

## 6 Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos estudos de uniformidade e estabilidade de temperatura em três câmaras térmicas usadas na conservação produtos hemoterápicos, utilizando o sistema multicanal desenvolvido para medição de temperatura.

### 6.1. Sistema multicanal para medição de temperatura

Objetivando a realização de medições simultâneas em diferentes posições ao longo do volume interno das câmaras térmicas utilizadas na preservação de produtos hemoterápicos, desenvolveu-se um sistema multicanal o qual possibilitou a otimização das medições e aquisição de dados em tempo real, possibilitando assim uma imediata comparação entre as temperaturas do sistema multicanal com a temperatura mostrada no display do equipamento em estudo.

O armazenamento desses dados possibilitou gerar planilhas com os valores de medição de temperatura para estudo detalhado dos equipamentos e análise dos dados para cálculos de uniformidade e estabilidade da temperatura. Com o documento de calibração, observou-se que as medições da grandeza temperatura apresentavam baixa incerteza, valores abaixo da resolução do sistema.

### 6.2. Avaliação da uniformidade e estabilidade da temperatura em *freezers* utilizados na biopreservação de produtos hemoterápicos

A avaliação da uniformidade e estabilidade de temperatura dos equipamentos da cadeia de frio do sangue, deu-se em 3 etapas:

- Medição de temperatura no volume interno;
- Medição de temperatura por compartimento;
- Medição de temperatura em pontos críticos;

Além dos valores de uniformidade e estabilidade de temperatura, foi realizada uma análise da resposta a perturbações na estabilidade térmica também foi realizada.

### 6.2.1. Etapa 1 da medição da uniformidade e estabilidade da temperatura

Com o sistema de medição desenvolvido possibilitando uma aquisição de dados simultâneos, foi realizada a etapa 1 de medição da uniformidade e estabilidade de temperatura. Com os transdutores  $S_1$  a  $S_8$  posicionados em todo o volume interno do *freezer*, e armazenados e depois de corrigido os erros sistemáticos, plotou-se os dados armazenados para cada *freezer* em função do tempo. As Figuras 32 a 34 apresentam os resultados obtidos para os *freezers* 1 a 3, respectivamente, os transdutores  $S_1$  a  $S_8$  estão distribuídos conforme apresentado nas Figuras 20, 21 e 22.

As temperaturas medidas no  $F_1$  apresentaram-se com maior estabilidade temporal comparadas aos resultados de  $F_2$  e  $F_3$ . No *freezer* 2, porém, os compartimentos inferiores, nos quais as temperaturas são mais elevadas, apresentam maior estabilidade temporal que os compartimentos superiores. Para o *freezer* 3, observa-se que as temperaturas mais elevadas apresentam-se nos compartimentos superiores, contrariando os  $F_1$  e  $F_2$ .

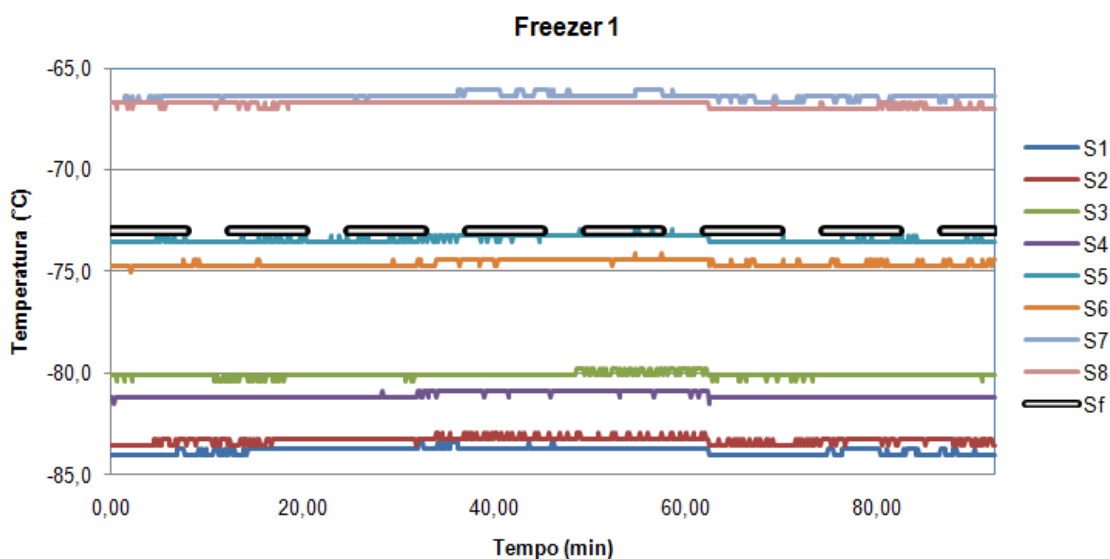


Figura 32: Temperaturas medidas ao longo do volume do *freezer* 1 em função do tempo.

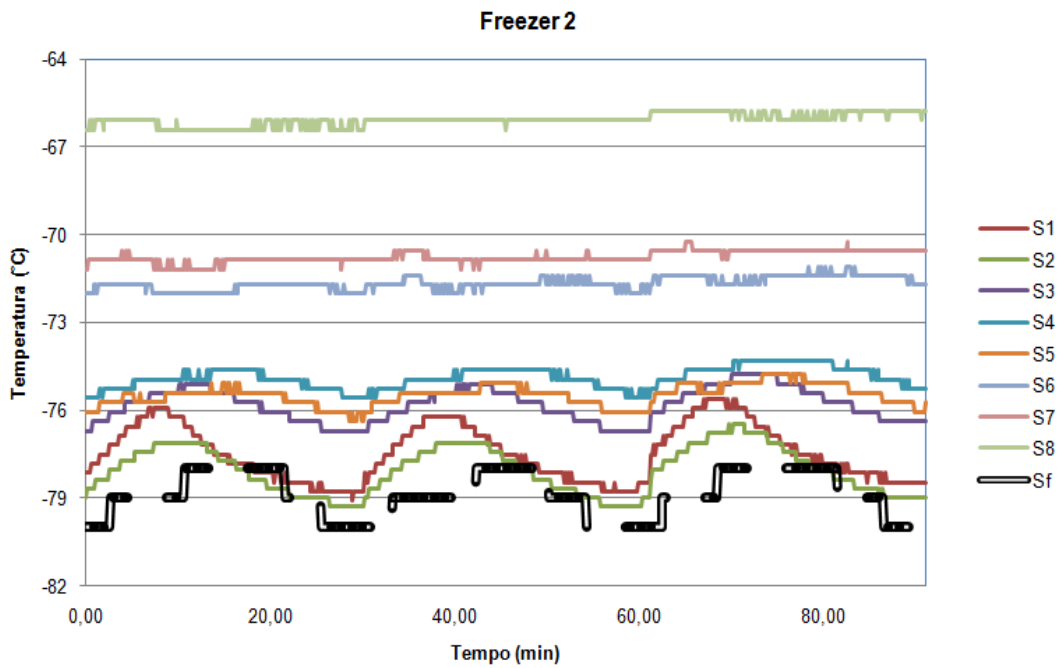


Figura 33: Temperaturas medidas ao longo do volume do freezer 2 em função do tempo.

