

MATHEUS MAIA BARBOSA DE OLIVEIRA

**ATUALIZAÇÃO DE UM
EQUIPAMENTO PARA ÁREA
ODONTOLÓGICA ATRAVÉS DE UM
MÓDULO DE *DISPLAYUART* COM
INTERFACE SENSÍVEL AO TOQUE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica

ORIENTADOR: Prof. Dr. Maximiliam Luppe

São Carlos

2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Atendimento ao Usuário do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Oliveira, Matheus Maia Barbosa de
O48a Atualização de um equipamento para área odontológica através de um módulo de display UART com interface sensível ao toque. / Matheus Maia Barbosa de Oliveira ; orientador Maximiliam Luppe. São Carlos, 2012.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Matheus Maia Barbosa de Oliveira

Título: "Atualização de um Equipamento para Área Odontológica
Através de um Módulo de Display UART com Interface Sensível ao
Toque"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 22/06/2012,

com NOTA 8,3 (oito, três), pela comissão julgadora:

Prof. Dr. Maximiliam Luppe (Orientador) - EESC/USP

Prof. Dr. Ruy Barboza - EESC/USP

M. Sc. Mardoqueu Martins da Costa - EESC/USP

Prof. Associado Homero Schiabel
Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica
EESC/USP

Resumo

Uma interface com tela sensível ao toque é aqui proposta como aperfeiçoamento do equipamento chamado cicladora mecânica, utilizado na área odontológica. No intuito de reduzir custos e facilitar o projeto utilizou-se um módulo de *display* UART, modificando assim todo o controle eletrônico da máquina que antes utilizava um CLP, colocando o microcontrolador PIC como parte central do projeto, recriando o controle dos cilindros pneumáticos e da temperatura. Para tanto, fez-se uso do MPLAB IDE, do compilador PCH da CCS C, do Terminal Assistant da DWIN, do Adobe Illustrator para criação da arte das imagens. O resultado é um equipamento com um *design* mais elegante, de menor custo e com mais ferramentas tanto para o usuário quanto para o fabricante, focando no conteúdo, realmente atualizando o equipamento para as necessidades emergentes do mercado.

Abstract

An interface with touchscreen is here proposed as an improvement of the equipment called mechanical cycler, used in dentistry. In order to reduce costs and facilitate the project a display module UART was used, thus altering the entire electronic control of the machine that used a CLP before, now using the PIC microcontroller as a central part of the project, recreating the control of pneumatic cylinders and temperature. To this end, has been made use of the MPLAB IDE, the CCS PCH C Compiler, the Assistant Terminal DWIN, Adobe Illustrator for creating art images. The result is a device with a sleeker design, lower cost and with more tools for both the user and for the manufacturer, focusing on content, actually upgrading the equipment to the emerging needs of the market.

Lista de figuras

Figura 1 - Cicladora Mecânica com o módulo eletrônico substituído a sua esquerda	15
Figura 2 - Módulo eletrônico antigo.....	16
Figura 3 - Tela inicial do programa no CLP.....	17
Figura 4 - Define o ajuste do tempo de acionamento dos pistões	17
Figura 5 - Define o ajuste do tempo de recuo dos pistões.....	17
Figura 6 - Tela de configuração do número de ciclos	18
Figura 7 - Tela de visualização da contagem do número de ciclos	18
Figura 8 - Tela em que se mostrava o estado do equipamento.....	18
Figura 9 - Botão de temperatura	21
Figura 10 - Chave geral	21
Figura 11 - Esquema elétrico do regulador de tensão	22
Figura 12 - Pinagem do PIC18F4550	23
Figura 13 - <i>Display LCD-TFT UART</i>	25
Figura 14 - Janela de abertura do Terminal Assistant	27
Figura 15 - Janela inicial do Terminal Assistant	28
Figura 16 - Confirmação de comunicação entre a tela e o Terminal Assistant	28
Figura 17 - Janela de manipulação do <i>touchscreen</i> do Terminal Assistant.....	29
Figura 18 - <i>Peripherals Configuration</i> do <i>software</i> da DWIN	30
Figura 19 - <i>Display Parameter</i> do SDK da DWIN	31
Figura 20 - <i>Self-write Command</i> do IDE da DWIN	31
Figura 21 - <i>Picture Cut</i> no programa da DWIN	32
Figura 22 - Ferramentas para simulação de texto no Terminal Assistant	33
Figura 23 - Dynamics Drawing no <i>software</i> Terminal Assistant	34
Figura 24 - Parameter Settings do programa Terminal Assistant.....	34
Figura 25 - Espaço para gerenciar a memória de fontes do Terminal Assistant	35
Figura 26 - Janela do Terminal Assistant destinada ao envio das imagens ao módulo.....	35
Figura 27 - <i>Configuration file deliver</i> do SDK da DWIN	36
Figura 28 - Esquema elétrico do acionamento da válvula, da moto bomba e da carga resistiva	38
Figura 29 - Bloco de controle da temperatura	39
Figura 30 - Gráfico de tensão por pressão do pressostato digital ZSE30A(F) ISE30A-01-E..	40
Figura 31 - Placa de circuito de <i>driver</i>	41
Figura 32 - Circuito da placa com o PIC	41

Figura 33 - Tela inicial	42
Figura 34 - Tela de configuração.....	42
Figura 35 - Tela de operação	43
Figura 36 - Tela de informações.....	43
Figura 37 - Tela para confirmar o funcionamento da máquina	43
Figura 38 - Tela de confirmação para reiniciar a contagem dos ciclos	44
Figura 39 - Tela de escolha para controlar ou não a temperatura.....	44
Figura 40 - Tela para se retirar a arte dos números	44
Figura 45 - Gráfico da resposta a temperatura do NTC	45
Figura 49 - Conexões pneumáticas.....	48
Figura 50 - Equipamento novo, sem o recipiente térmico.....	49

Lista de tabelas

Tabela 1 - Especificações técnicas do termostato TIC-17RGTi.....	19
Tabela 2 - Especificações técnicas da motobomba SB1000C.....	19
Tabela 3 - Especificações técnicas do pressostato digital ISE30A-01-P.....	20
Tabela 4 - Especificações técnicas da eletroválvula SY7220-5D-02	20
Tabela 5 - Especificações do LM78M05.....	22
Tabela 6 - Memória, entradas e saídas do PIC18F4550	23
Tabela 7 - Periféricos importantes a aplicação do PIC18F4550	23
Tabela 8 - Especificações técnicas do <i>display</i> utilizado.....	24
Tabela 9 - Especificações técnicas do TIC226D	39
Tabela 10 - Especificações técnicas do MOC3020	39

Lista de siglas

A/D	Conversor Analógico Digital
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCP	<i>Capture/Compare/PWM</i>
CE	Comunidade Europeias
CI	Círculo Integrado
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DPI	<i>Dots Per Inch</i>
E/D/C/B	Esquerda/Direita/de Cima/de Baixo
ECCP	<i>Enhanced Capture/Compare/PWM</i>
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i>
EMI	<i>Electromagnetic Interference</i>
ESD	<i>Electrostatic Discharge</i>
EUSART	<i>Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>
FIFO	<i>First In, First Out</i>
GUI	<i>Graphic User Interface</i>
I/O	<i>Inputs and Outputs</i>
I ² C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IHM	Interface Homem Máquina
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LCM	<i>Liquid Crystal Monitor</i>
MSSP	<i>Master Synchronous Serial Port</i>
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
OTP	<i>One Time Programmable</i>
PI	Proporcional Integral
PIC	<i>Peripheral Interface Controller</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RISC	<i>Reduced Instructions Set Computing</i>
RoHS	<i>Restriction of certain Hazardous Substances</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>

SD	<i>Secure Digital</i>
SDK	<i>Software Development Kit</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SPP	<i>Streaming Parallel Port</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
TFT-LCD	<i>Thin Film Transistor Liquid Crystal Display</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver and Transmiter</i>
UR	Umidade Relativa
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

Lista de símbolos

$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius, unidade de temperatura
A	Ampère, unidade de corrente elétrica
bar	Bar, unidade de pressão
bps	Bits por segundo, unidade de velocidade de transferência de estados
HP	Cavalo-de-força, unidade de potência
Hz	Hertz, unidade de frequência
l	Litro, unidade de volume
MPa	Mega Pascal, unidade de pressão
pol	Polegada, unidade de comprimento
RMS	<i>Roots Mean Square</i>
s	Segundo, unidade de tempo
V	Volt, unidade de diferença de potencial elétrico
Vac	Tensão alternada, em Volts
Vcc	Tensão contínua, em Volts
W	Watt, unidade de potência
Ω	Omho, unidade de resistência à passagem da corrente elétrica

Sumário

1	Introdução	14
1.1	Recursos do equipamento.....	14
1.2	Descrição do antigo equipamento.....	14
1.2.1	Módulo eletrônico anterior.....	15
1.2.1.1	Painel frontal.....	16
1.2.1.1.1	Sistema de controle	16
1.2.1.1.1.1	Telas do sistema.....	17
1.2.1.1.1.2	Configuração dos parâmetros da cicladora mecânica.....	18
1.2.1.1.2	Sistema de Temperatura	19
1.2.1.1.3	Sistema de Pressão	19
1.2.1.2	Painel Lateral.....	20
2	Material e métodos	22
2.1	Alimentação	22
2.2	Nova unidade controladora	22
2.3	Display UART	24
2.4	Nova interface aqui proposta	24
2.4.1	Diretrizes	24
2.4.2	Terminal Assistant	27
2.4.3	Telas.....	36
2.4.4	Interface homem máquina	37
2.4.5	Acionamento da eletroválvula.....	37
2.4.6	Sistema de controle de temperatura	38
2.4.7	Acionamento da bomba	38
2.4.8	Acionamento da carga resistiva	39
2.4.9	Sistema de monitoramento de pressão	40
2.4.10	Leitura dos dados	40
2.4.11	Interrupção	40

3	Resultados e discussão.....	41
3.1	Placas de circuito.....	41
3.2	Tela	42
3.3	Controle de temperatura	44
3.3.1	Sensor	44
3.3.2	Circuito de Controle	45
3.4	Controle de pressão.....	45
3.5	Estrutura do programa criado para o PIC.....	46
3.5.1	Escrita na tela	46
3.5.2	Memória	46
3.5.3	Interrupções.....	46
3.5.4	Entradas e saídas.....	46
3.5.4.1	PWM.....	46
3.5.4.2	Leitura analógica	47
3.5.5	Controle de temperatura	47
3.6	Imagens do equipamento com a tela funcionando	47
4	Conclusão.....	50
5	Bibliografia consultada	51

1 Introdução

Este trabalho visa aperfeiçoar o equipamento para área odontológica chamado cicladora mecânica, cuja função é realizar ensaios de impacto e pressão em matérias a serem utilizados na boca, como por exemplo resinas utilizadas em próteses. Estes testes são essenciais para assegurar a qualidade do material utilizado.

A modificação visa melhorar a interface com o usuário, reduzir custos e aumentar os recursos do equipamento.

Inicialmente, será introduzido o equipamento que foi modificado para a inclusão nova da Interface Homem Máquina (IHM).

1.1 Recursos do equipamento

O equipamento possui os seguintes recursos:

- Ajuste de contagem de 1 até 1 bilhão de ciclos com parada automática;
- Contagem retentiva contra queda de energia e falta de pressão do ar comprimido, além da possibilidade de pausa;
- Controle de temperatura da amostra, variando de 20°C até 50°C;
- Ajuste na frequência dos pistões de até 2,5Hz;
- Possibilidade de avançar e recuar os pistões em tempos diferentes.

1.2 Descrição do antigo equipamento

A cicladora mecânica foi desenvolvida para reproduzir o processo de mastigação humana. É constituída de um módulo de controle eletrônico, um conjunto mecânico que possui 10 pistões pneumáticos e um recipiente térmico. O controle eletrônico aciona o recipiente térmico e os pistões pneumáticos do conjunto mecânico que, ao serem avançados contra a amostra, simulam a mastigação. O controle eletrônico ainda regula a temperatura da amostra e monitora a pressão de ar comprimido no conjunto mecânico.

Na Figura 1 é ilustrado o equipamento de ciclagem mecânica, sendo possível observar o módulo eletrônico antigo, o conjunto mecânico com os 10 pistões pneumáticos e o recipiente térmico.



Figura 1 - Cicladora Mecânica com o módulo eletrônico substituído a sua esquerda

1.2.1 Módulo eletrônico anterior

A Figura 2 ilustra o antigo módulo eletrônico da cicladora mecânica. Este módulo possui diversos mecanismos de acionamento e controle, podendo-se destacar:

- no painel lateral esquerdo localizava-se a chave para energizar o equipamento;
- no painel frontal há o sistema de controle dos pistões, as áreas de ajuste de temperatura e pressão, além dos botões para iniciar a operação e reiniciar a contagem do número de ciclos;
- no painel lateral direito encontra-se o acionamento do controle de temperatura.

Todos os mecanismos de acionamento e controle serão mais bem detalhados em seguida.



Figura 2 – Módulo eletrônico antigo

1.2.1.1 Painel frontal

No painel frontal estão inclusos os botões de operação e *reset*.

O botão operação tem a função de colocar a cicladora em funcionamento, ou seja, após todos os parâmetros serem ajustados acionando-se este botão, a cicladora mecânica operava.

O outro botão possuía a função de zerar a contagem dos ciclos, sendo que só funcionaria quando o botão operação estivesse desativado, caso o botão operação estivesse ativado, nada aconteceria.

