

Transporte de Órgãos com Temperatura Controlada

Arthur Faria Campos*, 16/0024242, Sofia Consolmagnó Fontes†, 16/0018234

*† Engenharia Eletrônica, UNB-FGA, Brasília, Brasil

Resumo—Com o avanço da tecnologia as pastilhas de efeito Peltier estão se tornando alternativas interessante para sistemas de resfriamento. O artigo em questão descreve o desenvolvimento de um módulo eletrônico para o transporte de órgãos. Assim, utiliza-se células Peltier como sistema de refrigeração e sensores discretos associados a um microcontrolador para efetuar o controle de temperatura. Por conseguinte, para uma melhor preservação do órgão e um maior monitoramento, um software em linguagem em C que possibilita a obtenção dos dados do histórico da temperatura e o envio por bluetooth serial, para um aplicativo no celular.

Index Terms—Transplante de órgãos, pastilhas termoeletrônicas, microcontroladores, msp430, bluetooth, sensor de temperatura.

I. INTRODUÇÃO

DE acordo com o Ministério da Saúde o transplante é a transferência de células, tecidos, órgãos, ou de partes do corpo de um doador para um receptor, com a finalidade de restabelecer uma função do corpo do receptor. Dessa forma, o projeto final da disciplina de Microcontroladores e Microprocessadores será a realização de um módulo eletrônico para o transplante de órgãos tendo sua temperatura monitorada e controlada pelo sensor DS18B20.

Hodiernamente, existe uma grande limitação para os transplantes de doações de órgãos, uma vez que, existe uma baixa taxa de autorização da família do doador. Assim, aproximadamente metade das famílias interrogadas não concorda que sejam retirados os órgãos e tecidos do ente falecido para doação. Conforme, a imagem abaixo do Registro Brasileiro de Transplantes - Estatística de Transplantes do Ano de 2017 apresenta os dados da população brasileira relacionados a doação de órgãos [1].

Tabela I
REGISTRO BRASILEIRO DE TRANSPLANTES DE 2017

População atual	206.081.432	Necessidade anual estimada e nº de transplantes						
		Córnea Rim Fígado Coração Pulmão						
Extensão territorial (Km²)	8.514.876,60	Necessidade estimada						
		Transplantes realizados						
Número de Óbitos por ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Todas as causas	1.136.947	1.170.498	1.181.166	1.220.678	1.227.039	1.264.175	Indisponível	Indisponível
Causas externas	143.256	145.842	152.013	151.683	156.942	152.136	Indisponível	Indisponível
Causas neurológicas	25.303	26.948	28.712	30.300	32.381	34.721	Indisponível	Indisponível
População (IBGE*)	190.755.799	190.755.799	190.755.799	190.755.799	190.755.799	202.768.562	204.450.649	206.081.432

IBGE*: a partir do ano de 2015, o IBGE passou a utilizar a estimativa da população, fontes: era utilizado o CENSO

Outras grandes dificuldades para a realização de transplantes são os prazos muito curtos e a dificuldade da conservação dos órgãos durante o transporte. O prazo entre a retirada do órgão do doador e o seu implante no receptor é chamado de tempo de isquemia. Os tempos máximos de isquemia normalmente aceitos para o transplante de diversos órgãos são mostrados a seguir:

Tabela II
TEMPO DE ISQUEMIA

Órgão	Horas
Coração	4
Fígado	12
Pâncreas	20
Pulmão	6
Rim	48

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Transplante de Órgãos (2009) e Saadi (2013).

O transporte de tecidos e enxertos é feito por meio da utilização de caixas térmicas compostas por material isolante, e preenchidas com gelo para manutenção do estado hipotérmico, em temperaturas próximas a 4°C, assim como os órgãos são imersos em solução isotônica e isolados por sacos plásticos [2]. Decorrente ao tempo de transporte, cuidados com o manuseio e armazenagem temporária influenciam a qualidade, a integridade, a efetivação do transplante e a diminuição da rejeição do órgão no paciente [3].

Em 2005, de acordo com a Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular, o mau acondicionamento do órgão junto a solução estéril, acarretou na perda de cerca de 42 % de 1039 corações destinados para o transplante. Com tal característica, a utilização desse procedimento utilizado atualmente, não existe um controle adequado e um monitoramento elaborado na refrigeração dos órgãos.

Portanto, o projeto visa um melhor aproveitamento dos órgãos doados, por meio do controle e da manutenção da faixa de temperatura interna o que garante que as condições fisiológicas do órgão sejam preservadas, reduzindo assim as possibilidades de rejeição.