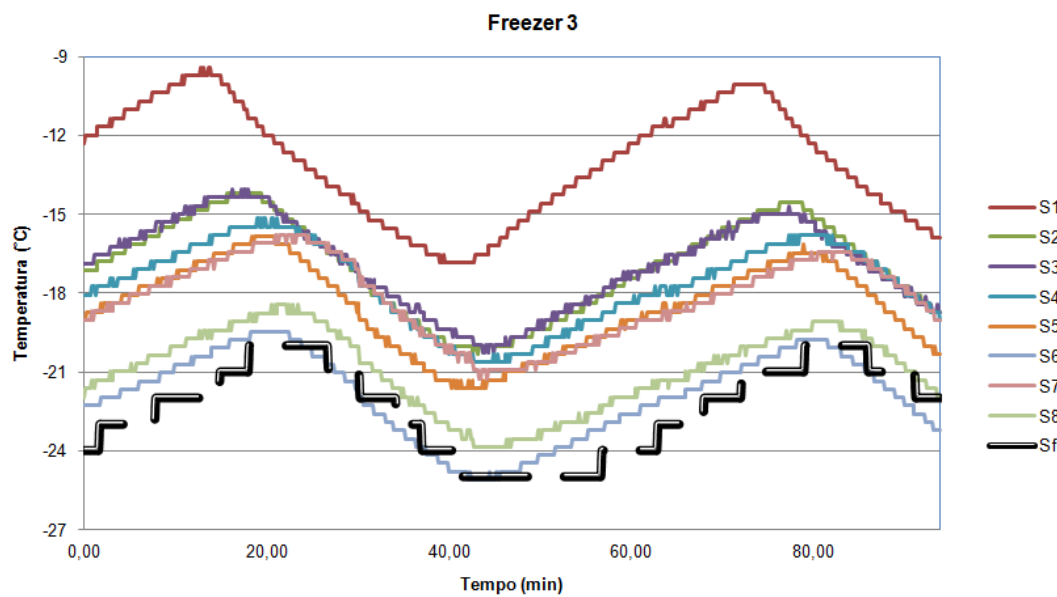
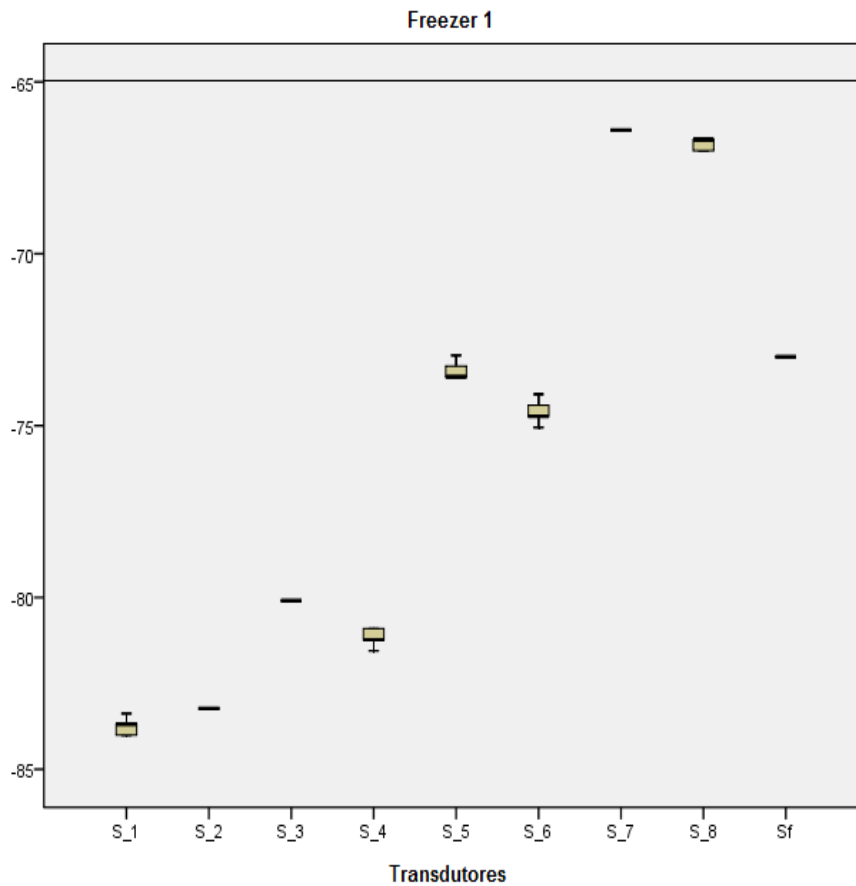


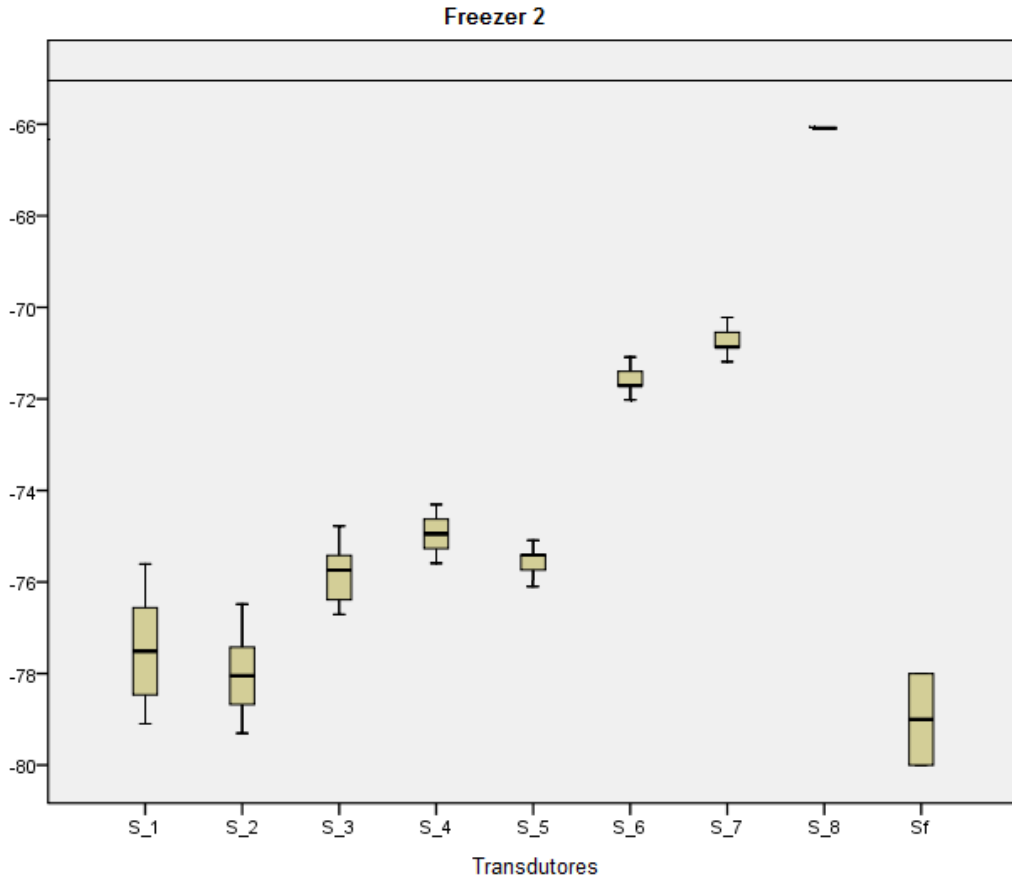
Figura 34: Temperaturas medidas ao longo do volume do freezer 3 em função do tempo.