1.2.1.1.1 Sistema de controle

O microcontrolador programável utilizado era o CLIC-02/12HR-D, da empresa WEG Equipamentos Elétricos S.A., possuindo uma *Liquid Crystal Display* (LCD) de quatro linhas por dezesseis caracteres e oito botões.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o Controlador Lógico Programável (CLP) é um equipamento eletrônico digital com *hardware* e *software* compatíveis com aplicações industriais. Segundo a National Electrical Manufacturers Association (NEMA), é um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e para criar funções específicas, tais como: lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos.

Em seguida há uma descrição de suas telas e suas possíveis configurações.

1.2.1.1.1 Telas do sistema

O sistema de controle gerenciava todos os parâmetros de acionamento dos pistões. Os parâmetros que podiam ser ajustados eram:

- 1 – O número de ciclos;
- 2 – Os tempos de acionamento ou recuo dos pistões.

A Figura 3 ilustra a tela inicial do antigo sistema de controle da cicladora mecânica.



Figura 3 - Tela inicial do programa no CLP

São ilustradas as Figuras 4 e 5 as telas onde se poderiam ajustar o tempo de acionamento ou de recuo dos pistões, respectivamente. O tempo mínimo de acionamento ou recuo dos pistões era de 0,1 segundos, porém o conjunto mecânico limita o sistema a 0,4 s devido a inércia. A resolução era de 0,1 s.



Figura 4 - Define o ajuste do tempo de acionamento dos pistões



Figura 5 - Define o ajuste do tempo de recuo dos pistões

Na Figura 6 é ilustrada a tela onde se poderia realizar a configuração do número de ciclos que a máquina iria realizar.



Figura 6 - Tela de configuração do número de ciclos

Já a Figura 7 ilustra a tela onde se visualizava a contagem do número de ciclos que o equipamento realizava. Nestas telas tínhamos o contador C01 que representava a contagem em unidades e o contador C02 que representava a contagem em milhões.



Figura 7 - Tela de visualização da contagem do número de ciclos

Na Figura 8 é ilustrada a tela que apresentava o estado da cicladora mecânica. Nesta tela tínhamos a indicação da mastigadora estar ligada (*on*) ou desligada (*off*), a sinalização de pressão que verificava se existia pressão suficiente para o equipamento operar, e a indicação de *reset*.



Figura 8 - Tela em que se mostrava o estado do equipamento

1.2.1.1.1.2 Configuração dos parâmetros da cicladora mecânica

Para alterar as configurações o usuário deveria seguir os seguintes passos:

1 – Clicar no botão “SEL”: clicando neste botão o cursor iria piscar na forma de um retângulo, como indicado na Figura acima. Utilizando as setas era possível se locomover para o número que seria alterado;

2– Clicar no botão “SEL” novamente: apertando este botão novamente o cursor iria piscar na forma de um traço abaixo do número, habilitando assim a possibilidade de alteração do valor;

3 – Clicar nas “setas”, para cima ou para baixo: clicando nestas setas o usuário iria incrementar ou decrementar o valor desejado;

4 – Clicar no botão “OK” para selecionar o valor;

5 –Clicar no botão “ESC” para finalizar as alterações.

1.2.1.1.2 Sistema de Temperatura

O sistema de controle de temperatura utilizado era o termostato digital TIC-17RGTi da empresa Full Gauge Eletro-Controles Ltda. Seguem suas especificações técnicas na tabela 1.

Tabela 1 - Especificações técnicas do termostato TIC-17RGTi

Alimentação direta	12, 24, 115 ou 230 Vac em 50 ou 60 Hz / 12 ou 24 Vcc
Temperatura de controle	-50 a 105 °C, podendo expandir até 200 °C se utilizado um cabo sensor de silicone
Resolução	0,1 °C (entre -10 e 100 °C) e 1 °C no restante da faixa
Corrente máxima	16(8) A / 250 Vac
Consumo	1 HP
Dimensões	71 x 28 x 71 mm ³
Temperatura de operação	0 a 50 °C
Umidade de operação	10 a 90% UR (sem condensação)

Este sistema era responsável em manter a temperatura da água do recipiente térmico na temperatura desejada por meio do aquecimento de duas resistências de chuveiro. A partir de seu único botão o usuário poderia escolher a temperatura ajustada, variando de 20°C a 50°C.

A temperatura era homogeneizada no recipiente por uma moto bomba submersa modelo SB1000C, da empresa SarloBetter Equipamentos Ltda. Seguem as especificações da bomba de circulação na tabela 2.

Tabela 2 - Especificações técnicas da motobomba SB1000C

V (V)	f (Hz)	P (W)	Q máx. (l/h)	Q mín. (l/h)	H máx. (mca)
220	60	13	1000	400	2,0

Optou-se por utilizar duas resistências para limitar a corrente, assim sendo não haveria necessidade de utilizar cabos especiais de alimentação. As resistências tinham, cada uma, 16,9 Ω, medidos a 20 °C com o multímetro digital ET-2101 da empresa Minipa do Brasil Ltda.

A resistência climatizada utilizada é para ducha elétrica Stilo, de 220 V e 5400 W, do Grupo Forusi, composta de ligas de ferro e ligas de cobre.

1.2.1.1.3 Sistema de Pressão

O sistema de pressão era responsável por verificar se existia pressão suficiente para o funcionamento da cicladora mecânica.

O módulo utilizado era o pressostato digital ZSE30A(F) série ISE30A-01-P, da empresa japonesa SMC Corporation. Seguem as especificações na tabela 3.

Tabela 3 - Especificações técnicas do pressostato digital ISE30A-01-P

Alimentação direta	12 a 24 Vcc com ondulação máxima de mais ou menos 10 %
Pressão de controle	-0,0001 a 1 MPa
Resolução	0,001 MPa
Corrente de consumo máxima	40 mA
Dimensões máximas	30 x 30 x 44 mm ³
Temperatura de operação	0 a 50 °C
Umidade de operação	35 a 85% UR (sem condensação)
Coneção	Canalização R 1/8 M5 x 0,8 (conector plugável fêmea rosado)

Neste sistema era possível visualizar a pressão do ar comprimido em MPa por meio de seu *display* de 4 dígitos e sete segmentos de duas cores (verde ou vermelho), mas sua modificação era bloqueada para o usuário.

O componente também possuía uma saída de coletor aberto PNP com máximo carregamento de corrente de 80 mA e tensão residual máxima de 1 V, além de uma resposta ao tempo máxima de 2,5 ms.

Para acionar os pistões utiliza-se uma eletroválvula também da marca SMC Corporation, sendo o modelo de 5 vias SY7220-5D-02, com duas posições biestável, conector DIN e rosca de ligação de 1/8 pol. Seguem suas especificações na Tabela 4.

Tabela 4 - Especificações técnicas da eletroválvula SY7220-5D-02

Alimentação	24 Vcc
Margem de pressão de trabalho do piloto interno	0,1 a 0,7 MPa
Frequência máxima de funcionamento	5 Hz
Temperatura de funcionamento	-10 a 50 °C
Consumo	0,45 W

1.2.1.2 Painel Lateral

Observa-se com a Figura 9 que o painel lateral direito possuía a chave que habilitava o sistema de temperatura. Esta chave somente deveria ser acionada após a verificação de que o recipiente térmico possuísse água em seu reservatório, evitando assim a danificação do equipamento e o perigo de incêndio. Já na Figura 10 é ilustrado o painel lateral esquerdo que possuía a chave geral do equipamento, sendo responsável por habilitar todos os sistemas do módulo de controle.



Figura 9 - Botão de temperatura



Figura 10 - Chave geral

2 Material e métodos

2.1 Alimentação

Para alimentar os circuitos de baixa potência utilizou-se uma fonte chaveada fabricada pela Indústria Transformadores Esteves, com entrada de 85 a 260 V com 50 ou 60 Hz e saída contínua de 24 V e máximo 1 A, além de um circuito com regulador de tensão LM78M05 montado conforme o esquema da Figura 25.

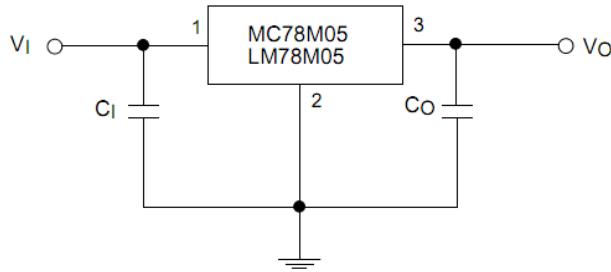


Figura 11 - Esquema elétrico do regulador de tensão

Seguem as especificações do regulador de tensão na Tabela 5.

Tabela 5 - Especificações do LM78M05

Entrada de tensão máxima para saída de 5 V	35 V
Saída com tensão de entrada de 7 a 20 V, corrente de saída de 5 mA a 350 mA, em 25 °C	mínimo de 4,75 V, típico de 5 V e máximo de 5,25 V
Corrente quiescente, em 25 °C	típico de 4,0 mA e máximo de 6,0 mA
Queda de tensão com corrente de saída de 500 mA, em 25 °C	2 V
Temperatura de operação	0 a 150 °C

A seguir são descritas as mudanças realizadas.

2.2 Nova unidade cotroladora

O *touchscreen* escolhido contém um módulo UART integrado para facilitar seu desenvolvimento, assim o microcontrolador deveria possuir ao menos uma comunicação UART.

O microcontrolador escolhido deveria também possuir um módulo USB (*Universal Serial Bus*) para posterior desenvolvimento de uma interface com computador para captura da pressão exercida nas amostras.

Logo, por estes fatores, pelo conhecimento anterior do projetista com microcontroladores PIC, por ter acesso ao compilador CCS e ao gravador PIC kit 2, optou-se pelo PIC18F4550. Na Figura 26 segue o mapa de seus pinos.

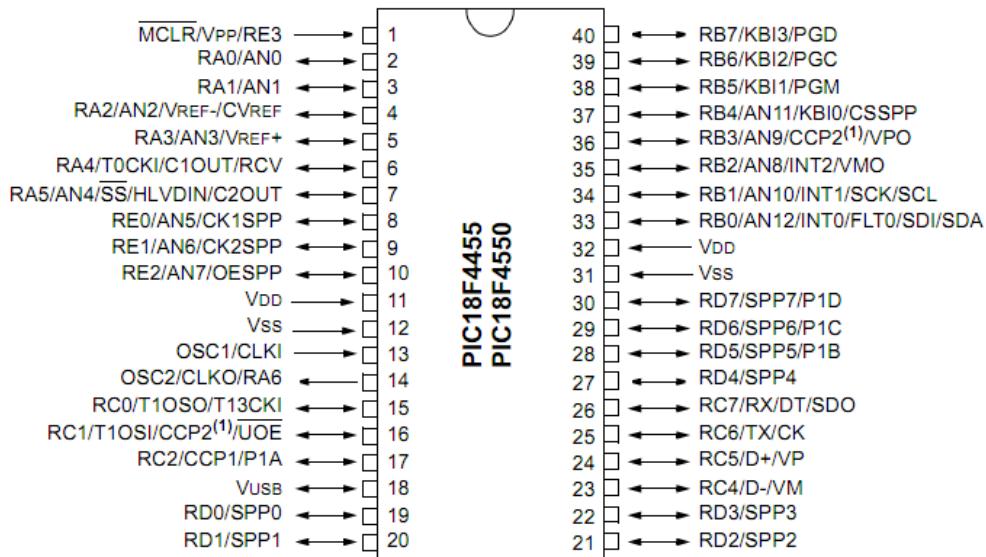


Figura 12 - Pinagem do PIC18F4550

Os PIC são uma família de microcontroladores fabricados pela empresa Microchip Technology, que processam dados de 8 bits, de 16 bits e de 32 bits. Seu nome é oriundo de *programmable interface controller*, controlador de interface programável. Contam com extensa variedade de modelos e periféricos internos e possuem alta velocidade de processamento devido a sua arquitetura Harvard e conjunto de instruções RISC (*Reduced Instructions Set Computing*), conjuntos de 35 instruções e de 76 instruções, com recursos de programação por memória *flash*, EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) e OTP (*One Time Programmable*).

Este modelo permite que sua alimentação varie de 4,2 V a 5,5V.

Seguem algumas especificações gerais e de periféricos nas tabelas 6 e 7:

Tabela 6 - Memória, entradas e saídas do PIC18F4550

Memória de programa		Memória de dados		I/O	A/D 10-bit
Flash (bytes)	Instruções de uma palavra	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)		
32 k	16384	2048	256	35	13

Tabela 7 - Periféricos importantes a aplicação do PIC18F4550

CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EUSART	Comparadores	Temporizadores 8/16-bit
		SPI	Mestre I ² C			
1/1	Sim	Sim	Sim	1	2	1/3

Para programá-lo utilizou-se o software da Microchip Technology, o MPLAB IDE e o seu programador Pickit 2, além do compilador PCH a ele vinculado, da empresa Custom Computer Services Incorporation.

2.3 Display UART

O componente escolhido para desenvolvimento foi o modelo DMG80480S070_01WT, havendo a possibilidade para inserção do modelo C no produto final para redução de custo, uma vez que a programação e dimensões são as mesmas.

Seguem as especificações técnicas deste modelo na tabela 8.