Outro benefício da utilização de um módulo eletrônico para refrigeração é a redução do peso e das dimensões das caixas térmicas do processo de transporte, auxiliando o trabalho das equipes de transplante e trazendo mais segurança ao sistema. Conforme que o Brasil apresenta vastas proporções territoriais, a funcionalidade do protótipo é recorrente em operações de longa distância e assim justifica a possibilidade de utilização de uma bateria, um adaptador no carro e uma fonte para alimentação em tomada 220V.

II. OBJETIVOS

O projeto TOTC (transporte de Órgãos com temperatura controlada) tem como objetivo desenvolver um protótipo para o transporte de órgãos que se dará tanto por meio terrestre quanto pelo meio aéreo. Assim, com base nas pesquisas foi possível definir alguns parâmetros essenciais para o projeto.

A. Segurança

Para maior segurança no transporte haverá um monitoramento da temperatura do interior por meio de um sensor a prova d'água, o DS18B20, e a amostragem no display no exterior da caixa. Além da utilização da interface de um aplicativo de celular para o acompanhamento da temperatura e a apresentação do histórico em gráfico.

B. Versatilidade

O projeto contará com um sistema de alimentação versátil para o protótipo, uma vez que, utilizará alimentação elétrica do sistema de 12V do veículo, além de uma bateria para alimentação, em casos em que a caixa alterne entre os meios de transporte, e uma fonte para alimentação de uma tomada 220v .

C. Portabilidade

O protótipo contará com dimensões e pesos menores que as utilizadas atualmente. Assim, a caixa térmica utilizada tem proporções de $20,3 \times 16,6 \times 26,4$ cm, fabricada de polietileno e isolada por isopor, dessa forma, tem-se garantia que o tempo de conservação de produtos frios são de até 8 horas, da mesma forma que quanto maior for o volume de líquido armazenado, maior será o tempo de manutenção da temperatura.

Consequentemente, a caixa pesa 0,576 kg e com a utilização pastilhas de efeito peltier ao contrário do gelo seco terá uma redução ainda maior do peso, e assim facilitará o transporte.

III. METODOLOGIA

Para facilitar o desenvolvimento do protótipo o projeto será dividido em três áreas de trabalho: Controle, estrutura e alimentação. Sendo que, na etapa final do projeto realizaremos testes de viabilidade.

Também contará com o controle de repositórios e arquivos do projeto feitos através da plataforma GitHub a fim de facilitar a organização e armazenagem dos produtos e documentos do projeto.

A. Controle

A área de controle será o foco principal do projeto, contará com um microcontrolador MSP430 para realizar toda a comunicação entre os módulos e cálculos necessários.

B. Alimentação

Está área ficará responsável pela elaboração do circuito que alternará entre as diferentes formas de alimentação do protótipo e também das potência de resfriamento.

C. Estrutura

O foco da área de estruturas é elaborar toda a parte mecânica do projeto, principalmente onde será alocado os controladores e o sistema de refrigeração. Assim como a análise de custos.

D. Testes

Serão realizados testes com órgãos simulados usando carne bovina, mimetizando órgãos humanos. Tendo como set point o valor de 4°C e um desvio aceitável de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, com a verificação dos dados por meio do sensor DS18B20. Dessa forma, os principais dados a serem obtidos nessas simulações são:

- O tempo que a caixa térmica leva para resfriar até a temperatura de set point;
- O tempo que essa caixa permanece com essa faixa de temperatura;
- Dados do sensor enviados por uma comunicação serial com a MSP;
- Plotagem do gráfico do histórico para análise.

IV. REQUISITOS

A. Requisitos técnicos

a) *Formatação dos documentos:* A elaboração e manutenção dos documentos produzidos no projeto deverá utilizar LaTeX de forma que a apresentação das informações fique organizada. Assim como, representará as instruções para a construção do protótipo.

b) *Custo:* O projeto deve ser viável economicamente para o escopo da disciplina e restrições da universidade.

B. Requisitos funcionais

a) *Temperatura:* Aferir a temperatura regulamente por meio do sensor DS18B20, e o sistema deve periodicamente atualizar os novos dados;

b) *Disposição:* Informar por meio do Display e pelo aplicativo a temperatura;

c) *Discordância de dados:* Informar o usuário quando os parâmetros de temperatura estiverem fora dos parâmetros popostos, por meio de um aviso por LED.