Os gradientes de temperatura dos equipamentos variam em todo o volume interno. As Figuras 35 a 37 apresentam a não uniformidade (temperaturas acima do valor limite de funcionamento do equipamento) de temperatura ao longo do

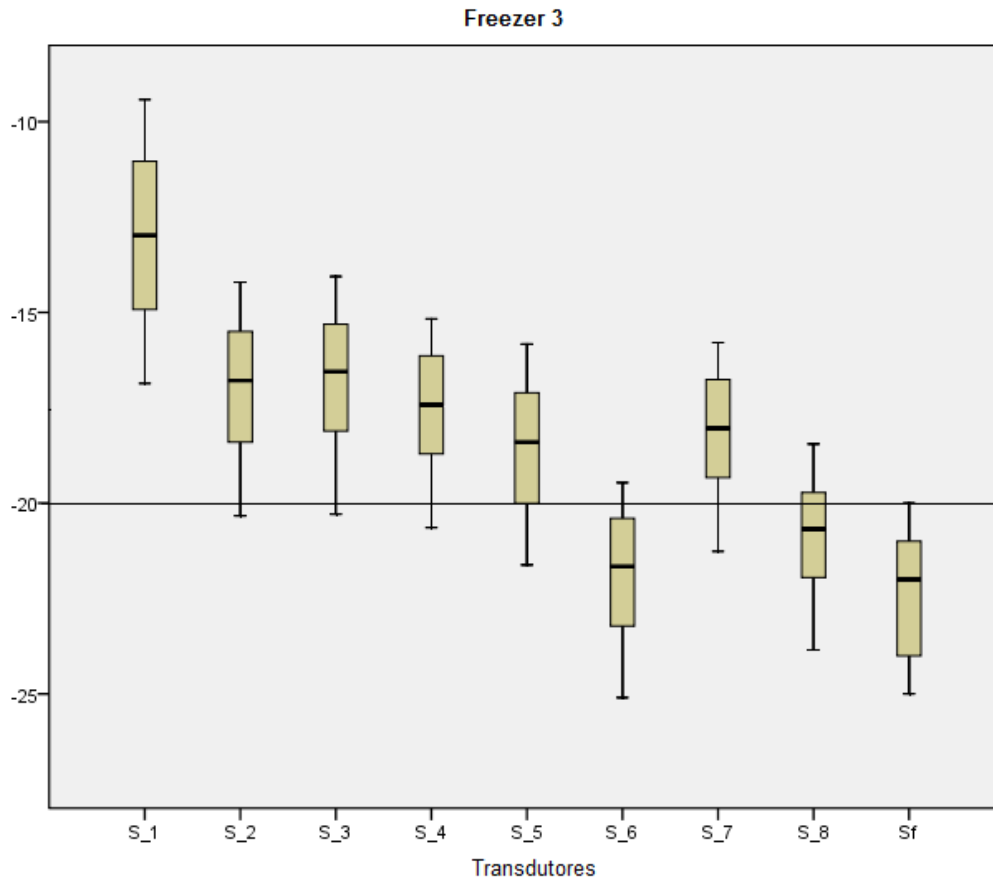
volume interno dos *freezers* 1, 2 e 3; respectivamente e a variação de temperatura nos pontos onde estavam posicionados os transdutores  $S_1$  a  $S_8$ . Nas Figuras 35 a 37 os valores de temperaturas dos equipamentos deveriam apresentar-se abaixo da linha traçada, a qual sinaliza o limite da temperatura de funcionamento para uso, e pontos apresentados acima dela são pontos de não conformidade.



**Figura 35: Variação da uniformidade de temperatura no volume interno do  $F_1$  e nos transdutores  $S_1$  a  $S_8$  e  $S_f$ . A linha horizontal representa o limite máximo da temperatura de funcionamento do *freezer*.**



**Figura 36: Variação da uniformidade de temperatura no volume interno do  $F_2$  e nos transdutores  $S_1$  a  $S_8$  e  $S_f$ . A linha horizontal representa o limite máximo da temperatura de funcionamento do freezer.**



**Figura 37:** Variação da uniformidade de temperatura no volume interno do F<sub>3</sub> e nos transdutores S<sub>1</sub> a S<sub>8</sub> e S<sub>f</sub>. A linha horizontal representa o limite máximo da temperatura de funcionamento do freezer.

### 6.2.2.

#### Etapas 2 e 3 da medição da uniformidade e estabilidade de temperatura

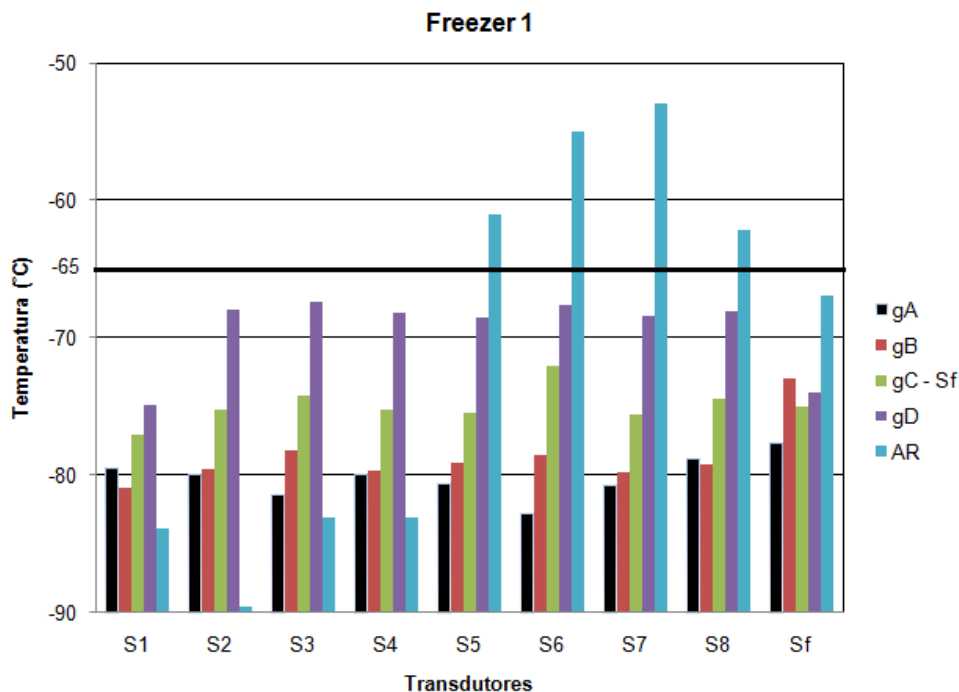
A etapa 2 consiste em distribuir os transdutores S<sub>1</sub> a S<sub>8</sub> por compartimento em cada um dos 3 freezers analisados. A posição dos transdutores por compartimento era baseada na localização do transdutor do freezer (S<sub>i</sub>), sempre posicionando um dos transdutores do sistema multicanal o mais próximo possível deste.

A etapa 3 com base nos resultados das etapas 1 e 2, posicionou-se os transdutores S<sub>1</sub> a S<sub>8</sub> onde apresentava pontos extremos de temperatura. Sendo os resultados da etapa 2 e 3 apresentados nas Figuras 37 a 39 para os freezers 1 a 3, respectivamente.

As temperaturas medidas nos compartimentos mostram que as gavetas localizadas próximas ao compressor apresentam menores temperaturas,

comparadas com as gavetas distantes, apresentado assim uma não uniformidade de temperatura. Os resultados da 2ª etapa indicam maior homogeneidade na distribuição espacial da temperatura nos compartimentos onde se localiza o sensor de indicação do freezer ( $S_f$ ), sendo que no caso de  $F_2$  (Figura 39), a homogeneidade espacial foi observada também em outros compartimentos (gavetas B, C e E). No  $F_1$  (Figura 38) a melhor homogeneidade espacial foi observada no compartimento onde se localizava o  $S_f$  e no compartimento acima (gaveta B). Para o  $F_3$  onde o  $S_f$  está localizado entre dois compartimentos, a menor homogeneidade espacial foi observada no compartimento C (Figura 40).