Tabela 8 - Especificações técnicas do *display* utilizado

Driver	H600
Cores	16,7M, tecnologia TFT-LCD
Tamanho (pol)	7,0 na diagonal
Proporção	16:9
Resolução	800x480 e 133 dpi
Brilho Típico	450 nit
Backlight	64 níveis
Memória (Flash)	348Mb
Alimentação (V)	5,0 - 42,0
Consumo (W)	4,08, 340 mA em 12 V
Temperatura de trabalho	-20 °C – 70 °C
Modo Serial	UART 1N8
Baud Rate	1200 – 115200bps
Área Visível	152,4*91,4 mm ²
Ângulos de visões (E/D/C/B)	70°/70°/50°/70°
Dimensões	190,0*112,0*15,5 mm ³
Peso	305 g
Periféricos	RTC; Buzzer; 4 fios <i>touch</i> resistivo
Temperatura de trabalho	-20 a 70 °C

Este modelo tem taxa de atualização de 77 Hz, com taxa de visualização de uma imagem completa de 55 ms, de um texto matriz 16*16 de 0,09 ms, tempo de atualização após o comando *refresh* (0xD0) de 20 ms e número total de imagens na memória de 236.

A conexão com o PIC é feita nas portas RC7, RC6 e RC5, sendo o Tx, Rx e *Busy* do módulo.

2.4 Nova interface aqui proposta

2.4.1 Diretrizes

Existem CLPs com tela sensível ao toque, como, por exemplo, o GPM-18, da empresa Metaltex. Também existem módulos separados para serem inclusos aos CLPs. Porém, para incluir a nova interface, optou-se por mudar o tipo da unidade controladora visando reduzir os custos.

Assim, optou-se por mudar todo o sistema eletrônico, projetando novamente o controle de temperatura para embarcar na nova unidade controladora, retirando o termostato.

O principal motivo da escolha por esta tela baseou-se na facilidade de desenvolvimento e no curto tempo de projeto, além da facilidade de acesso e suporte, uma vez que há um distribuidor

localizado na cidade de São Carlos. O fabricante é a empresa chinesa Beijing DWIN Technology Corporation Ltda.

A comunicação da tela com o novo microcontrolador é feita pela *Universal Asynchronous Receiver and Transmitter* (UART) de *buffer First In, First Out* (FIFO) em nível TTL ou RS232, com apenas 3 fios, o Rx, o Tx e o Busy. O Busy serve para indicar quando o *buffer*, tamanho de 24 mensagens, estiver quase cheio, faltando uma mensagem para encher.

Segue a figura de um *display* da DWIN.

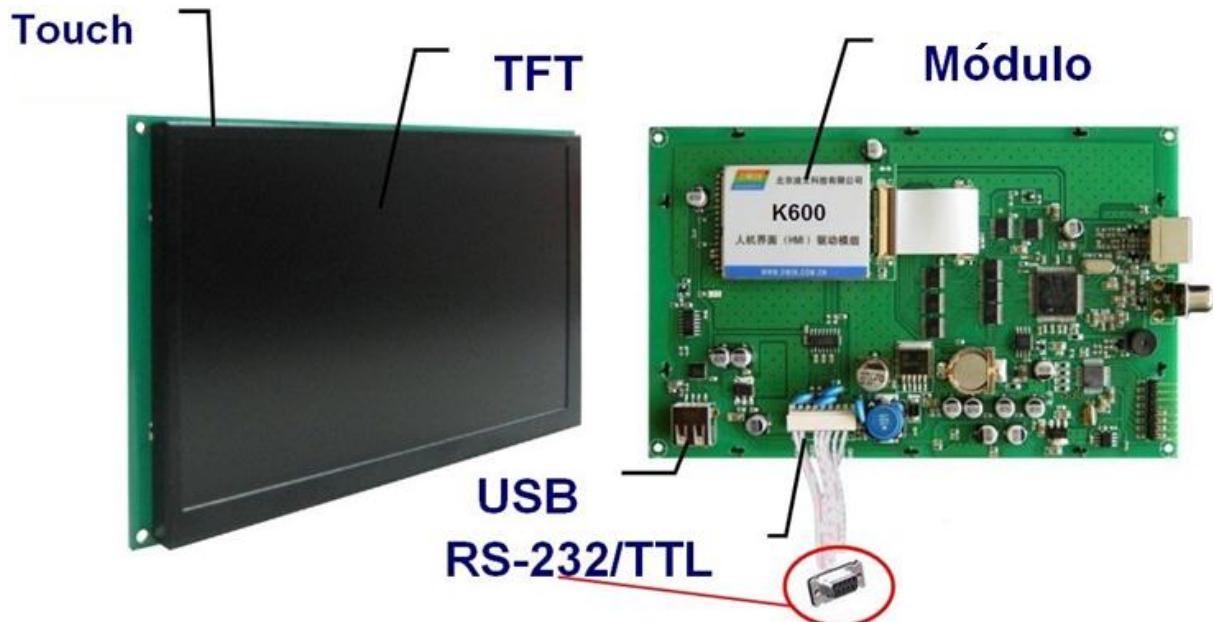


Figura 13 - *Display* LCD-TFT UART

Todos os comandos tem o seguinte formato: cabeçalho (0xAA), comando, dados (máximo de 248 bytes) e *end frame* (0xCC, 0x33, 0xC3, 0x3C)

Alguns exemplos de comandos úteis são:

- Recorte transparente (comando 0x9D) ou normal (comando 0x9C): estes comandos recortam uma área retangular (X_s e Y_s formam o ponto superior esquerdo e X_e e Y_e são as coordenadas do ponto inferior direito, delimitando o retângulo) de uma imagem armazenada em algum endereço de memória do *display* (Pic_ID), inseridos na tela atual, de acordo com a posição desejada (X e Y). Ambos mostram a figura e apagam a cor de fundo, a diferença entre eles é que o 0x9D também recompõe o fundo da imagem anterior, permitindo o recorte transparente. O formato do vetor é AA, comando, <Pic_ID>, <X_s>, <Y_s>, <X_e>, <Y_e>, <X>, <Y>, CC, 33, C3, 3C;
- Curva dinâmica (comando 0x74): o formato da mensagem é AA, 74, <X>, <Y>, <Bcolor>, <(Y0,Fcolor0), (Y1,Fcolor1) ... (Yi, Fcolori)>, CC, 33, C3, 3C. Este comando rapidamente mostra mudanças múltiplas na tela, por meio do desenho de uma linha vertical (X,Y_s e X,Y_e), com a cor de fundo definido por Bcolor, “limpando” a tela. Em

seguida, os elementos de imagem (X e Yi) são inseridos com as cores desejadas escolhidas por Fcolori, formando ao longo do tempo a curva desejada;

- Mapeamento *touch* (comandos 0x72 e 0x73 ou 0x78 e 0x79): a tela pode enviar tanto a coordenada a qual foi pressionada, por meio do comando 0x73, quanto o código da área pressionada, pelo comando 0x79. A criação do código de área é realizada no software, bastando desenhar a área desejada, designando um código a ela, de 0x00 a 0xFF, e escolhendo se haverá animação e transição para outra imagem. Ao retirar a pressão, os comandos 0x72 ou 0x78 serão enviados. O formato dos vetores recebidos são AA, 73, <X>, <Y>, CC, 33, C3, 3C ou AA, 79,<Touch_Code>, CC, 33, C3, 3C;
- Controle da luz de fundo (comando 0x5F): pode-se controlar a intensidade de brilho da luz de fundo por *Pulse Width Modulation* (PWM). Basta enviar o comando AA, 5F, <PWM_T>, CC, 33, C3, 3C, onde PWM_T varia de 0x00 a 0x3F, sendo 0x00 o *backlight* fechado e 0x3F o máximo de brilho;
- Atualizar (comando 0xD0, *refresh*): a estrutura da mensagem é simples, contendo apenas o *header*, o comando e o *end frame* (AA, D0, CC, 33, C3, 3C). Este comando serve para fugir de problemas de cintilação ou *jittering* (variação estatística do atraso na entrega de dados), evitando que parâmetros sejam mostrados de forma assíncrona. A estrutura de memória dupla permite que a memória principal mostre ao usuário as informações, enquanto a secundária opere as instruções, possibilitando que em um tempo de 100 ms o conteúdo da memória secundária chegue a principal. Há duas exceções, pois o comando 0x70, que mostra a figura de uma determinada posição, o faz automaticamente após mostrar a imagem, além de que se a *Central Processing Unit* (CPU) estiver processando o comando ele irá atrasar a atualização em 30 ms. Por meio do *Software Development Kit* (SDK) é possível configurar os parâmetros para realizar automaticamente este comando a cada 30 ms, 200 ms ou apenas quando realizar o comando 0x70 ou pressionar a tela.

Os modelos das telas são divididos nas classes C (baixo custo), T (aplicações industriais) e S (aplicados a áreas restritas) dependendo da qualidade (testes de impacto, de envelhecimento, vibração, temperatura e *dead pixel*/pré queima de elementos de imagem) e seus periféricos. As principais diferenças entre as classes são:

- S: 16.7 Milhões de Cores. Alto padrão de qualidade, com processos extras de confiabilidade, como pintura a prova d'água, resistência a altas temperaturas, maior intervalo para alimentar e dupla inspeção das funções chaves do display, além de haver proteção anti-explosão;
- T: 16.7 Milhões de Cores. Bom padrão de qualidade, projetado e manufaturado com padrões industriais;
- C: 65 Mil Cores. Baixo custo com produção em massa, projetado para a redução de custo sendo retirados os periféricos (*buzzer*, *Real Time Clock* (RTC), teclado, funcionalidades extras e atualização do *software*), além do conector ser do tipo *flat*.

Há modelos que rodam vídeo com interface estendida em cartão *Secure Digital* (SD) ou aceitam a entrada de vídeo composto, com *codecs* para exibição dos formatos 1080p de .rmvb, .mpeg1, .mpeg2, .mpeg4, .xvid, .divx, h.263, h.264, .wmv9/vc-1, além de saída estéreo para .mp3,.wma, .ogg, .flac, .ape, .acc, .ac3, .atra, .dts.

Todos os modelos tem proteção *Electromagnetic Compatibility* (EMC)/*Electromagnetic Interference* (EMI) e *International Organization for Standardization* (ISO) *Electrostatic Discharge* (ESD) classe 4 (8 kV de contato e 15 kV pelo ar), sendo que os modelos T e S sempre tem os dois núcleos do módulo encapsulados com proteção metálica para ambientes mais difíceis. Os produtos também respeitam a *Restriction of certain Hazardous Substances* (RoHS) e as normas Comunidades Europeias (CE), além da empresa obter ISO 9001:2008 e a SGS.

Outro atrativo é o SDK com *Graphic User Interface* (GUI), o Terminal Assistant (a versão utilizada no projeto é a v6.0) apresentado a seguir, por ser gratuito e ser uma ferramenta muito útil para criar os programas e acelerar ainda mais o desenvolvimento. Com ele é possível simular os comandos e ver a estrutura serial de comunicação.

2.4.2 Terminal Assistant

O programa requer uma plataforma Windows, sendo recomendado pelo fabricante as versões XP, 2003, Vista ou 7, porém também é possível utilizar a versão 2000. Também é necessário ter o .net Framework 2.0 e instalar um driver para o módulo, o CP2102 ou o XR21v1410, dependendo do seu modelo.

Depois de instalado deve-se conectar o *display* ao computador, alimentar o módulo, abrir o programa, escolher a resolução da tela, sua quantidade de cores (16 bits para 65 mil cores ou 24 bits para 16,7 milhões de cores) e local onde será salvo o projeto, conforme ilustra a Figura 11.

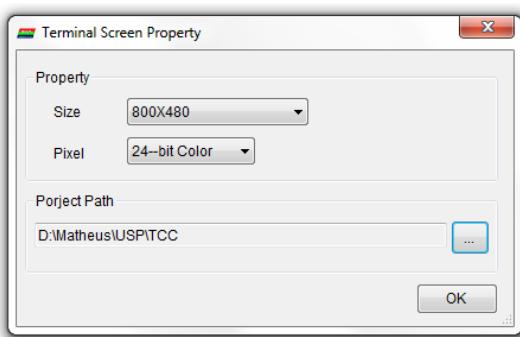


Figura 14 - Janela de abertura do Terminal Assistant

Em seguida a tela principal do programa será mostrada, conforme ilustra a Figura 12. Este é o local onde se deve realizar o *handshake*, determinando a porta a qual esta conectada o módulo ao computador, o valor do *baudrate* e abrir a conexão, para visualizar e simular os comandos no próprio *display*.