C. Requisitos de qualidade

a) *Protótipo:* O protótipo resultante do projeto deve ser robusto, portátil e funcional.

b) *Funcionalidade:* O sistema deve ser capaz de manter a temperatura controlada por volta de 4°C em estado hipotérmico, assim como seu histórico.

V. AMEAÇAS

Uma das principais dificuldades é isolamento entre as placas da célula de peltier, dessa forma o lado quente da célula não pode entrar em contato com o lado frio. Assim como o isolamento da caixa térmica, que depois de aberta para inserção da Peltier e do cooler, deve armazenar o ar resfriado. De acordo com o fabricante a caixa térmica não aguenta fortes impactos, vibrações, contato com produtos químicos nocivos ao plástico,

excesso de calor e de exposição a luz solar. Outro problema que pode acontecer é o sistema parar de funcionar e assim não conseguir realizar o resfriamento colocando em risco o órgão transportado. Portanto, um fator muito limitante para o projeto em questão é a falta de treinamento especializado dos motoristas do transporte no acondicionamento de órgãos, sendo assim, para eles utilizarem um aplicativo, um visor de LED usar e um adaptador da fonte no carro durante o transporte dificultaria o traslado.

VI. DESENVOLVIMENTO

A. Sistema de Resfriamento

O efeito Peltier ocorre quando uma corrente elétrica passa por dois condutores, fazendo assim aquecer ou resfriar o ambiente. A tensão aplicada aos pólos de dois materiais distintos cria uma diferença de temperatura, resultando no movimento do calor de um lado ao outro.

Consequentemente, uma pastilha de Peltier contém uma série de elementos semicondutores do tipo-p e tipo-n, conforme a Figura VI-A, agrupados como pares, os quais são soldados entre duas placas cerâmicas, eletricamente em série e termicamente em paralelo. Quando uma corrente DC passa por um ou mais pares de elementos de tipo-n e tipo-p, há uma redução na temperatura da junta ("lado frio - que é voltada para o interior do módulo") resultando em uma absorção do calor do ambiente. Este calor é transferido pela pastilha por transporte de elétrons e emitido no outro lado ("quente - voltada para o ambiente externo") via elétrons que movem de um estado alto para um estado baixo. A capacidade de bombeamento de calor de um resfriador é proporcional à corrente e o número de pares de elementos tipo-n e tipo-p.

Visando um melhor rendimento da célula de Peltier, foi-se convencionado que o cooler junto com o módulo eletrônico será instalado na tampa da caixa térmica, uma vez que precisa-se forçar a convecção.

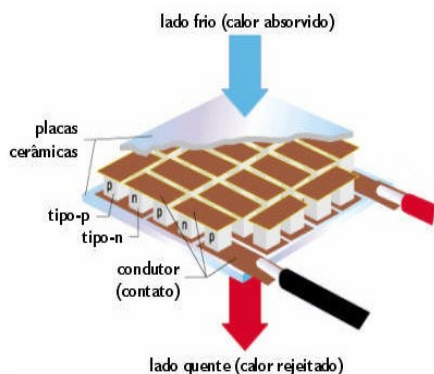


Figura 1. Pastilhas termoelétricas

1) *Cálculos:* A equação abaixo é utilizada para a dissipação de uma carga ativa, dessa forma é possível adequar qual célula de peltier é necessária para resfriar o projeto:

$$Q = \frac{V^2}{R} = V \times I \quad (1)$$

Q= Carga térmica ativa em watts.

V= Tensão aplicada ao sistema resfriado em volts.

R= Resistência da aplicação em ohms.

I= Corrente da aplicação em ampère.

$$Q = 12V \times 5A = 60W \quad (2)$$

Consequentemente, 1 Watt é aproximadamente 3,41 BTU/h. Então como calculado acima, temos 60 Watts dissipados pela célula de peltier, se usada nessa configuração.

$$60Watts \times \left| \frac{3,41BTU/h}{1Watts} \right| = 204,6BTU/h. \quad (3)$$

Em média 600 BTU são suficiente para gelar uma área de 1 m². Como a caixa térmica tem apenas 5 litros. É suficiente essa célula para refrigerar a caixa.

B. Descrição do hardware

1) *Bill of Materials:* Uma análise de custos mais detalhada será feita em fases mais avançadas do projeto, porém o objetivo do grupo é manter um orçamento viável.