Nos três equipamentos avaliados, os transdutores posicionados na parte anterior acima, apresentam temperaturas mais elevadas que os transdutores posicionados na parte posterior abaixo.



**Figura 38:** Temperatura média dos sensores S1 a S8 e Sf para 2ª etapa de medição realizada em cada compartimento do freezer 1 (gavetas A a D). A temperatura média das medições de alta resolução da 3ª etapa de medição também é apresentada (AR). Sua temperatura limite de funcionamento é  $-65^{\circ}\text{C}$ , indicada pela linha horizontal.

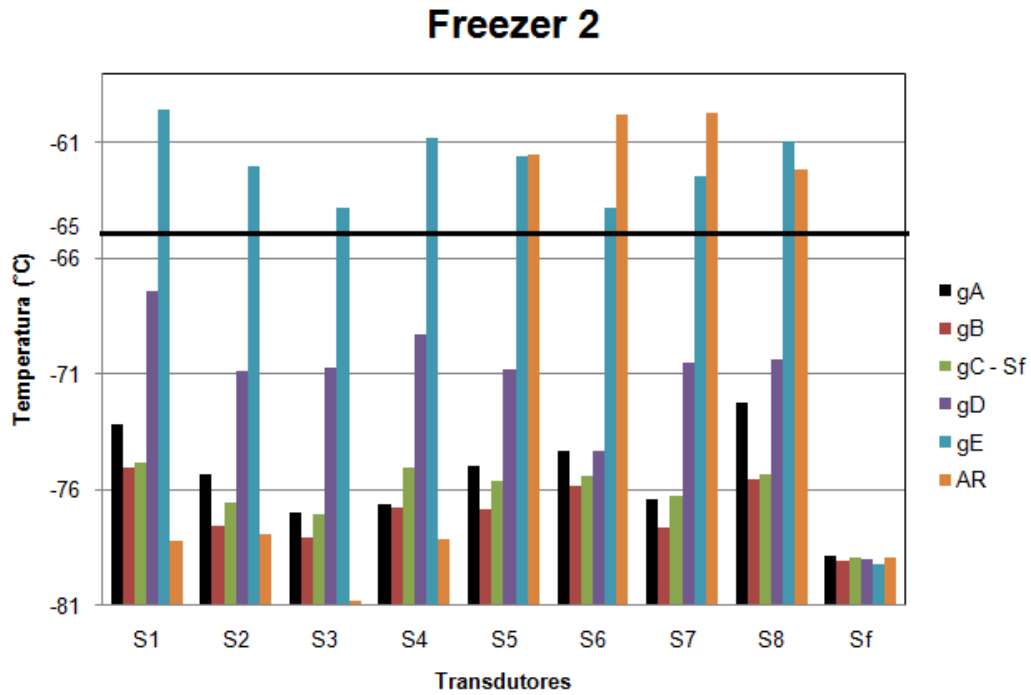


Figura 39: Temperatura média dos sensores  $S_1$  a  $S_8$  e  $S_f$  para 2ª etapa de medição realizada em cada compartimento do freezer 2 (gavetas A a D). A temperatura média das medições de alta resolução da 3ª etapa de medição também é apresentada (AR). Sua temperatura limite de funcionamento é  $-65^\circ\text{C}$ , indicada pela linha horizontal.

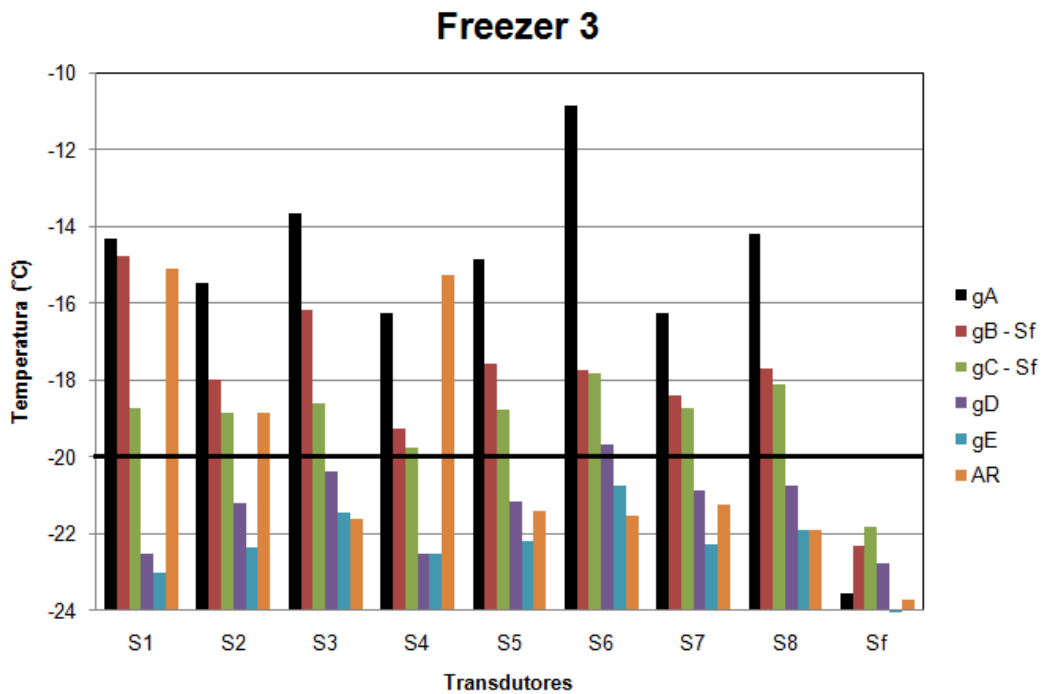
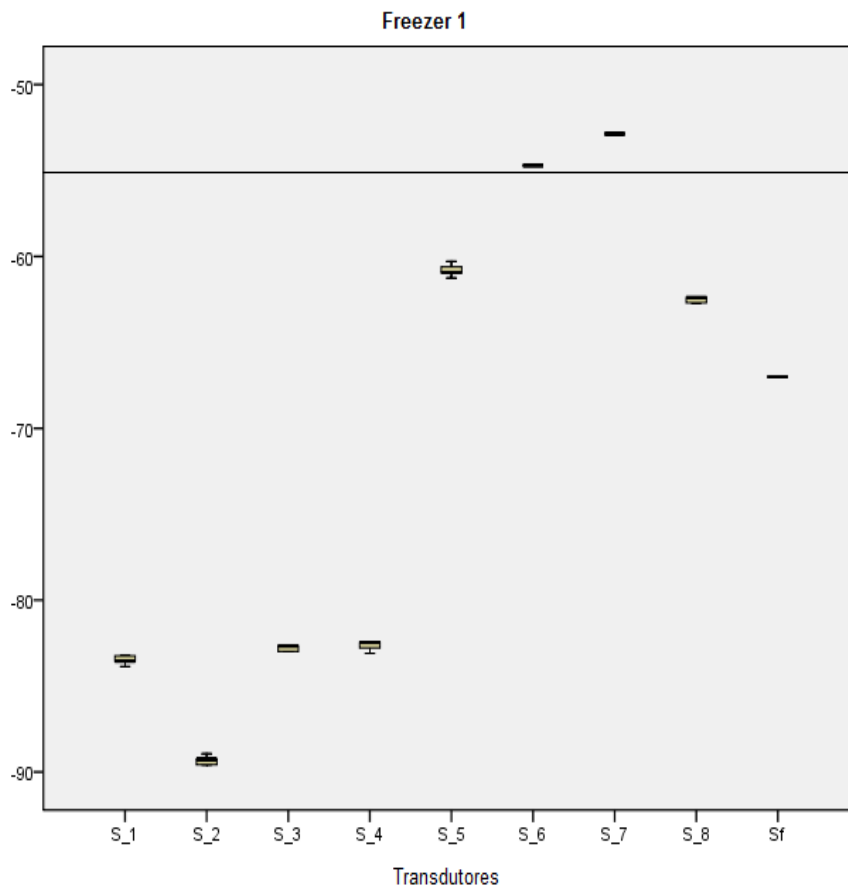


Figura 40: Temperatura média dos sensores  $S_1$  a  $S_8$  e  $S_f$  para 2ª etapa de medição realizada em cada compartimento do freezer 3 (gavetas A a D). A temperatura média das medições de alta resolução da 3ª etapa de medição também é apresentada (AR). Sua temperatura limite de funcionamento é  $-20^\circ\text{C}$ , indicada pela linha horizontal.