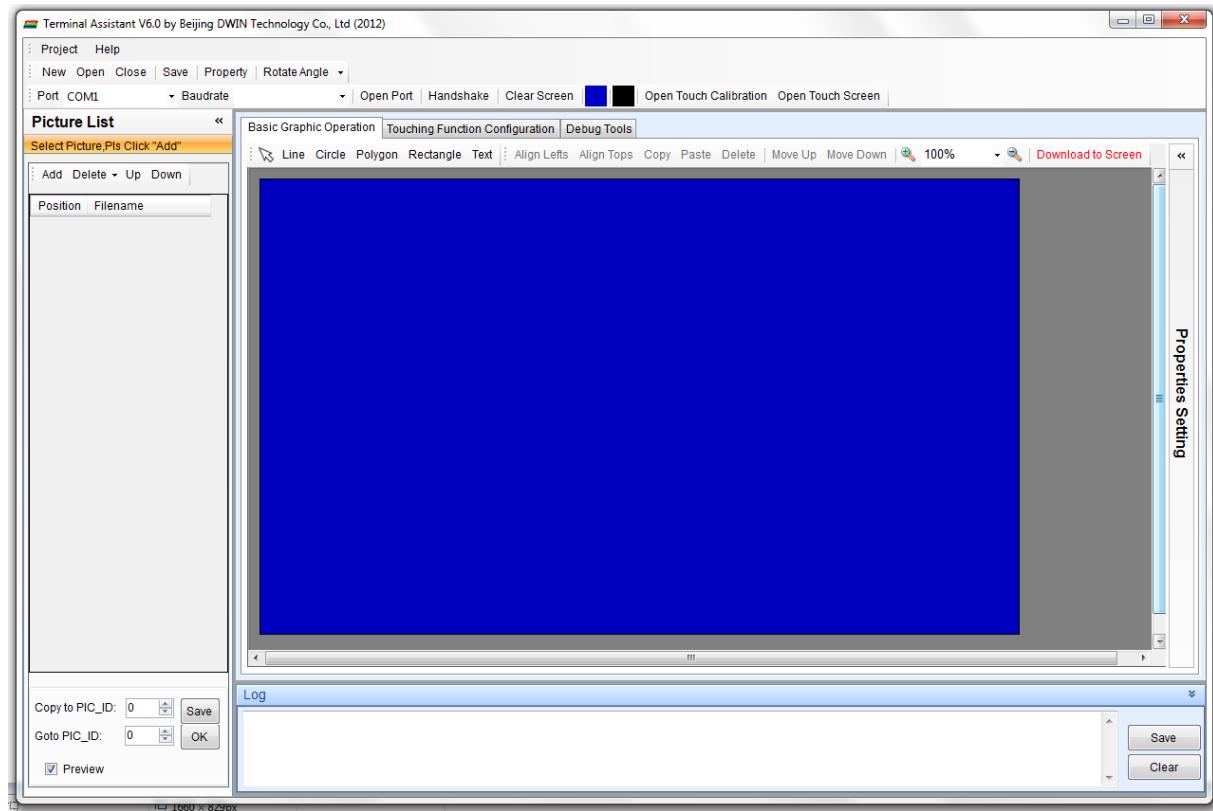


Figura 15 - Janela inicial do Terminal Assistant

Após esta etapa uma janela surgirá, indicando o sucesso da operação e mostrará a versão de configuração do *display*. Este número é necessário para determinar alguns parâmetros posteriormente descritos. A janela é ilustrada na Figura 13.

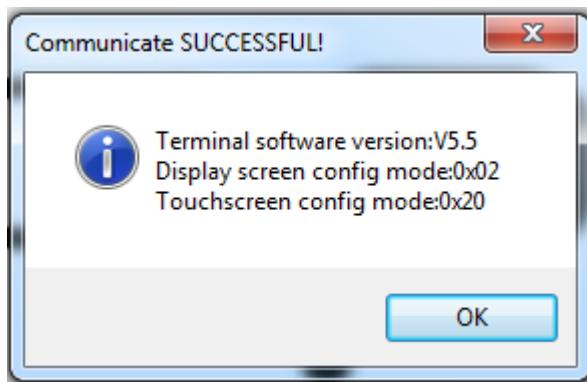


Figura 16 - Confirmação de comunicação entre a tela e o Terminal Assistant

A qualquer momento é possível escolher as cores de fundo e do primeiro plano, e na parte inferior do programa se localiza o *Log*, que é o espaço destinado a registrar todas as mensagens trocadas entre a tela e o computador.

Todas as transições entre as imagens, as animações dos botões e o mapeamento destes, ficam armazenadas no *display*. Com até 3 Gb de memória na placa, o *software* aceita imagens em formatos .bmp, .jpg ou .jpeg, .git e .png, sendo recomendado este último para realizar cortes transparentes devido ao seu canal α , o qual define a opacidade de um pixel numa imagem.

Para gerenciar as imagens no *display* deve-se utilizar o *Picture List*, localizado a esquerda da tela principal, lá se define a posição que a imagem ocupará na memória. Na parte inferior é possível navegar pelas imagens e copiá-las em outras posições.

Na tela *Basic Graphic Operation* é possível ver as coordenadas de cada ponto, realizar operações de desenho de linhas, círculos, retângulos e inserção de texto pré-definido, além de manipular, alinhando pela esquerda ou por cima, selecionar, arrastar, copiar, colar, apagar e enviar a tela (botão *Download to Screen*).

Escolhendo a opção *Touching Function Configuration* é possível criar o mapeamento táctil. Com ele pode-se criar áreas retangulares para definir os botões, escolher qual imagem será automaticamente sequenciada, se haverá animação no botão, qual será o código de cada área e há a possibilidade de inserir uma descrição para cada botão, facilitando o gerenciamento dos botões. Ao final da definição destes parâmetros se deve gerar o arquivo .hmi, pressionando o *Build Config file*. Este arquivo será posteriormente enviado ao módulo.

A animação é feita com apenas duas telas, uma normal e a outra com todos os botões os quais se desejam estar pressionados. Ao determinar sua área, o software irá automaticamente realizar o recorte neste tamanho e substituir a imagem anterior.

Nesta janela também é possível manipular as áreas, realizando as funções de selecionar, arrastar, alinhar a esquerda e por cima, igualar em largura e altura, copiar, colar, apagar e editar o tamanho por pixel. Esta janela está representada na Figura 14.

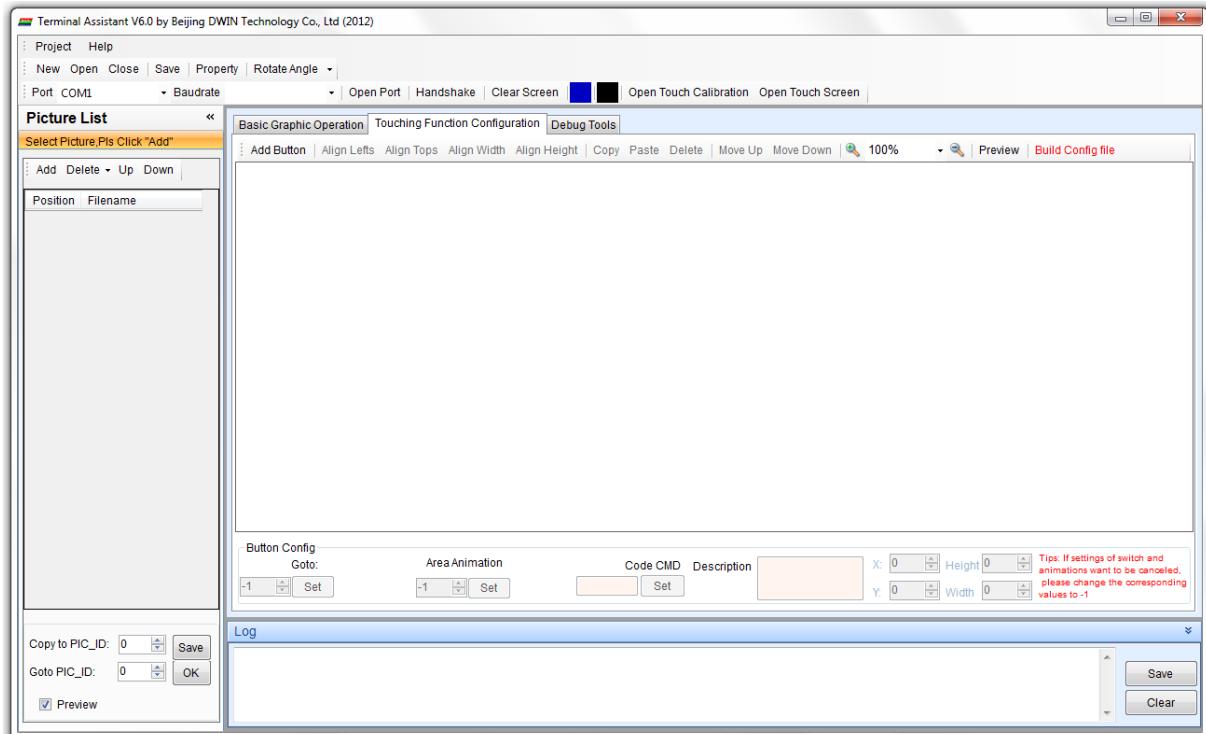


Figura 17 - Janela de manipulação do *touchscreen* do Terminal Assistant

Outro recurso interessante é poder prever a programação realizada com o botão *Preview*. Por meio dele surgi uma janela onde se pode clicar nos botões criados e ver o resultado.

Por fim há o *Debug Tools*, local em que se encontram as outras ferramentas de simulação (*Peripherals Configuration*, *Display Parameter*, *Self-write Command*, *Picture Cut*, *Text*, *Dynamis Drawing*) e configuração do módulo (*Parameter Settings*, *Font Download*, *Picture Download*, *Configuration file deliver*).

Segue uma descrição breve de cada recurso acompanhado de sua imagem.

- *Peripherals Configuration*: neste espaço é possível utilizar os comandos para o RTC, os comandos de controle da luz de fundo, acionar o *buzzer*, realizar a troca entre o uso da IHM e da exibição de vídeo, além de calibrar o táctil;

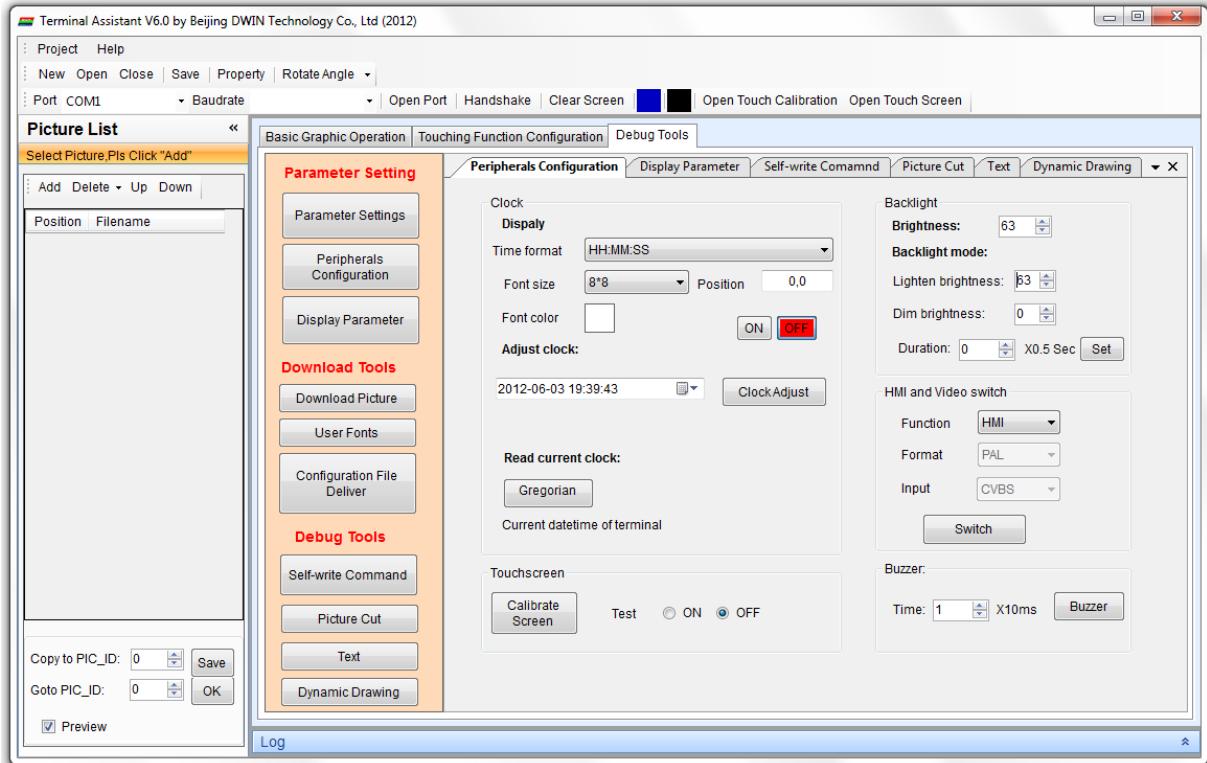
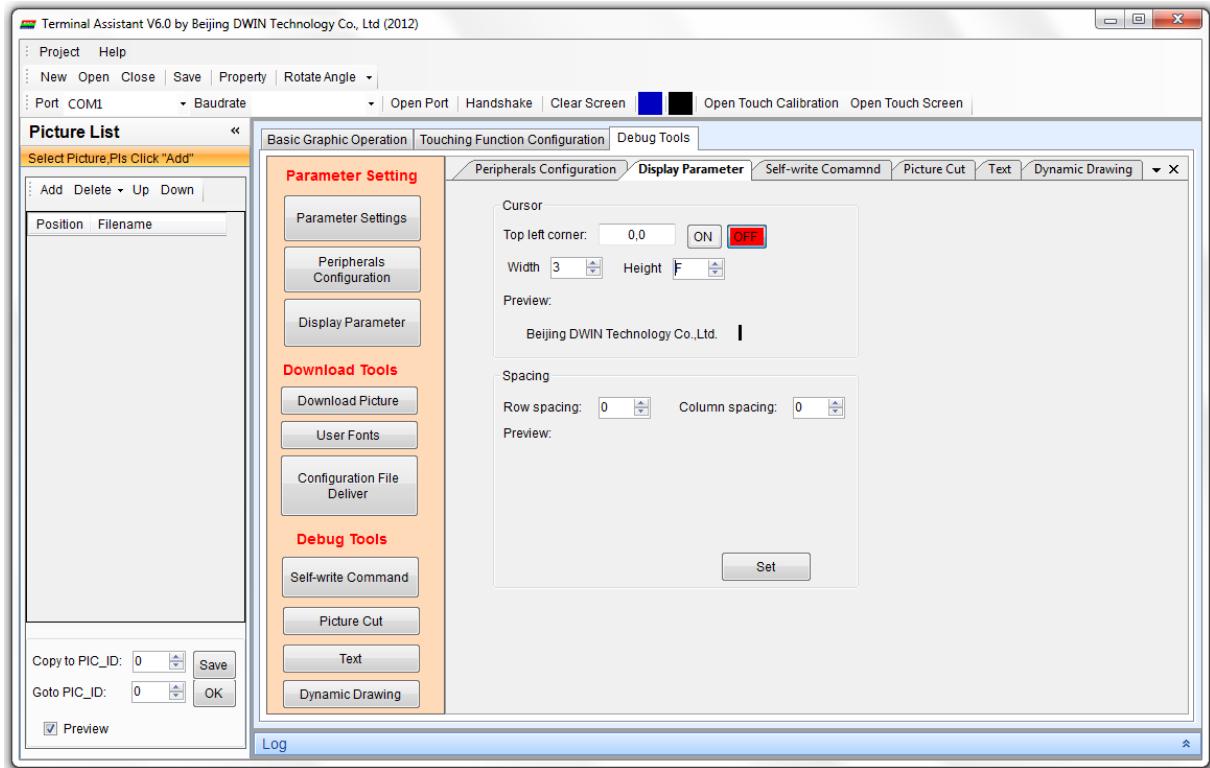
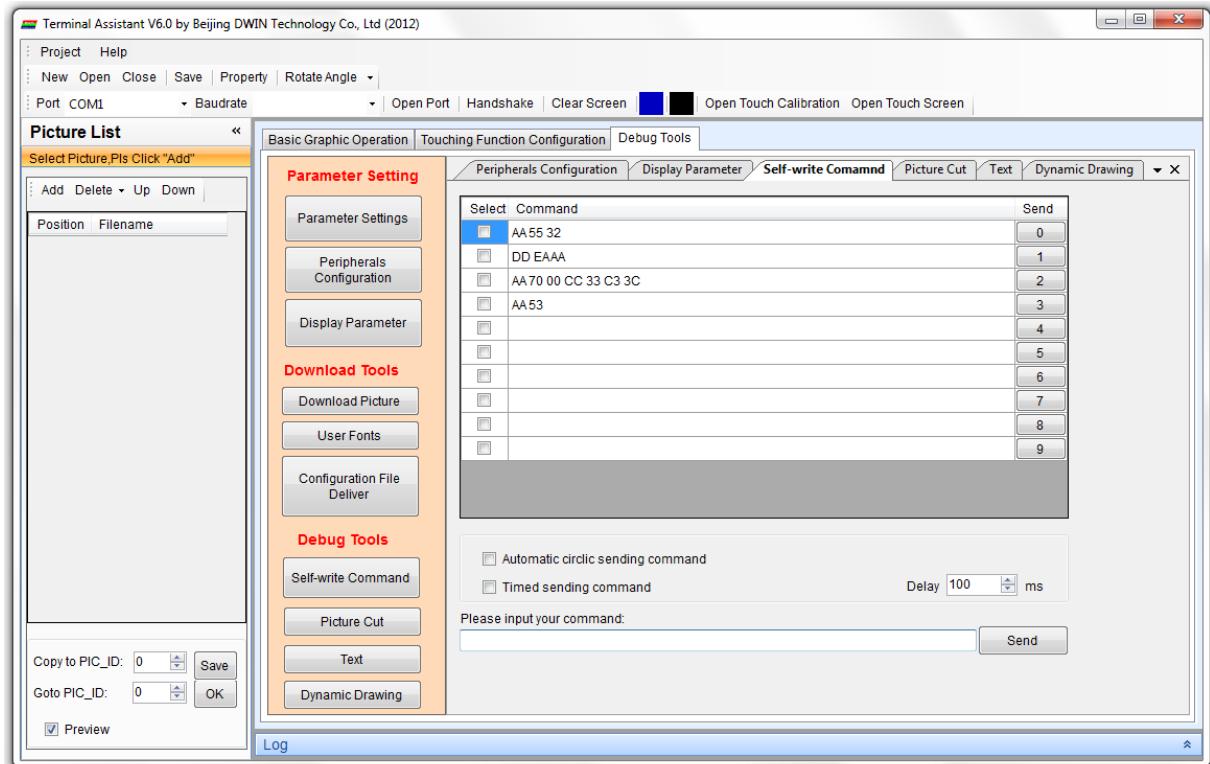


