. E. Thermal testing of insulated vehicles. **The Institute of Refrigeration Proceedings**. Paris. **75**, p. 55-64, 1979.

- ◆ HATT, B. & WILBEY, A. Temperature control in the cold chain. **Journal of the Society of Dairy Technology**. **47**, (3), 77-80, 1994.

- ◆ HEAP, R. D. Temperature distribution in frozen and chilled commodities in insulated and refrigerated iso containeres. **IIF - Comissions D1, D2 and D3**. Paris. p.201-206, 1985

- ◆ IBRAF - Instituto Brasileiro de Frutas. **Estatística de Frutos e Sucos**. São Paulo: 1993.

- ◆ IIR (1974) . Recommended conditions for land transport of perishables foodstuffs. **International Institut of Refrigeration..** Paris: 1974.

- ◆ ISO 1496/II (1988). **Series 1 Freight Containeres - Specifications and testing - Part 2 : Thermal Containeres**. Londres. 56 p. 1988

- ◆ KEFFORD, J. F. Impact of climate variability on food processing. **CSIRO Food Research Quaterly**. Sidney **39**, p. 1-10, 1979.

- ◆ LEWIS, T. & KLATT, K. A. Using tje autolog TTM (time/temperature monitor) to monitor foods in transit. **IIF - Comissions D1, D2 and D3**. Paris. p.303-309. 1985

- ◆ MANSKE, W. J. Experience with MonitorMark product temperature exposure indicators. **IIF - Comissions D1, D2 and D3**. Paris. p. 311-317. 1985.

- ◆ MEDEROS, B. J. T. **Uso de containeres refrigerados para o armazenamento de produtos agrícolas.** . Tese (Mestre em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica Universidade Estadual de Campinas Campinas: 1996, 108 p. Campinas, 1996.

- ◆ MIDDLEHURST, J. et al. The transport of food in ISO containeres. **CSIRO Food Research Quaterly.** Sidney. **29** (2), p. 1-10, 1969.

- ◆ NEVES Fo., L. C. A Temperatura na Estocagem e Distribuição Frigorificadas.*In* **Armazenamento de Gêneros e Produtos Alimentícios.** São Paulo: p. 309-326, 1984.

- ◆ NEVES Fo., L. C. Perda de peso na estocagem de frutas e hortaliças. **Alimentos & Tecnologia.** São Paulo. **1** (4), p. 28-34. 1985.

- ◆ NEVES Fo., L. C. Pontos importantes na seleção de um sistema frigorífico. **Alimentos & Tecnologia.** São Paulo. **2** (9), p. 36-40. 1986.

- ◆ NEVES Fo., L. C. Resfriamento, congelamento e estocagem de alimentos. **IBF - ABRAVA.** São Paulo: 1991. 176p.

- ◆ NEVES Fo., L. C. Controle de umidade e temperatura em câmaras frigoríficas *in* **Tecnologia de pós-colheita de frutas tropicais.** Manual Técnico nº 9, ITAL. Campinas. 310 p. 1992.

- ◆ NEVES Fo., L. C. IBF finaliza estudo sobre padronização de temperaturas na cadeia do frio. **Revista ABRAVA.** São Paulo. **19** (149), p. 28-34, 1985.

- ◆ NEVES Fo., L. C. Parâmetros na estocagem e distribuição frigorificadas de Alimentos . **Revista Engenharia de Alimentos.** São Paulo. **1** (3), p. 22-24, 1996.

- ◆ NEVES Fo., L. C. **Refrigeração e Alimentos**. Faculdade de Engenharia de Alimentos UNICAMP. Campinas: 340 p. 1997.
- ◆ NICHOLSON F. J. & GRAHAM, J. Microcomputer monitoring of commercial stores. **International Institute of Refrigeration**. Paris: p.152-132, 1985.
- ◆ NISBET, J. Refrigerated transport. **Journal of the Society of Dairy Technology** . **32** (2), p. 77-80, 1979.
- ◆ PEDERSEN, L. D. Assesment of sensors used in the food industry. **Food Control** . **2** (1), p. 87-98, 1991.
- ◆ RATH, E. Protecting Perishables in Long-Distance Transport. **Agricultural Engineering**. **56** (4). p. 30, 63-65, 1975.
- ◆ RECRUSUL S/A. **Manual de Operação e Manutenção - Equipamento Frigorífico Modelo TD006**. Sapucaia do Sul, Brasil. 47 p. 1996
- ◆ RYALL, A. L. & PENTZER, W. T. **Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables**. Volume 2, 2^a Edição. AVI Publishing Co. Connecticut/EUA. 610 p. 1982.
- ◆ ROCHA, J. L. V. & SPAGNOL, W. A. Frutas e Hortaliças *in* **Armazenamento de Gêneros e Produtos Alimentícios**. São Paulo: p. 227-271, 1984.
- ◆ RODRIGO, M., SAFÓN, J., LORENZO, P. **Optimización de las técnicas de esterilización por calor. III Medida y control de la temperatura**. Revista Agroquímica Tecnol. Aliment. **23** (1), p. 11-26, 1983.
- ◆ SALVADORI, V. & MASCHERONI, R. H. **Armazenamento de alimentos congelados em câmaras de temperaturas variáveis**. São Paulo. Revista Abrava. **20** (157),p. 30, 32, 34, 36, 38, 40, 1997.