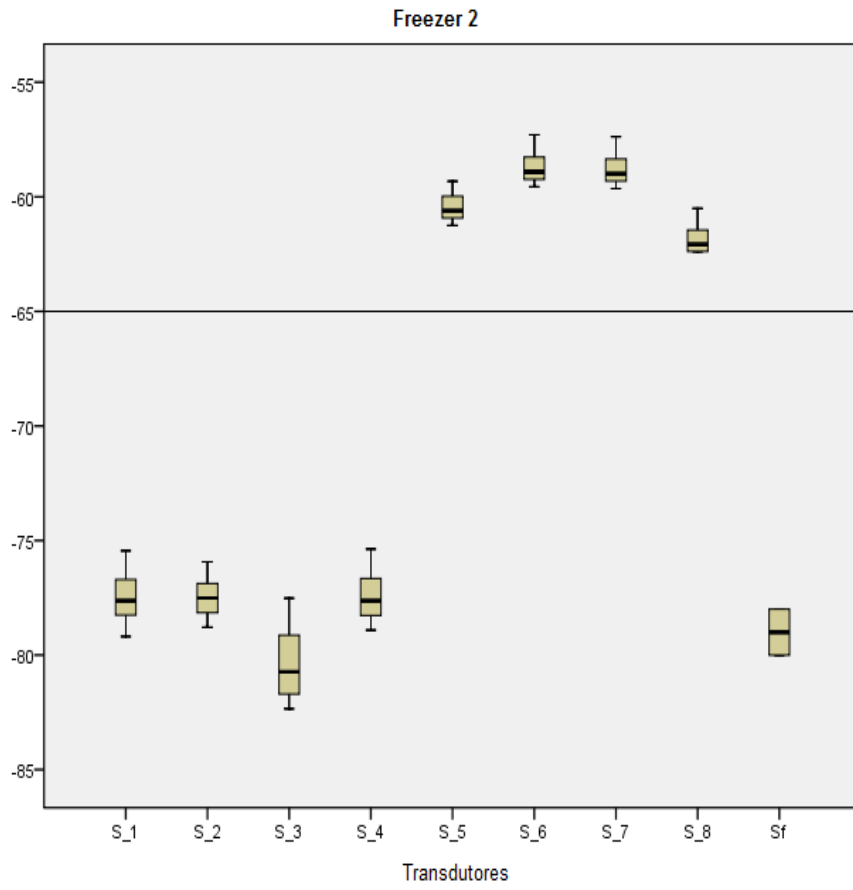


Para uma melhor análise da etapa 3, as Figuras 41 a 43 apresentam os resultados desta medidas em  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$ . Como nas figuras anteriores a temperatura limite de funcionamento dos *freezers* é indicada por uma linha. Nas etapas anteriores de medição da uniformidade e estabilidade de temperatura, não apresentaram pontos de não conformidade, mas nas Figuras 41 a 43 observa-se que existem pontos de não conformidade para todos os *freezers*.

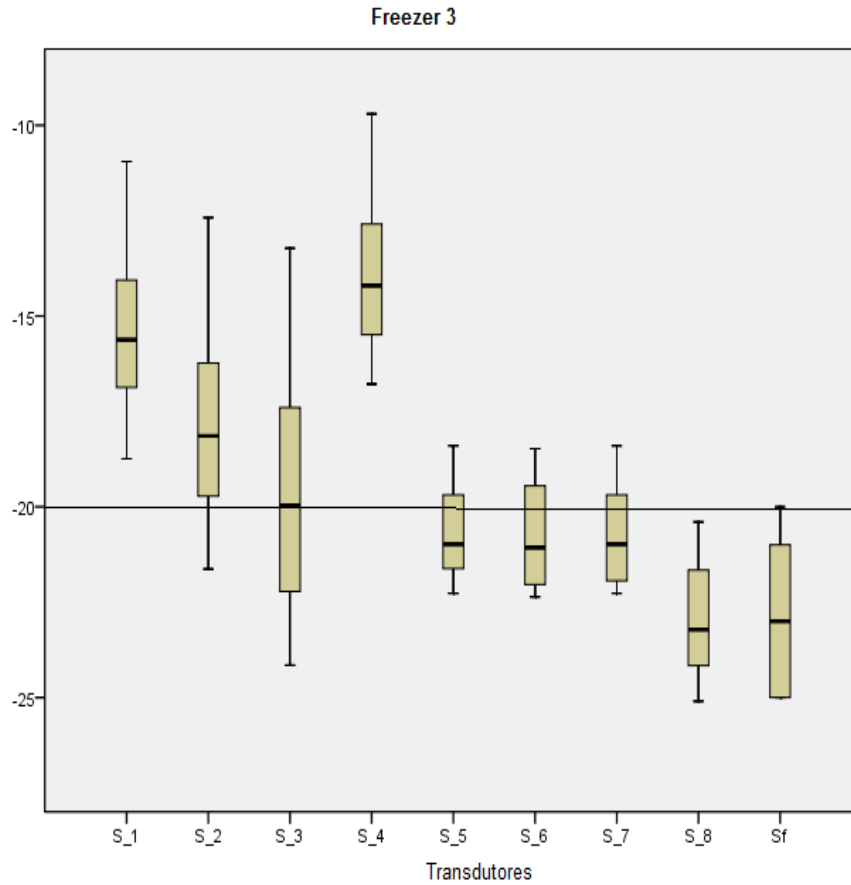
Nas medições de temperatura com alta resolução espacial (terceira etapa de medição de temperatura), os gradientes máximos foram observados para  $F_1$  de  $9,7\text{ }^\circ\text{C}$ , nas medições do compartimento D, entre os  $S_8$  e  $S_7$  (Figura 41); para  $F_2$  de  $3\text{ }^\circ\text{C}$ , nas medições do compartimento A, entre os  $S_2$  e  $S_3$  (Figura 42); e para  $F_3$  de  $5,6\text{ }^\circ\text{C}$ , nas medições do compartimento A, entre os  $S_3$  e  $S_4$  e (Figura 43).