Figura 18 - *Peripherals Configuration* do software da DWIN

- *Display Parameter*: aqui é permitido variar o espaçamento do texto, tanto entre colunas como entre linhas, como mostrar o cursor, variando seus parâmetros de largura, posição e altura;

Figura 19 - *Display Parameter* do SDK da DWIN

- *Self-write Command*: este é o espaço mais útil para simulação, nele é possível registrar até nove comandos para enviá-los cicличamente e com atrasos entre eles;

Figura 20 - *Self-write Command* do IDE da DWIN

- *Picture Cut*: nesta janela é viabilizado o recorte normal ou transparente de uma imagem;

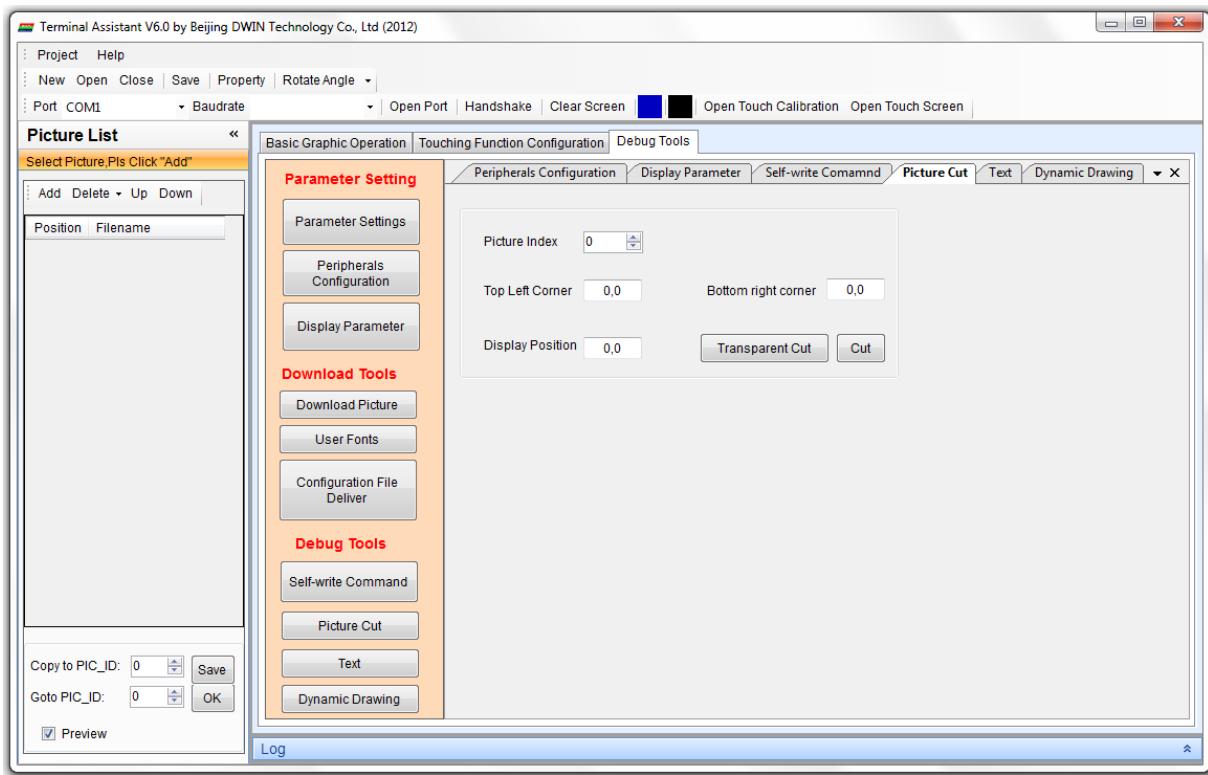


Figura 21 - *Picture Cut* no programa da DWIN

- *Text*: neste lugar é possível mostrar os comandos de texto utilizando as fontes padrões ou as bibliotecas estendidas, permitindo nestas últimas mostrar o texto sem o fundo. Aqui também pode se configurar a caixa de texto;

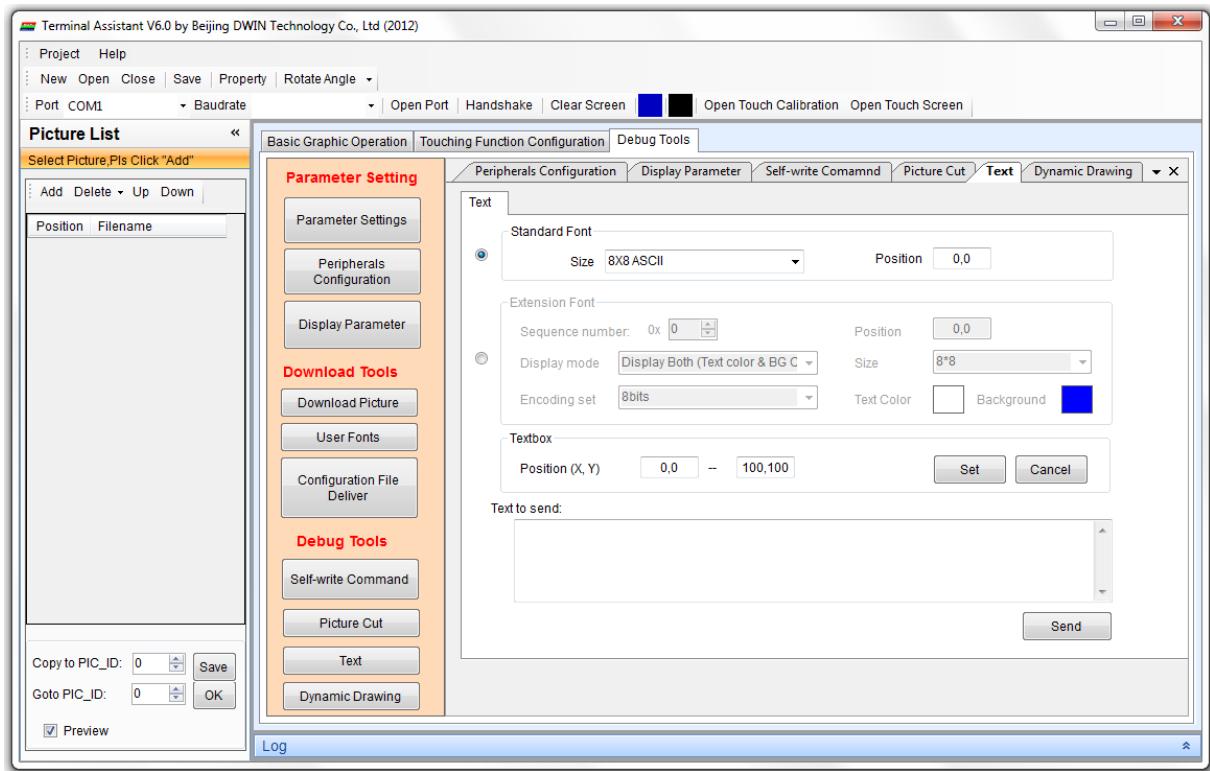


Figura 22 - Ferramentas para simulação de texto no Terminal Assistant

- *Dynamics Drawing*: aqui é possível realizar a operação de mover pedaços da imagem, tanto deixando o fundo com a cor de fundo definida, quanto fazer a imagem rolar (o que estiver no final, à direita, irá reaparecer no começo, à esquerda). Também é possível ver uma demonstração de curvas dinâmicas, estáticas e mapas de espectro (curva com preenchimento abaixo dela);

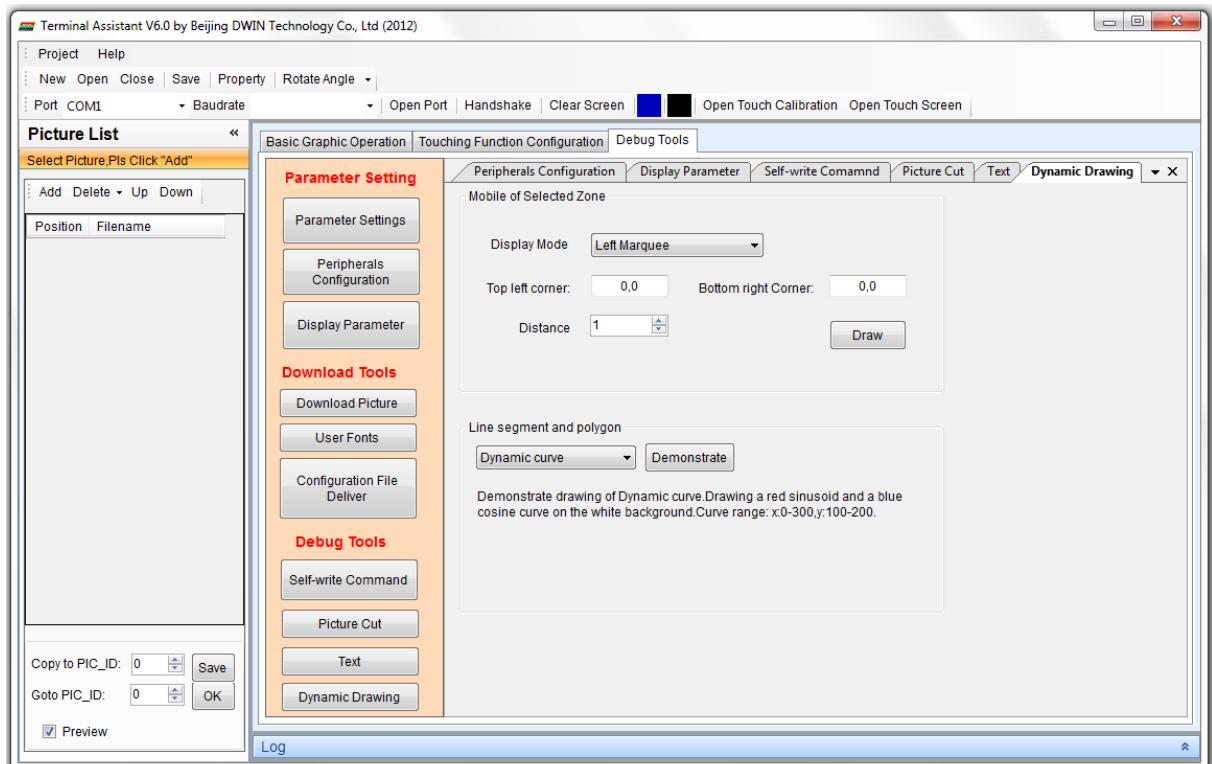


Figura 23 - Dynamics Drawing no software Terminal Assistant

- *Parameter Settings*: esta parte é essencial à programação e é de suma importância saber a versão de configuração da tela usada. Aqui é o lugar onde é possível configurar o *baudrate* em que o *display* irá se comunicar. Também é o local onde é permitido escolher se será utilizado o mapeamento táctil ou se utilizará o método das coordenadas. Há ainda outros recursos, como definir a possibilidade de controlar a luz de fundo ou configurar como o *display* responderá ao toque, por exemplo;