- ◆ SHARP, A. K. **The use of thermocouples to monitor cargo temperatures in refrigerated freight containers and vehicles.** Sidney. CSIRO Food Preservative Quarterly. Sidney. **49** (1/2), p. 10-18. 1989.

- ◆ STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. **Refrigeração Industrial.** Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 1994.

- ◆ VAN NIEWENHUIZEN, G. H. Transport refrigeration units working under humid conditions. **IIF - Comissions D1, D2 and D3.** Paris. p. 191-199, 1985

APÊNDICE 1

1.1 - - CURVAS DE CALIBRAÇÃO DOS TERMOPARES :

MODELOS DE AJUSTE LINEAR DA TEMPERATURA DOS TERMOPARES.

Termopar	Modelo de Ajuste Linear	R ²
01	$T_{1,corr} = 0,99926 * T_1 + 0,01$	0,999999
02	$T_{2,corr} = 0,99909 * T_2 + 0,07$	0,999997
03	$T_{3,corr} = 0,99620 * T_3 + 0,23$	0,999946
04	$T_{4,corr} = 0,99744 * T_4 + 0,09$	0,999993
05	$T_{5,corr} = 0,99666 * T_5 + 0,13$	0,999996
06	$T_{6,corr} = 0,99715 * T_6 + 0,07$	0,999987
07	$T_{7,corr} = 0,99537 * T_7 + 0,17$	0,999991
08	$T_{8,corr} = 0,99638 * T_8 + 0,06$	0,999993
09	$T_{9,corr} = 0,99665 * T_9 + 0,02$	0,999992
10	$T_{10,corr} = 0,99541 * T_{10} + 0,11$	1,000000
11	$T_{11,corr} = 0,99826 * T_{11} + 0,13$	0,999975
12	$T_{12,corr} = 0,99706 * T_{12} + 0,01$	0,999990
13	$T_{13,corr} = 0,99457 * T_{13} + 0,09$	0,999988
14	$T_{14,corr} = 0,99514 * T_{14} + 0,14$	0,999996
15	$T_{15,corr} = 0,99719 * T_{15} + 0,18$	0,999975
16	$T_{16,corr} = T_{16} - 0,29$	0,999946
17	$T_{17,corr} = 0,99901 * T_{17} + 0,04$	0,999999
18	$T_{18,corr} = 1,0007 * T_{18} + 0,23$	0,999981
19	$T_{19,corr} = 0,99665 * T_{19} + 0,06$	0,999952
20	$T_{20,corr} = 0,99983 * T_{20} + 0,31$	0,999942
21	$T_{21,corr} = 1,0039 * T_{21} - 0,73$	0,999763
22	$T_{22,corr} = 0,99029 * T_{22} + 0,44$	0,999910
23	$T_{23,corr} = 0,99653 * T_{23} - 0,11$	0,999986

MODELOS DE AJUSTE LINEAR DA TEMPERATURA DOS TERMOPARES
(CONTINUAÇÃO.).

Termopar	Modelo de Ajuste Linear	R ²
24	$T_{24,corr} = 0,99025 * T_{24} + 0,39$	0,999972
25	$T_{25,corr} = 0,99918 * T_{25} - 0,21$	0,999957
26	$T_{26,corr} = 0,99774 * T_{26} - 0,14$	0,999992
27	$T_{27,corr} = 0,99519 * T_{27} + 0,14$	0,999982
28	$T_{28,corr} = 0,99037 * T_{28} + 0,51$	0,999942
29	$T_{29,corr} = 0,99912 * T_{29} - 0,31$	0,999998
30	$T_{30,corr} = 0,99546 * T_{30} + 0,07$	0,999994
31	$T_{31,corr} = 0,99457 * T_{31} + 0,09$	0,999994
32	$T_{32,corr} = 0,99562 * T_{32} + 0,04$	0,999994
33	$T_{33,corr} = 0,99571 * T_{33} + 0,08$	0,999994
34	$T_{34,corr} = 0,99651 * T_{34} - 0,12$	0,999995
35	$T_{35,corr} = 0,99387 * T_{35} + 0,11$	0,999976
36	$T_{36,corr} = 1,00020 * T_{36} - 0,20$	0,999994
37	$T_{37,corr} = 1,00008 * T_{37} - 0,26$	0,999988
38	$T_{38,corr} = 0,99981 * T_{38} + 0,04$	0,999994
39	$T_{39,corr} = 1,00008 * T_{39} - 0,26$	0,999988
40	$T_{40,corr} = 0,99901 * T_{40} + 0,04$	0,999994

Os valores encontrados para os coeficientes de correlação (R²) durante a calibração dos termopares, superiores a 0,99, garante que os termopares utilizados no trabalho possuem uma resposta linear, com confiabilidade, dentro da faixa de trabalho.