Tabela III
MATERIAIS PREVISTOS

Material	Quant.	Custo(R\$)
MSP-EXP430FR2433	1	47,00
Sensor de temperatura LM35	1	7,10
Caixa térmica	1	35,00
Coolers	2	5,95×2
Pastilha Peltier 5A-60W	2	5,62×2
Bateria	2	64,76
Módulo de memória para cartão SD	1	6,90
Cartão de Memória SD 2GB-4GB	1	5,79
Fontes de alimentação	1	-
Adaptador para o carro	1	-
Filtro para tirar ruídos	2	-
Custo Total		R\$189,59

C. Descrição do software

1) *Código Principal:* O MSP se inicializa-rá em modo Low-Power ("LPM4"), e ficara ocioso até que o botão On/Off seja pressionado. Caso seja pressionado ele inicializara as todas as variáveis globais, depois ativando o display, com a tela de inicio. Após, irá ativar o sensor e testar se esta efetuando medidas, nesta etapa caso ocorra erro o sistema se reiniciara ativando um led de erro. Passado por estas duas etapas com sucesso o MSP entrará em um loop, medindo a temperatura em um determinado intervalo de tempo e mostrando-as no display.

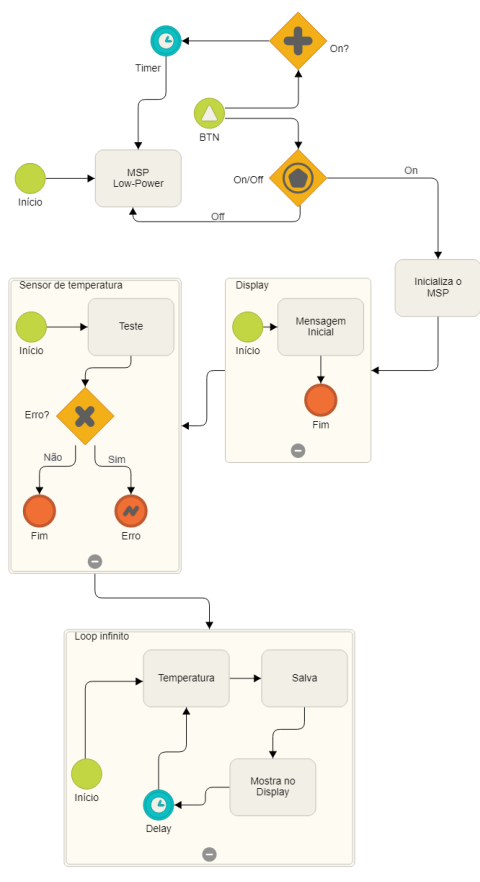


Figura 2. Fluxograma Inicial

2) **Código Bluetooth:** Para a criação do histórico de temperatura, foi elaborado um aplicativo, desenvolvido no MIT App inventor.

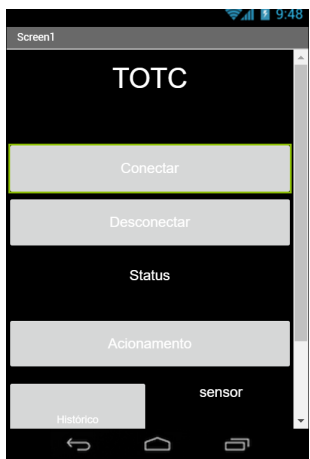


Figura 3. Print screen Aplicativo TOTO

Na plataforma energia utiliza-se da Biblioteca SoftwareSerial, em que o suporte serial nativo acontece através de uma peça de hardware incorporada no chip chamada UART. Este hardware permite que o chip Atmega receba comunicação serial mesmo enquanto trabalha em outras tarefas, desde que haja espaço no buffer serial de 64 bytes. Assim a placa MSP

envia os dados do sensor e o aplicativo recebe o histórico de temperatura do módulo de transporte, formando assim um gráfico dos dados.

VII. RESULTADOS

Nesta segunda etapa de desenvolvimento conseguimos implementar a utilização do Display 16x2 e das interrupções com push-button utilizando o MSP430 e a medição de temperatura com o sensor DS18B20 utilizando o arduino.



Figura 4. Display LDC 16x2

VIII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram apresentadas as propostas de organização, os requisitos elicitados e o cronograma a ser seguido IV.

Este documento visou apresentar uma base do projeto a ser desenvolvido da disciplina de Microprocessadores e Microcontroladores, do campus Gama da Universidade de Brasília com uma definição técnica mais profunda do projeto a ser desenvolvido. Além das propostas de organização, requisitos elicitados, cronograma a ser seguido, também foram denotadas as especificações técnicas de quase todos os materiais necessários para a implementação do protótipo.