**Figura 41: Terceira etapa de medição de temperatura para o freezer 1 com os transdutores posicionados nos compartimentos A e D e linha horizontal posicionada na temperatura limite de funcionamento.**

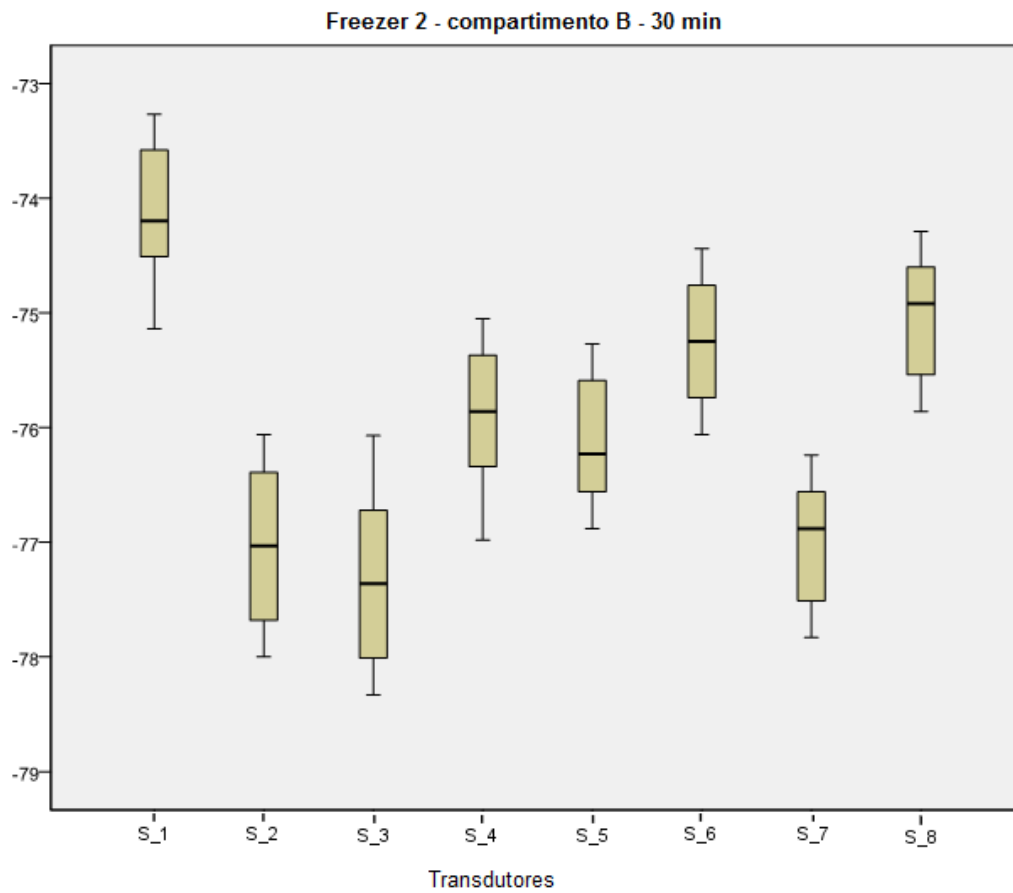


**Figura 42:** Terceira etapa de medição de temperatura para o *freezer 2* com os transdutores posicionados nos compartimentos A e E e linha horizontal posicionada na temperatura limite de funcionamento.

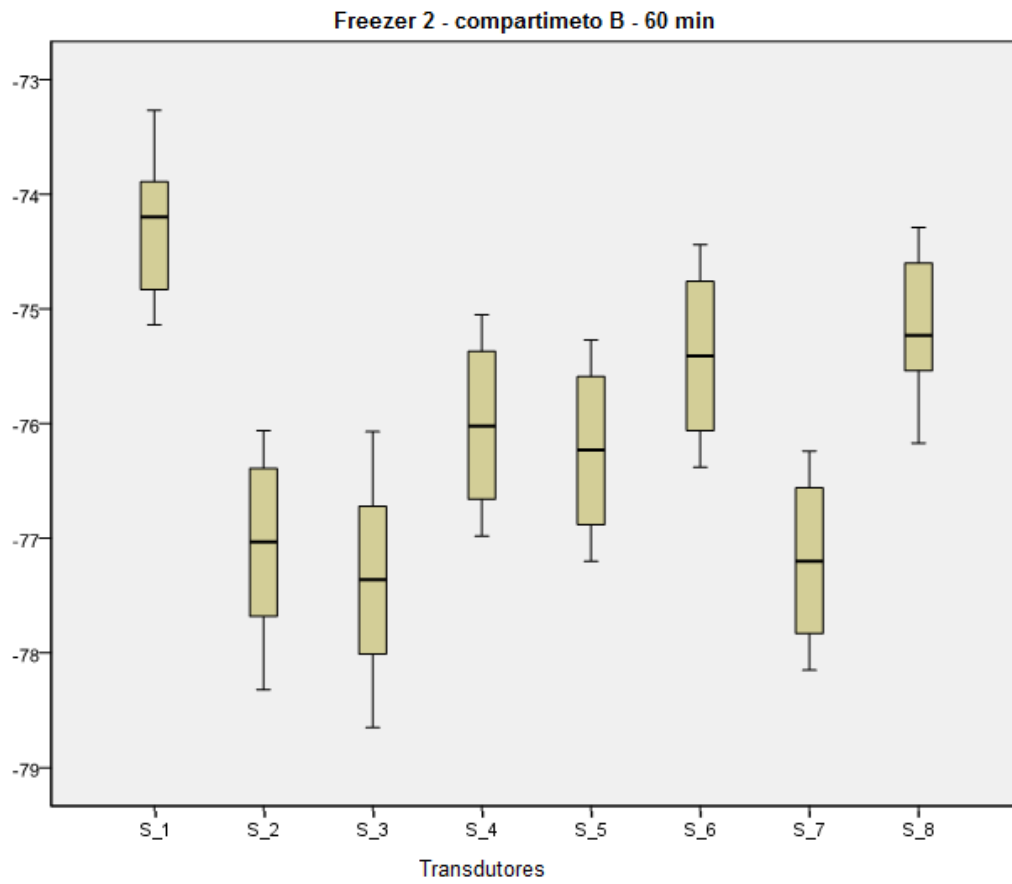


**Figura 43: Terceira etapa de medição de temperatura para o freezer 3 com os transdutores posicionados nos compartimentos A e E e linha horizontal posicionada na temperatura limite de funcionamento.**

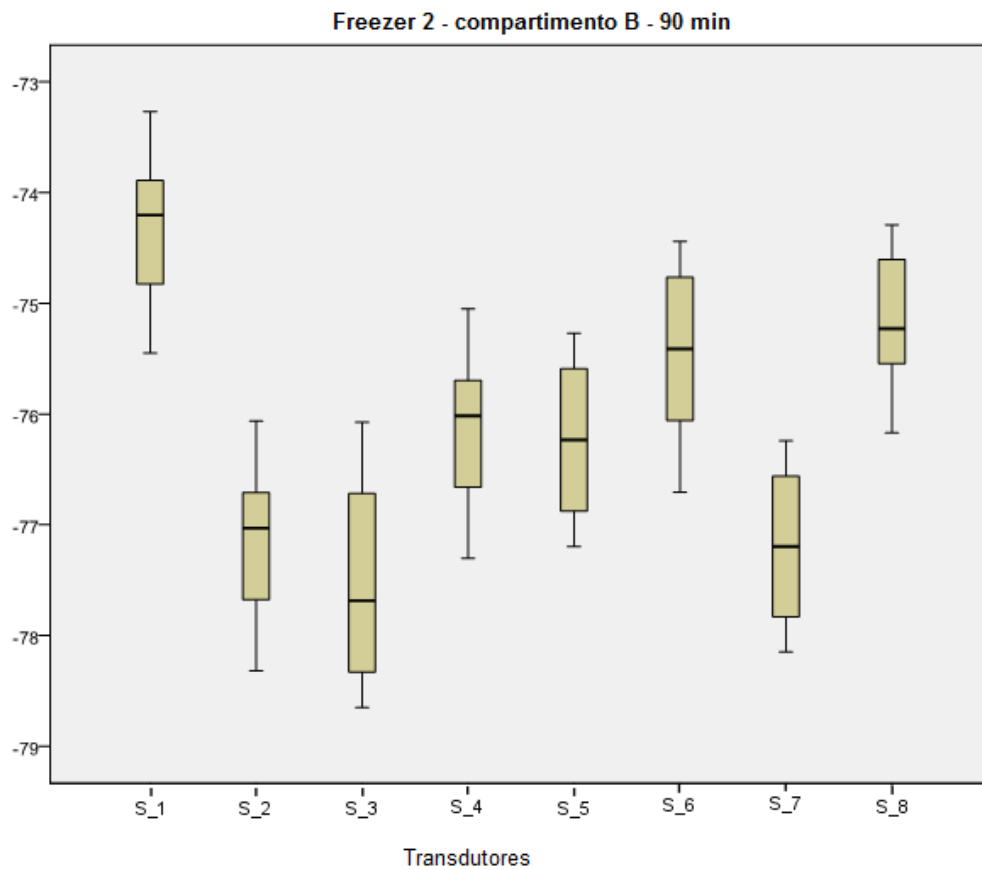
As medições de temperatura foram realizadas durante 90 minutos, tempo superior ao recomendado por documentos normativos e os resultados demonstraram que tempos superiores não acarretam diferenças significativas nos resultados. Como exemplo são apresentados os resultados do compartimento B do freezer 2, para medições de temperatura durante 30 min (Figura 44), 60 min (Figura 45) e 90 min (Figura 46).