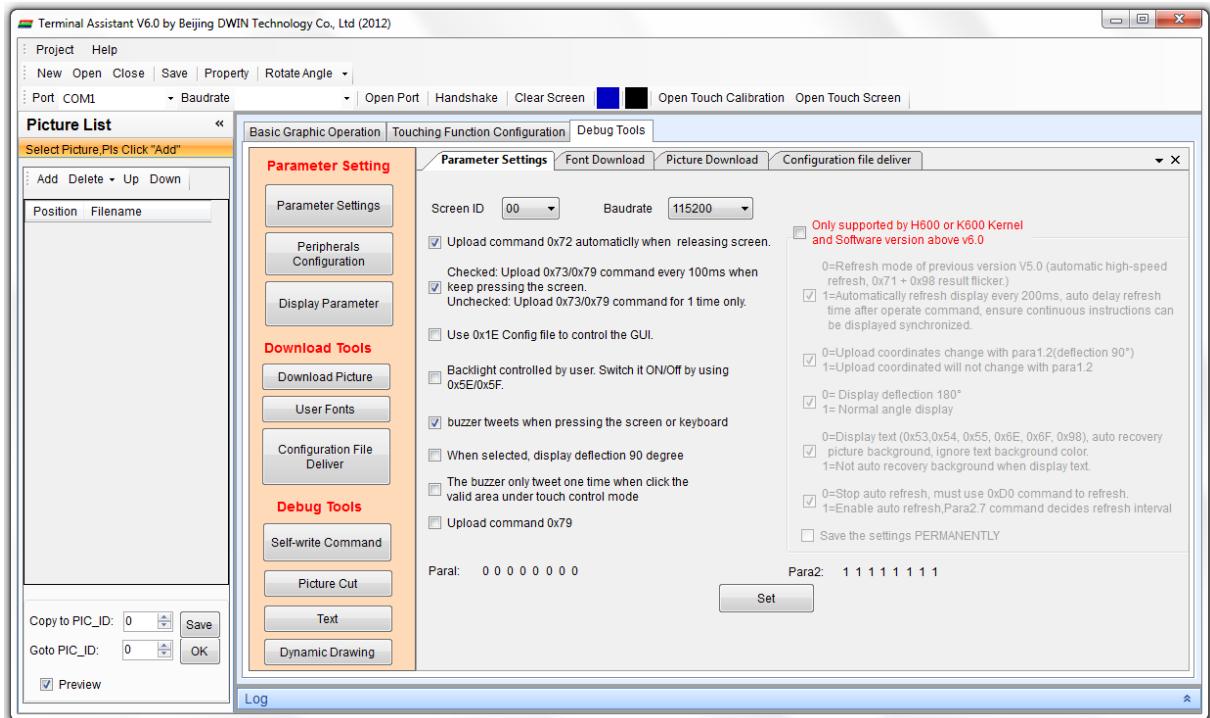


Figura 24 - Parameter Settings do programa Terminal Assistant

- *Font Download* ou *User Fonts*: há suporte para bibliotecas de fontes e também é permitida a sua criação, sendo este o lugar onde se pode enviá-las ao *display*;

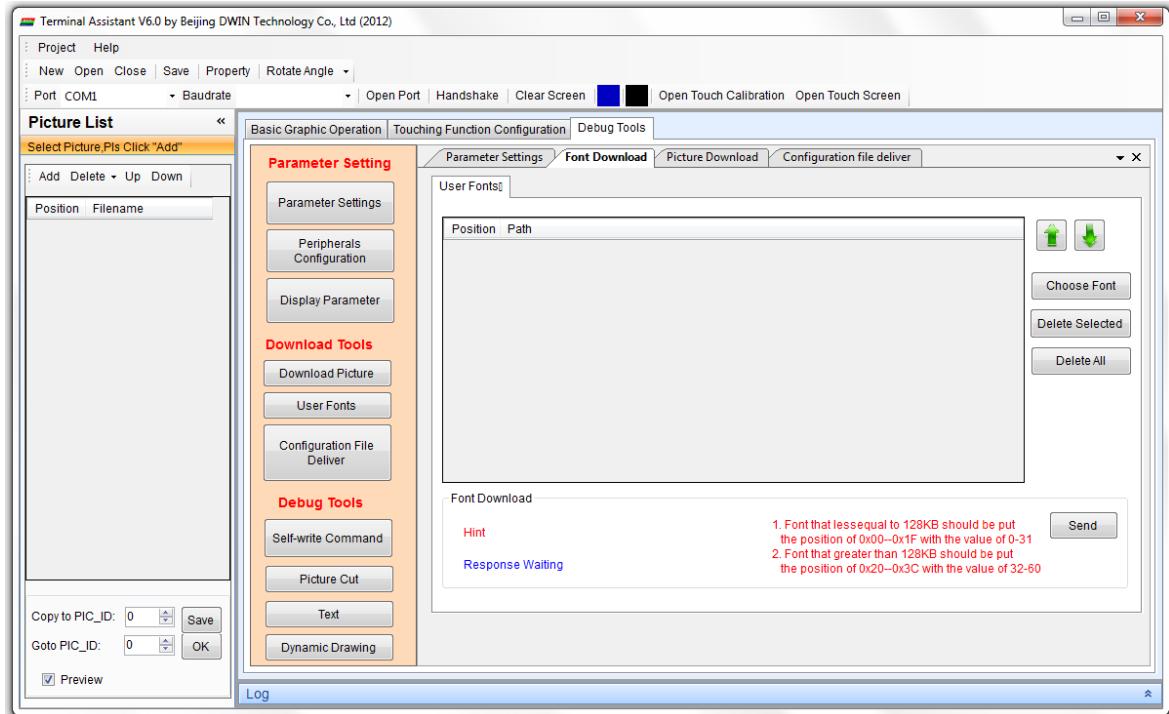


Figura 25 - Espaço para gerenciar a memória de fontes do Terminal Assistant

- *Picture Download ou Download Picture:* aqui é a área onde se descarregam as imagens para o módulo;

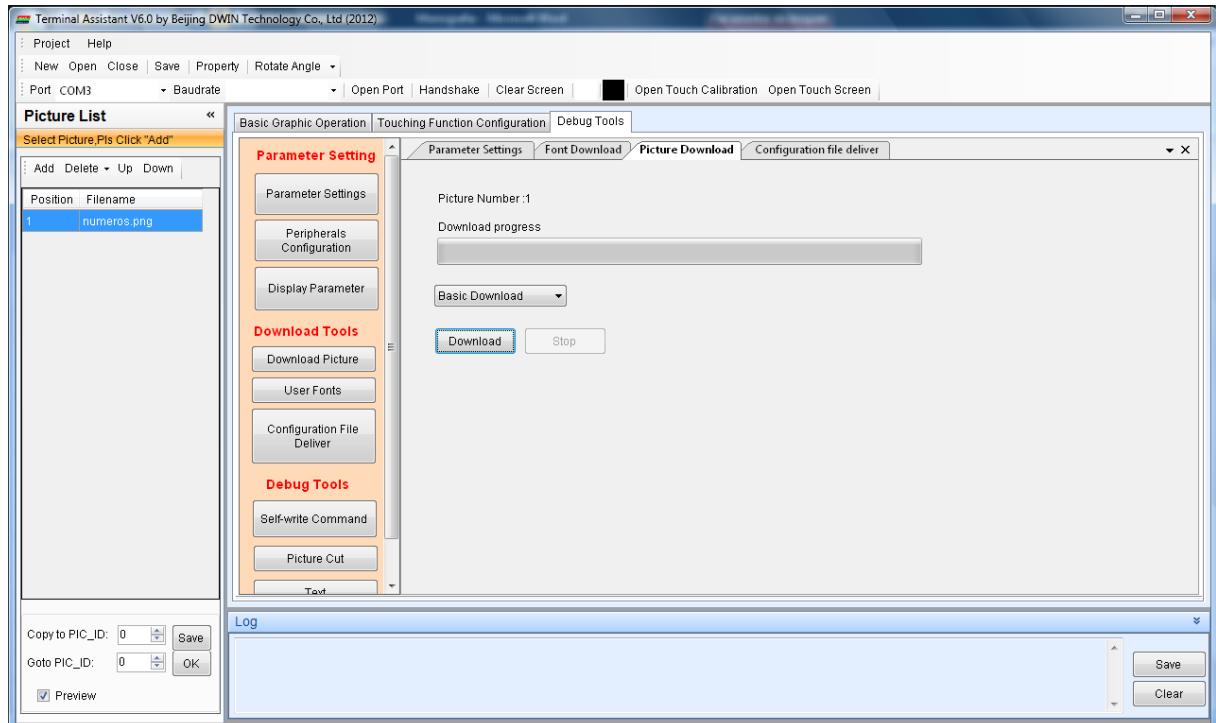


Figura 26 - Janela do Terminal Assistant destinada ao envio das imagens ao módulo

- *Configuration file deliver:* esta janela permite que se enviem as configurações do mapeamento da IHM, do teclado externo entre outros.

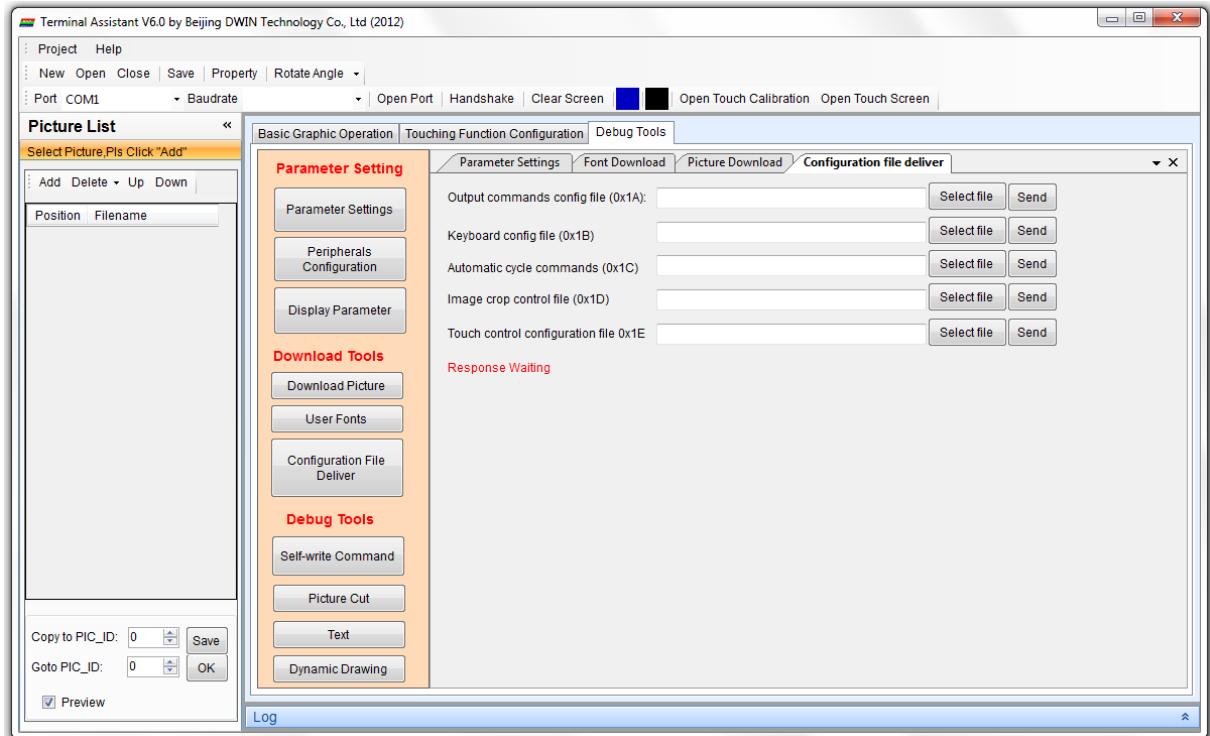


Figura 27 - Configuration file deliver do SDK da DWIN

2.4.3 Telas

A arte das telas é inspirada nas ideias de um “bom *design*”, do *designer* industrial alemão Dieter Rams¹, intimamente associado à companhia de produtos de consumo Braun e a escola funcionalista de *design* industrial, focando no conteúdo. Seguem suas ideias:

- Ser inovativo. As possibilidades de inovação não são, de maneira alguma, exauridas. Desenvolvimentos tecnológicos estão sempre oferecendo novas oportunidades para *designs* inovativos, porém nunca podem ser um fim em si mesmo.
- Tornar o produto útil, pois ele é comprado para ser usado. Ele deve satisfazer certos critérios, não apenas ser funcional, mas também psicológicos e estéticos. O bom design deve evidenciar a utilidade do produto, enquanto desconsidera qualquer coisa que possa afastá-lo disso.
- Ser estético. A qualidade estética de um produto é parte integrante da sua utilidade, porque os produtos são utilizados todos os dias e têm um efeito nas pessoas e no seu bem estar. Somente objetos que funcionam bem podem ser belos.
- Fazer o produto ser entendido,clareando a sua estrutura. Melhor ainda seria poder fazer o produto expressar a sua função claramente fazendo o uso da intenção do usuário. A perfeição seria ele ser auto-explicativo.
- Ser discreto. Produtos que satisfazem um propósito são como ferramentas. Eles não são nem objetos decorativos e nem trabalhos de arte. Seu *design* deveria ser neutro e sóbrio, liberando o ambiente para o usuário se expressar.