Tendo em vista a entrega do protótipo, o projeto ainda precisa de melhorias, sendo elas, principalmente, orçamentais e técnicas. Da mesma forma, que ocorreu pequeno atraso devido ao tempo de entrega dos principais componentes, dessa forma a realização do protótipo físico foi prejudicada.

REFERÊNCIAS

- [1] A. B. de Trasplante de Órgãos, *Dimensionamento dos Transplantes no Brasil e em cada estado*, V. D. Garcia, Ed., 2017.
- [2] ANVISA, "Agência nacional de vigilância sanitária. transporte de órgãos é padronizado," *Revista Liberato*, 2009. [Online]. Available: http://www.anvisa.gov.br/divulga/noticias/2009/220509_2%28link1%29.htm
- [3] R. C. S. W. V. PEREIRA, W. A.; FERNANDES, "Diretrizes básicas para captação e retirada de múltiplos órgãos e tecidos. são paulo," *ABTO*, 2009.
- [4] L. E. Bohn, M. B. Haag, and A. B. Mombach., "Módulo eletrônico para transporte de órgãos em estado hipotérmico," *Revista Liberato*, vol. 17, no. 27, pp. 01–118, 2016.
- [5] L. P. E. A. T. D. Eduardo A. Di Marzo, Antonio M. Pavone, "Termovida – caixa térmica para transporte de órgãos para transplantes," *uspdigital*, 2008. [Online]. Available: <https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=1731&numeroEdicao=16>

APÊNDICE

Figura 5. Projeto do protótipo e sua construção em EPS [4]



Figura 6. Projeto TERMOVIDA [5]

Tabela IV
CRONOGRAMA

		Abril		Maio		Junho
T			1			
Q			2	Ponto de Controle #2		
Q			3			
S			4			1
S			5			2
D	1		6			3
S	2		7			4
T	3		8			5
Q	4	Ponto de Controle #1	9	Refinamento dos Codigos implemntados		6
Q	5		10			7
S	6		11			8
S	7		12			9
D	8		13			10
S	9		14			11
T	10		15			12
Q	11	Desenvolvimento Inicial dos Códigos com a biblioteca	16	Prova #2		Ponto de Controle #4
Q	12		17			14
S	13		18			15
S	14		19			16
D	15		20			17
S	16		21			18
T	17		22			19
Q	18	Prova #1	23	Aprimoramento do Protótipo		20
Q	19		24			21
S	20		25			22
S	21		26			23
D	22		27			24
S	23		28			25
T	24		29			26
Q	25	Montagem Inicial do protótipo físico e Testes	30	Ponto de Controle #3		Entrega Final
Q	26		31			28
S	27					29
S	28	Desenvolvimento do Relatório				30
D	29					
S	30					

Figura 7. LCDlib.h

```

1 #ifndef LCDLIB_H_
2 #define LCDLIB_H_
3
4 #include <msp430g2553.h>
5 #include <string.h>
6 #include <stdio.h>
7
8 // Delay Functions
9 #define delay_ms(x)          __delay_cycles
10 ((long) x* 1000)
11 #define delay_us(x)          __delay_cycles
12 ((long) x)
13
14 // Pins
15 #define EN                  BIT4
16 #define RS                  BIT5
17 #define DATA              0x0F
18
19 // Commands
20 #define CLEAR              0x01
21
22 // Functions
23 void lcdInit();
24
25 // Initialize LCD
26 void lcdTriggerEN();
27
28 // Enable
29 void lcdWriteData(unsigned char data);
30 // Send Data (Characters)
31 void lcdWriteCmd(unsigned char cmd);
32 // Send Commands
33 void lcdClear();
34
35 // Clear LCD
36 void lcdSetText(char * text, int x, int y);
37 // Write string
38 void lcdSetInt(int val, int x, int y);
39 // Write integer
40
41 #endif /* LCDLIB_H_ */

```

Figura 8. main.c

```

1 #include <msp430g2553.h>
2 #include "lcdLib.h"
3
4 int main()
5 {
6     WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD; // Stop Watchdog
7     lcdInit(); // Initialize LCD
8     lcdSetText("Projeto ", 4, 0);
9     lcdSetText("TOTC ", 5, 1);
10    __bis_SR_register(LPM0_bits); // Enter Low
11    Power Mode 0 without interrupts
12    return 0;
13 }