**Figura 44: Medição de temperatura durante 30 min para o compartimento B do freezer 2.**



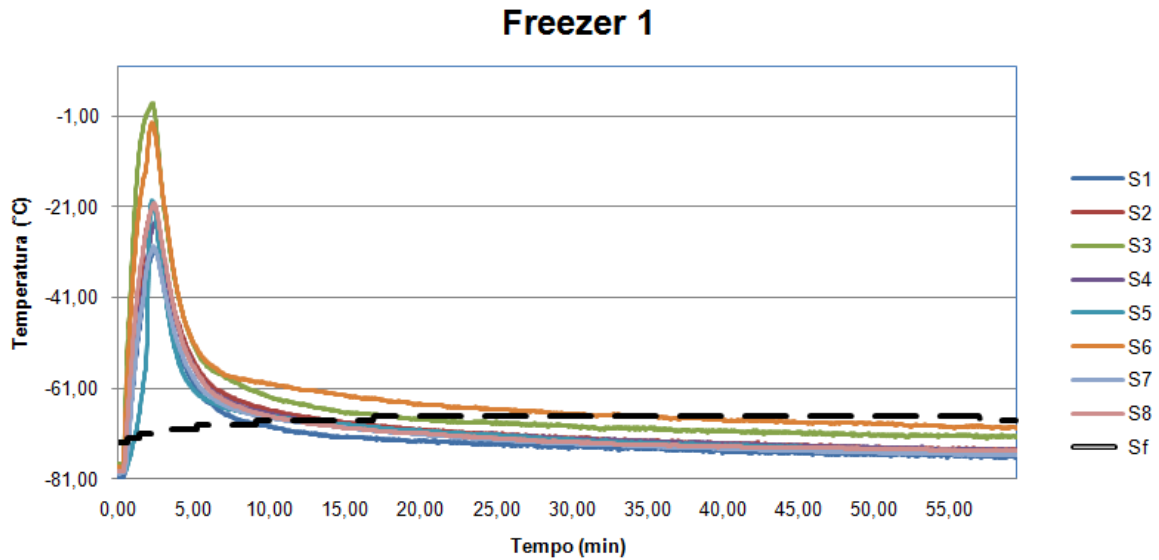
**Figura 45: Medição de temperatura durante 60 min para o compartimento B do freezer 2.**



**Figura 46:** Medição de temperatura durante 90 min para o compartimento B do freezer 2.

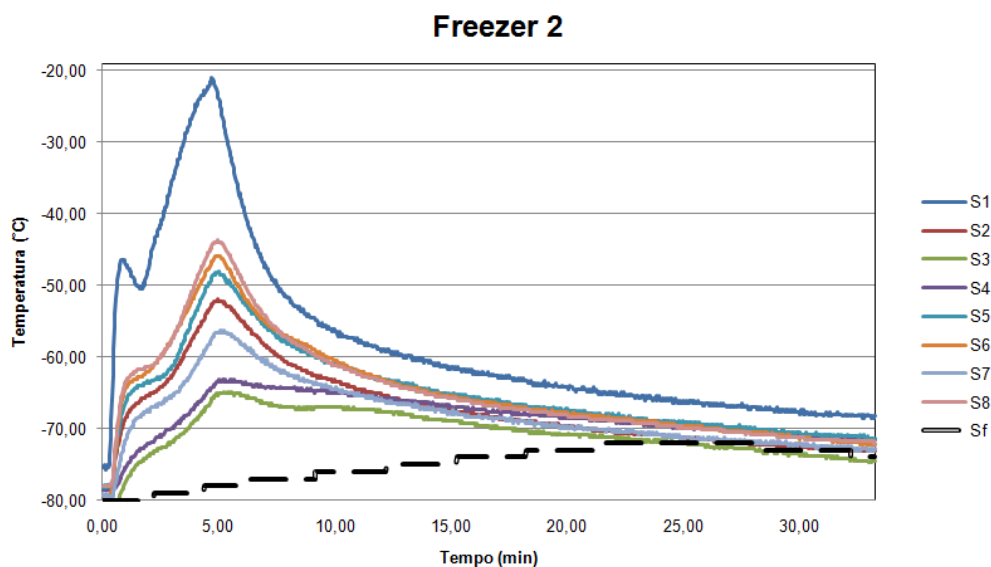
### 6.3. Análise de resposta a perturbações na estabilidade térmica

O tempo de recuperação dos equipamentos estudados observa-se nas Figuras 47 a 49. Para o freezer 1 com os transdutores de temperatura localizados no compartimento B, ao sofrer o distúrbio, todos ultrapassaram a temperatura limite de funcionamento, que para essa câmara térmica é de  $-65^{\circ}\text{C}$ . Depois de atingir um pico de temperatura, a medição para o decréscimo de  $1^{\circ}\text{C}$ , ocorreu por aproximadamente por 1h (Figura 47).



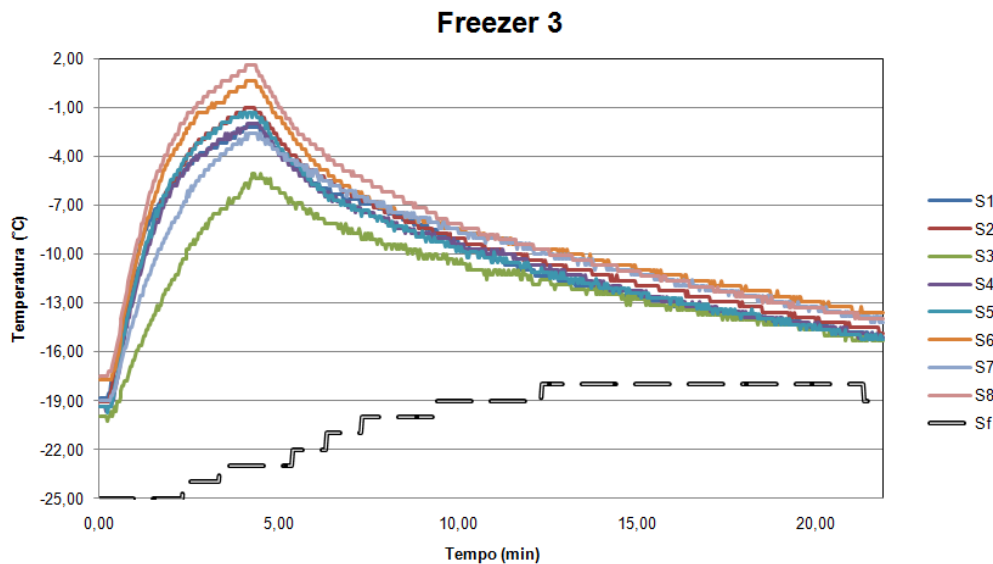
**Figura 47: Tempo de recuperação para  $F_1$  com os transdutores de temperatura localizados no compartimento B. Medição de temperatura ocorreu aproximadamente por 1h**

Para o *freezer 2* o tempo de medição de temperatura do valor antes do distúrbio até o pico e decréscimo de  $1^\circ\text{C}$  (Figura 48), foi menor que para o *freezer 1*. Esta câmara térmica, não apresentou temperatura positiva durante o tempo de recuperação.