¹ Dieter Rams nasceu no dia 20 de maio de 1932 em Wiesbaden, Alemanha

- Ser honesto. Isso não torna o produto mais inovativo, poderoso ou valioso do que realmente é, e não tenta manipular o consumidor com promessas que não podem ser cumpridas.
- Ser duradouro. Isto evita tornar o produto moderno, além de nunca ser antigo. Diferentemente do *design* moderno, ele dura vários anos, inclusive na sociedade de consumo descartável.
- Ir até o último detalhe. Nada deve ser arbitrário ou jogado à sorte. Cuidado e precisão no processo de *design* mostra respeito ao consumidor.
- Ser amigo do meio ambiente. O *design* é uma importante contribuição para preservação do meio ambiente, conservando recursos e minimizando a poluição física e visual por meio do ciclo de vida do produto.
- Ter o mínimo de *design* possível. Menos, porém melhor, para poder concentrar nos aspectos essenciais e não sobrecarregar o produto com coisas não essenciais, retornando a pureza e simplicidade.

Assim, por meio do IDE (*Integrated Development Environment*) da DWIN, bastava se conectar o módulo ao computador com a placa que vem junto a ele e descarregar estas imagens, definindo qual o endereço de cada imagem, além de criar o mapeamento dos botões.

Com um *jumper* localizado na face anterior do módulo pode-se conectar ao computador em velocidade de 921600 bps, por meio de um cabo USB e da placa que vem junto ao *display*, enviando assim as imagens mais rapidamente.

E ainda com o SDK da DWIN, deve-se inserir os parâmetros de configuração, onde se define a velocidade de comunicação UART, escolhe se o mapeamento *touch* será por código de área, como serão enviados os comandos de pressionar ou liberar, como será a resposta do *buzzer*, se haverá controle do *backlight* pelo usuário, entre outras coisas.

2.4.4 Interface homem máquina

O *display* possui duas maneiras para manipular a IHM. A primeira é a habitual, por coordenadas, a outra é por código de área, como já abordado na introdução. Pela facilidade de criação, optou-se pela segunda, havendo em cada tela seus próprios botões e códigos.

2.4.5 Acionamento da eletroválvula

A válvula opera com 24 V, assim, para poder acioná-la com o PIC, utilizou-se um driver. No caso, utilizou-se um ULN 2803, conectando ao PIC pelos pinos RA1 e RA2.

Segue o esquema da conexão na Figura 27, nele se mostra também a conexão à bomba de circulação.

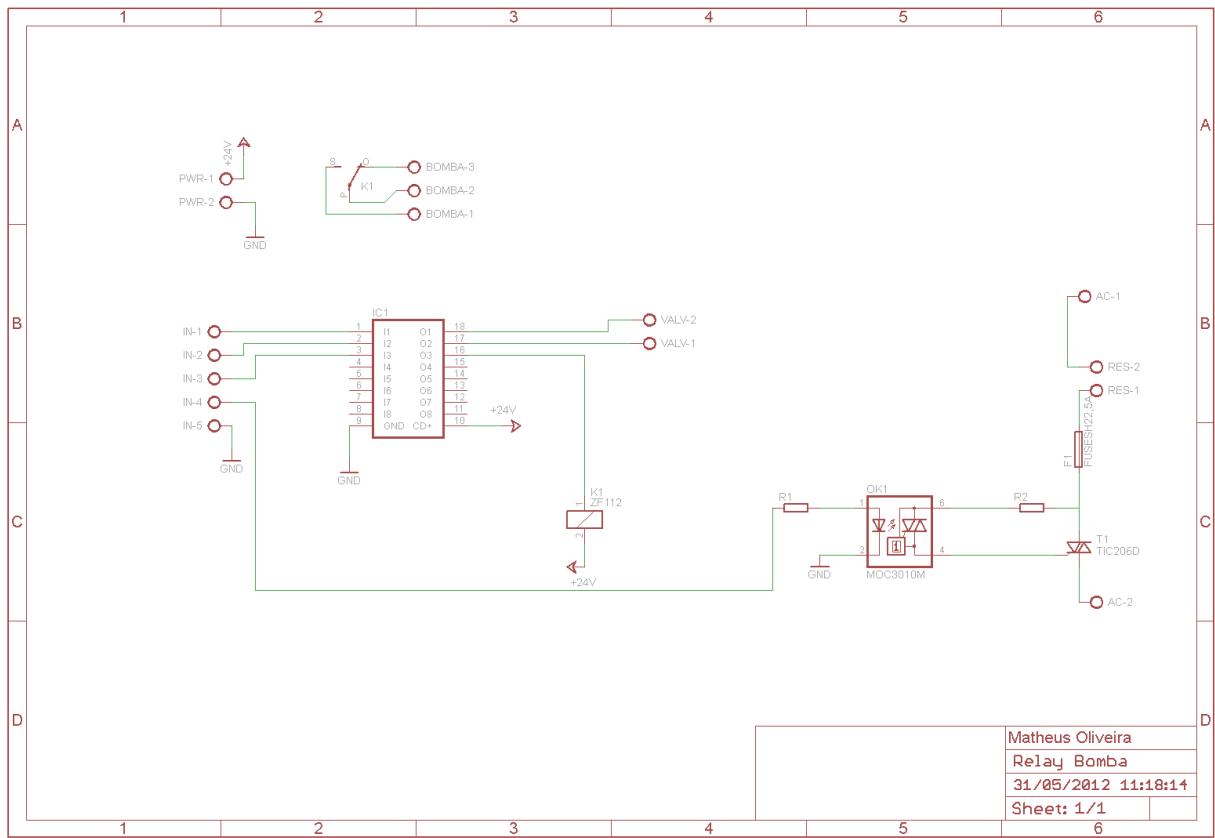


Figura 28 - Esquema elétrico do acionamento da válvula, da moto bomba e da carga resistiva

2.4.6 Sistema de controle de temperatura

Um circuito de eletrônica de potência foi desenvolvido para controlar a potência elétrica que alimenta os resistores e, consequentemente, controlar a temperatura.

A potência deverá ser controlada por um sistema realimentado (em malha fechada) gerando uma temperatura na saída. O microcontrolador compara o valor realimentado para que esta possa ser reajustada se estiver fora do valor estipulado pelo usuário por meio da IHM.

Devido ao sistema não ter a capacidade de esfriar a água, a constante de tempo do sistema térmico ser alto e não haver a necessidade de aquecer a água tão rápido, visto que realizar o ensaio nos materiais demora muito, realizou-se um controle *on-off*.

A ação de controle liga-desliga é considerada a ação de controle mais simples e mais econômica. Este tipo de ação possui limitações no que diz respeito ao comportamento dinâmico e em regime permanente do sistema em malha fechada, porém, neste caso, não é necessário.

O sensor utilizado para monitorar a temperatura é um NTC (*Negative Temperature Coeficient*), o qual teve seus terminais e fios isolados para a água não o danificar com o tempo.

2.4.7 Acionamento da bomba

Como a alimentação da bomba é de 220 V e seria necessário isolar o circuito de baixa potência, fez-se o uso de um relé, aproveitando o ULN 2803 para acioná-lo, conforme o esquema já mostrado na Figura 27.

2.4.8 Acionamento da carga resistiva

Como o equipamento tem a intenção de ser alimentado por uma rede doméstica brasileira, no caso em 220 V (60Hz), havia a necessidade do controle AC-AC. Para realizá-lo com o PIC optou-se por um controle do tipo liga-desliga. Segue o modelo do bloco de controle na Figura 28.

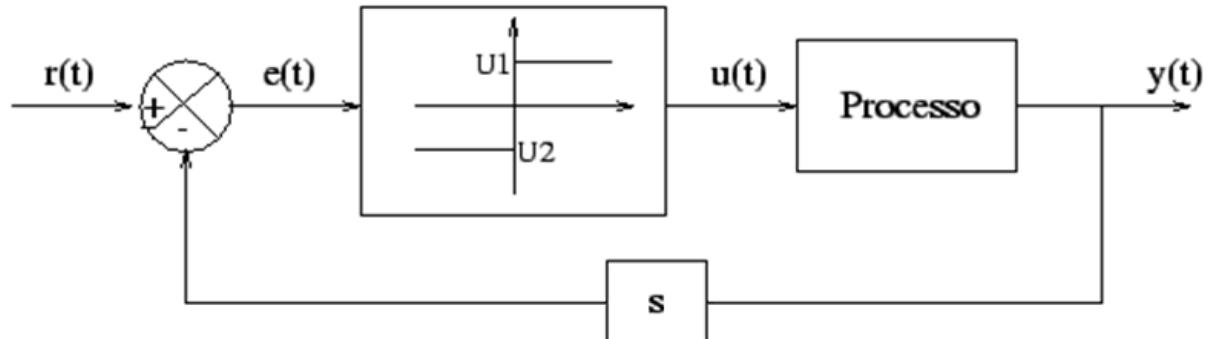


Figura 29 - Bloco de controle da temperatura

A conexão do PIC às resistências foi feita com um TRIAC modelo TIC226D e um opto-acoplador MOC3020 para isolar o circuito de baixa potência, conforme ilustrado na Figura 27, colocando um pequeno dissipador no tiristor, além de um isolante de mica para evitar algum curto-circuito indesejado.

Seguem as especificações técnicas do tiristor na tabela 9 e do acoplador ótico na tabela 10.

Tabela 9 - Especificações técnicas do TIC226D

Tensão reversa no diodo de entrada	3 V
Corrente RMS direta no diodo de entrada	50 mA
Pico repetitivo de tensão na saída	400 V
Saída de corrente RMS (senóide 50 ou 60 Hz)	100 mA a 25 °C e 50 mA a 70 °C
Pico não repetitivo de saída de corrente	1,2 A
Consumo	330 mW
Temperatura de operação da junção	-40 °C a 100 °C

Tabela 10 - Especificações técnicas do MOC3020

Tensão de pico não repetitivo	400 V
Corrente RMS a 85 °C	8 A
Corrente senóide de pico a 25 °C	70 A
Pico de corrente na porta	-1 a 1 A
Consumo médio na porta em 85 °C	0,9 W
Temperatura de operação	-40 a 110 °C

2.4.9 Sistema de monitoramento de pressão

Devido ao alto custo e dificuldade no fornecimento para sensores de pressão na faixa de medição necessária, de 0 a 10 bar (alimentação de um compressor normalmente utilizado pelos usuários do equipamento), buscou utilizar novamente o pressostato digital ZSE30A(F) série ISE30A, mas o modelo 01-E, com saída analógica de 1 a 5 V, variando no máximo 2,5% para mais ou menos, linearmente. Segue a curva de resposta a pressão conforme informações do fabricante na Figura 29.

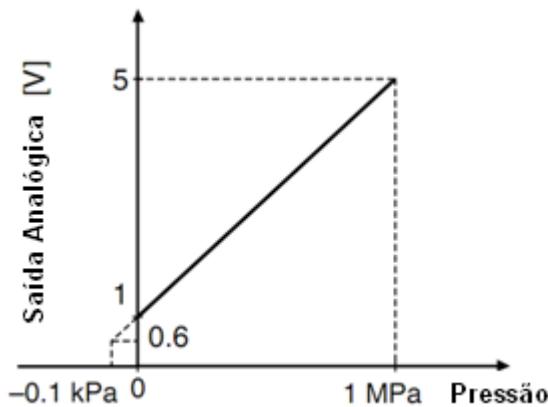


Figura 30 - Gráfico de tensão por pressão do pressostato digital ZSE30A(F) ISE30A-01-E

2.4.10 Leitura dos dados

O valor será lido na porta analógica RB1 do PIC18f4550 (conversor de 10 bits), obtendo assim uma resolução de $5/1023 \approx 0,0049$ V.

2.4.11 Interrupção

Para uma parada emergencial devido a uma ausência de pressão suficiente para o pistão trabalhar, no caso medido em 0,05 MPa, mas recomendado pelo fabricante 0,1 MPa, optou-se por utilizar o pino de interrupção RB0 no microcontrolador, por meio da saída digital do pressostato, sendo estabelecido em 0,07 MPa.

3 Resultados e discussão

A seguir, são apresentados os circuitos confeccionados com o *software* Eagle CAD, a arte das telas e os procedimentos realizados no MATLAB, além de explicações sobre a programação do PIC.

3.1 Placas de circuito

Segue a Figura 30 da placa do circuito de conexões ao microcontrolador e o *driver* para o acionamento da válvula, da moto bomba e da carga resistiva.