```

Figura 9. LCDlib.c

```

1 #include "lcdLib.h"
2
3 #define LOWNIB(x)          P2OUT = (P2OUT & 0xF0)
4 + (x & 0x0F)
5
6 void lcdInit() {
7     delay_ms(100);
8     // Wait for 100ms after power is
9     applied.
10
11     P2DIR = EN + RS + DATA; // Make pins
12     outputs
13     P2OUT = 0x03; // Start LCD (send 0x03
14     )
15
16     lcdTriggerEN(); // Send 0x03 3 times
17     at 5ms then 100 us
18     delay_ms(5);
19     lcdTriggerEN();
20     delay_ms(5);
21     lcdTriggerEN();
22     delay_ms(5);
23
24     P2OUT = 0x02; // Switch to 4-bit mode
25     lcdTriggerEN();
26     delay_ms(5);
27
28     lcdWriteCmd(0x28); // 4-bit, 2 line, 5
29     x8
30     lcdWriteCmd(0x08); // Instruction Flow
31     lcdWriteCmd(0x01); // Clear LCD
32     lcdWriteCmd(0x06); // Auto-Increment
33     lcdWriteCmd(0x0C); // Display On, No
34     blink
35 }
36
37 void lcdTriggerEN() {
38     P2OUT |= EN;
39     P2OUT &= ~EN;
40 }
41
42 void lcdWriteData(unsigned char data) {
43     P2OUT |= RS; // Set RS to Data
44     LOWNIB(data >> 4); // Upper nibble
45     lcdTriggerEN();
46     LOWNIB(data); // Lower nibble
47     lcdTriggerEN();
48     delay_us(50); // Delay > 47 us
49 }
50
51 void lcdWriteCmd(unsigned char cmd) {
52     P2OUT &= ~RS; // Set RS to Data
53     LOWNIB(cmd >> 4); // Upper nibble
54     lcdTriggerEN();
55     LOWNIB(cmd); // Lower nibble
56     lcdTriggerEN();
57     delay_ms(5); // Delay > 1.5ms
58 }
59
60 void lcdSetText(char* text, int x, int y) {
61     int i;
62     if (x < 16) {
63         x |= 0x80; // Set LCD for
64         first line write
65         switch (y) {
66             case 1:
67                 x |= 0x40; // Set LCD
68                 for second line
69                 write
70                 break;
71             case 2:
72                 x |= 0x60; // Set LCD

```


Figura 10. Sensor de Temperatura e Bluetooth

```

1 #include <OneWire.h>
2 #include <DallasTemperature.h>
3 #include <LiquidCrystal.h>
4
5 // Porta do pino de sinal do DS18B20
6 #define ONE_WIRE_BUS 3
7
8 // Define uma instancia do oneWire para
9   comunicacao com o sensor
10 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
11
12 // Armazena temperaturas minima e maxima
13 float tempMin = 999;
14 float tempMax = 0;
15
16 DallasTemperature sensors(&oneWire);
17 DeviceAddress sensor1;
18
19 void setup(void)
20 {
21   Serial.begin(9600);
22   sensors.begin();
23   // Localiza e mostra enderecos dos sensores
24   Serial.println("Localizando sensores DS18B20
25     ...");
26   Serial.print("Foram encontrados ");
27   Serial.print(sensors.getDeviceCount(), DEC);
28   Serial.println(" sensores.");
29   if (!sensors.getAddress(sensor1, 0))
30     Serial.println("Sensores nao encontrados
31       !");
32   // Mostra o endereco do sensor encontrado no
33     barramento
34   Serial.print("Endereco sensor: ");
35   mostra_endereco_sensor(sensor1);
36   Serial.println();
37   Serial.println();
38 }
39
40 void mostra_endereco_sensor(DeviceAddress
41   deviceAddress)
42 {
43   for (uint8_t i = 0; i < 8; i++)
44   {
45     // Adiciona zeros se necessario
46     if (deviceAddress[i] < 16) Serial.print("0
47       ");
48     Serial.print(deviceAddress[i], HEX);
49   }
50 }
51
52 void loop()
53 {
54   // Le a informacao do sensor
55   sensors.requestTemperatures();
56   float tempC = sensors.getTempC(sensor1);
57   // Atualiza temperaturas minima e maxima
58   if (tempC < tempMin)
59   {
60     tempMin = tempC;
61   }
62   if (tempC > tempMax)
63   {
64     tempMax = tempC;
65   }
66   // Mostra dados no serial monitor
67   Serial.print("Temp C: ");
68   Serial.print(tempC);
69   Serial.print(" Min: ");
70   Serial.print(tempMin);

```