**Figura 48: Tempo de recuperação para  $F_2$  com os transdutores de temperatura localizados no compartimento A. Medição de temperatura ocorreu aproximadamente por 40 min.**

Para o *freezer* 3 o tempo de recuperação é menor comparado com os demais *freezers* (Figura 49). Com os transdutores  $S_1$  a  $S_8$  posicionados no compartimento B, o tempo de medição de temperatura foi de aproximadamente 25 minutos, apresentando pontos de temperatura positiva.



**Figura 49: Tempo de recuperação para  $F_3$  com os transdutores de temperatura localizados no compartimento B. Medição de temperatura ocorreu aproximadamente por 25 min.**

Para os cálculos de incerteza de medição para os 3 *freezers* são apresentados nas Tabelas 9 a 11. O  $F_1$  é a câmara térmica que apresenta maior desvio padrão ( $\sigma$ ) espacial no volume (Tabela 9), enquanto o  $F_2$  apresentou os maiores valores de diferença entre a temperatura média pelos transdutores  $S_1$  a  $S_8$  ( $T_m$ ) e o valor que apresentava o  $S_f$  (Tabela 10). Para o *freezer* 3 apresenta os maiores valores de desvio padrão ( $\sigma$ ) para estabilidade (Tabela 11).



**Tabela 9: Para cada medição das diferentes etapas de avaliação realizadas no F<sub>1</sub>, são apresentados os valores de temperatura média obtidos nos transdutores S<sub>1</sub> a S<sub>8</sub> (T<sub>m</sub>), temperatura média no transdutor de monitoramento do freezer (S<sub>f</sub>), a diferença entre valor T<sub>m</sub> e S<sub>f</sub>, valores do gradiente espacial e temporal máximos de temperatura (com indicação do transdutor no qual foi observado em cada medição) no volume e incerteza de medição para 95,45%.**

<b>Freezer 1</b>						
	<b>S<sub>f</sub></b> (°C)	<b>T<sub>m</sub></b> (°C)	<b>S<sub>f</sub> - T<sub>m</sub></b> (°C)	<b>σ temporal</b> máximo	<b>σ espacial</b> máximo	<b>Incerteza de</b> medição (95,45%)
Volume interno total	-73	-76,2	3,2	0,2 (S <sub>f</sub> )	7,1	0,7
gA	-78	-80,2	2,2	0,2 (S <sub>f</sub> )	1,5	0,7
gb	-73	-79,3	6,3	0,3 (S <sub>8</sub> )	0,9	0,7
gC	-75	-74,6	-0,4	0,15 (S <sub>f</sub> )	1,5	0,9
gD	-74	-68,9	-5,1	0,2 (S <sub>f</sub> )	2,7	0,7
gA	-74	-82,2	8,2	0,2 (S <sub>3</sub> )	2,7	0,7
AR	-67	-71,1	4,1	0,2 (S <sub>5</sub> )	4,8	0,7

**Tabela 10: Para cada medição das diferentes etapas de avaliação realizadas no F<sub>2</sub>, são apresentados os valores de Temperatura Média obtidos nos Transdutores S<sub>1</sub> a S<sub>8</sub> (T<sub>m</sub>), temperatura Média no transdutor de monitoramento do freezer (S<sub>f</sub>), a diferença entre valor T<sub>m</sub> e S<sub>f</sub>, valores do gradiente espacial e temporal máximos de temperatura (com indicação do transdutor no qual foi observado em cada medição) no volume e incerteza de medição para 95,45%.**

<b>Freezer 2</b>						
	<b>S<sub>f</sub></b> (°C)	<b>T<sub>m</sub></b> (°C)	<b>S<sub>f</sub> - T<sub>m</sub></b> (°C)	<b>σ temporal</b> máximo	<b>σ espacial</b> máximo	<b>Incerteza de</b> medição (95,45%)
Volume interno total	-78,9	-73,8	-5,1	0,9 (S <sub>f</sub> )	4,5	0,7
gA	-78,9	-74,7	-4,7	1,5 (S <sub>6</sub> )	2,0	0,9
Gb	-79	-76,1	-2,8	0,8 (S <sub>3</sub> )	1,1	0,8
gC	-78,9	-75,6	-3,3	0,6 (S <sub>3</sub> )	1,0	0,7
gD	-79	-70,3	-8,8	0,2 (S <sub>6</sub> )	2,2	0,7
gE	-79	-61,6	-17,5	0,1 (S <sub>6</sub> )	1,5	0,7
gA	-78,9	-77,4	-1,5	1,5 (S <sub>6</sub> )	1,8	0,9
AR	-78,9	-69,1	-9,8	1,5 (S <sub>3</sub> )	2,0	0,8

**Tabela 11:** Para cada medição das diferentes etapas de avaliação realizadas no F<sub>3</sub>, são apresentados os valores de temperatura média obtidos nos transdutores S<sub>1</sub> a S<sub>8</sub> (T<sub>m</sub>), temperatura média no transdutor de monitoramento do freezer (S<sub>f</sub>), a diferença entre valor T<sub>m</sub> e S<sub>f</sub>, valores do gradiente espacial e temporal máximos de temperatura (com indicação do transdutor no qual foi observado em cada medição) no volume e incerteza de medição para 95,45%.

<b>Freezer 3</b>						
	<b>S<sub>f</sub></b> (°C)	<b>T<sub>m</sub></b> (°C)	<b>S<sub>f</sub> - T<sub>m</sub></b> (°C)	<b>σ temporal</b> máximo	<b>σ espacial</b> máximo	<b>Incerteza de</b> medição (95,45%)
Volume interno total	-22	-18	-4,3	2,1 ( <b>S<sub>f</sub></b> )	3,4	0,8
gA	-23	-13,9	-9,1	2,7 ( <b>S<sub>f</sub></b> )	2,5	0,9
gB	-23	-17,2	-5,4	2,3 ( <b>S<sub>6</sub></b> )	1,4	1,1
gC	-22	-19,2	-3,3	1,8 ( <b>S<sub>f</sub></b> )	1,2	1,0
gD	-23	-20,9	-1,7	2,0 ( <b>S<sub>f</sub></b> )	1,7	1,0
gE	-23	-22,0	-1,3	1,6 ( <b>S<sub>f</sub></b> )	1,4	0,9
gA	-22	-13,0	-9,4	2,8 ( <b>S<sub>f</sub></b> )	1,9	0,9
AR	-23	-19,0	-3,9	3,0 ( <b>S<sub>3</sub></b> )	3,6	0,9