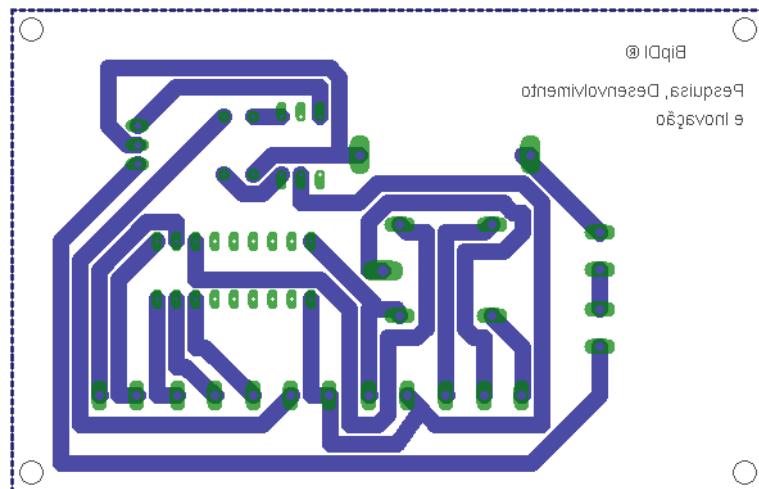


Figura 31 - Placa de circuito de *driver*

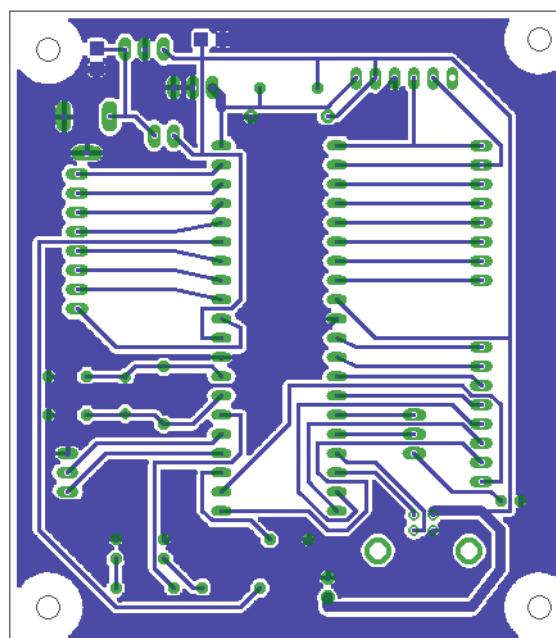


Figura 32 - Circuito da placa com o PIC

3.2 Tela

As imagens foram criadas no programa Adobe Illustrator, da empresa Adobe Systems. Elas foram divididas em:

- tela inicial, onde se mostram em tempo real a temperatura, a pressão, o número de ciclos realizados na última operação, e os botões para ligar, zerar o número de ciclos, ir as configurações e ir as informações;

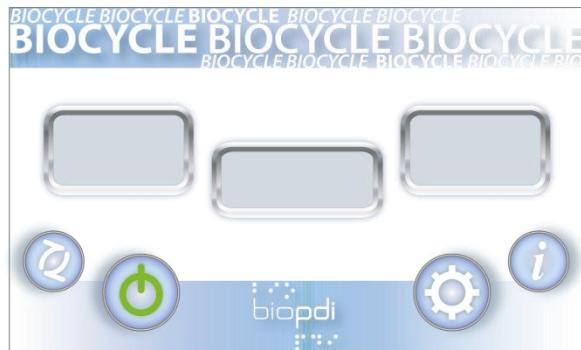


Figura 33 - Tela inicial

- tela de configuração, onde há um botão para retornar a tela inicial, também se podem alterar os valores de tempos de avanço e recuo dos pistões, números de ciclos à realizar e temperatura à estabilizar, além de mostrar em tempo real a temperatura;

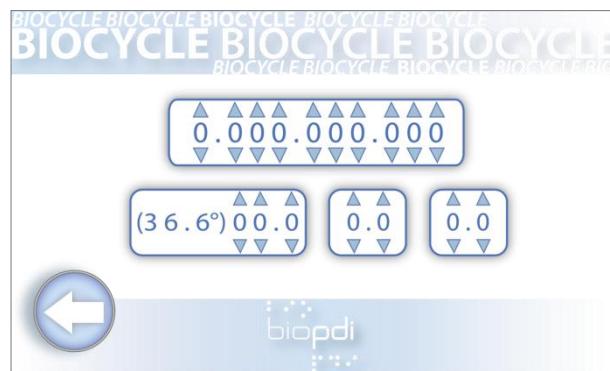


Figura 34 - Tela de configuração

- tela de operação, onde se monitoram a temperatura, pressão e ciclos realizados em tempo real, além de haver um botão para interromper o funcionamento da máquina;

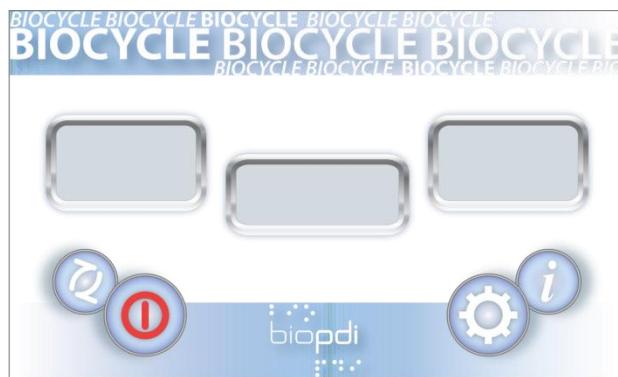


Figura 35 - Tela de operação

- tela de informações, onde há um botão para retornar a tela inicial que disponibilizarão dados sobre o equipamento e a empresa que fabricará o equipamento;

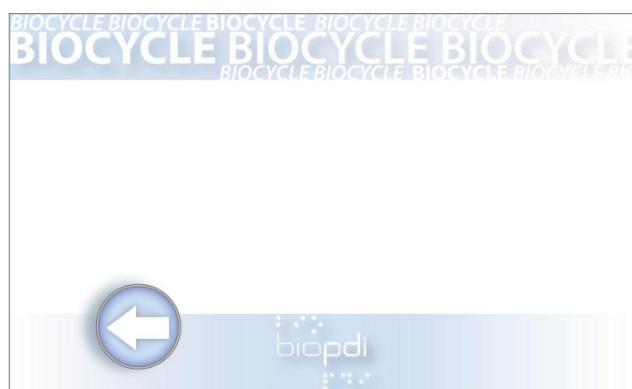


Figura 36 - Tela de informações

- telas de confirmações, para realizar a redundância na escolha de zerar o número de ciclos e ligar a máquina, assim se reduz a chance de realizá-las accidentalmente. Também avisa se há água no recipiente para poder acionar o controle térmico;



Figura 37 - Tela para confirmar o funcionamento da máquina



Figura 38 - Tela de confirmação para reiniciar a contagem dos ciclos



Figura 39 - Tela de escolha para controlar ou não a temperatura

- tela de recorte dos números para se incluir nos mostradores.

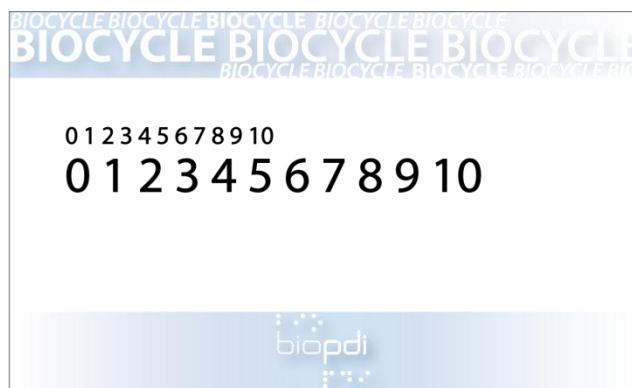


Figura 40 - Tela para se retirar a arte dos números

3.3 Controle de temperatura

3.3.1 Sensor

Os valores de resistência do NTC foram medidos conforme a variação da temperatura, gerando o seguinte gráfico da Figura 44 de $k\Omega$ por $^{\circ}\text{C}$.

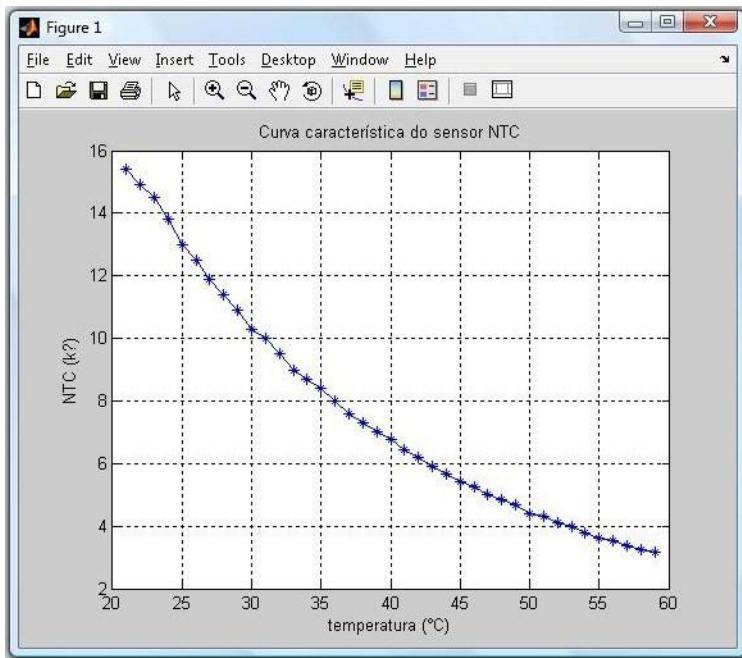


Figura 41 - Gráfico da resposta a temperatura do NTC

Para a utilização do NTC como malha fechada é necessário um modelo matemático para relacionar cada valor de resistência para um valor de temperatura. Observa-se no gráfico uma não linearidade devido a equação ser exponencial, do tipo:

$$R = R_0 * e^{[\beta * (\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})]}, \quad (1)$$

no qual β é a constante do material, calculado em 40, R_0 é a resistência na temperatura T_0 , medido 13 kΩ em 25 °C conforme o esperado.

Foi determinado um resistor de 4,7 kΩ para realizar um divisor de tensão, possibilitando assim a leitura analógica no PIC. Antes de utilizar o valor lido é feita uma média de cinco aquisições.

3.3.2 Circuito de Controle

A função do controlador é atingir a temperatura de regime pré-estabelecida e manter esta temperatura em regime.

O controle é realizado por *software* através do erro entre a inserção da referência pelo usuário e a leitura da temperatura atual.

3.4 Controle de pressão

Infelizmente, devido a problemas de fornecimento e dificuldade de encontrar outro sensor satisfatório a este propósito com preço acessível, o controle de temperatura não pode ser testado na prática.

3.5 Estrutura do programa criado para o PIC

O software deve aguardar no mínimo dois segundos para iniciar a comunicação com a tela. Segundo o datasheet do módulo, a tela demora um segundo para ligar e mais 1 s para estabelecer a comunicação com o microcontrolador.

O *baudrate* foi definido em 115200 e o *clock* em 960 kHz, utilizando o oscilador interno. Foi escolhida essa frequência para o PWM poder trabalhar com 60 Hz.

A parte do programa em que há o *loop* infinito foi dividido em partes de acordo com os dados que devem ser constantemente mostrados na tela. Por meio de uma variável sinalizadora, o programa sabe quando se está na tela principal e deve monitorar o sensor de pressão e temperatura, quando está em operação, devendo inclusive atualizar o valor do número de ciclos, ou quando está nas configurações e precisa apenas monitorar a temperatura.

3.5.1 Escrita na tela

Por meio da função `digitos(x)` um número é dividido em sua unidades, permitindo que o comando de recortar coloque os valores na tela.

Para enviar uma mensagem na UART é utilizada a função `enviar(*x)`, por meio do `getch()` e uma estrutura para detectar o *end frame*.

3.5.2 Memória

Por meio das funções `write_program_memory (address, dataptr, count)` e `read_program_memory (address, dataptr, count)` se armazenam e capturam as últimas configurações escolhidas pelo usuário, respectivamente.

3.5.3 Interrupções

Utiliza-se a interrupção serial (INT_RDA) para receber os comandos do usuário por meio da tela e garantir que, se o processo precisar ser interrompido, ele terá prioridade.

A interrupção no timer 1, de 16 bits, serve para acionar os pistões na resolução de 0,1 segundos, além de haver garantia que o tempo de avanço ou recuo não seja menor que 0,4 s.

Já a interrupção externa no pino RB0 deveria também priorizar a parada do sistema devido a pressão atingir um valor crítico à operação.

3.5.4 Entradas e saídas

Deve-se determinar para cada porta se estas serão de leitura ou de escrita.

3.5.4.1 PWM

O timer 2 serve para determinar a frequência do PWM, sendo o escolhido o ccp2, pino C1.

O *duty cycle* é determinado pela função set_pwm2_duty(x), onde x foi utilizado como um número de 10 bits.

3.5.4.2 Leitura analógica

Define-se qual será a quantidade de bits na conversão e quais serão os pinos analógicos. Depois se faz a leitura através da função read_adc(ADC_READ_ONLY) e vai armazendo os valores para depois realizar uma média aritimética.

Para leitura do sensor de pressão bastava saber a resolução, uma vez que sua curva é linear. Já do NTC era necessário incluir a equação do divisor resistivo e da curva do termistor para descobrir a temperatura, utilizando a função log(x) da biblioteca math.h.

3.5.5 Controle de temperatura

Utiliza-se a leitura analógica para comparar ao valor estabelecido pelo usuário, podendo assim ligar ou desligar o acionamento da energia aos resistores.

3.6 Imagens do equipamento com a tela funcionando

Seguem imagens do protótipo do novo equipamento mostrando as conexões pneumáticas, pistões e a tela *touchscreen*.

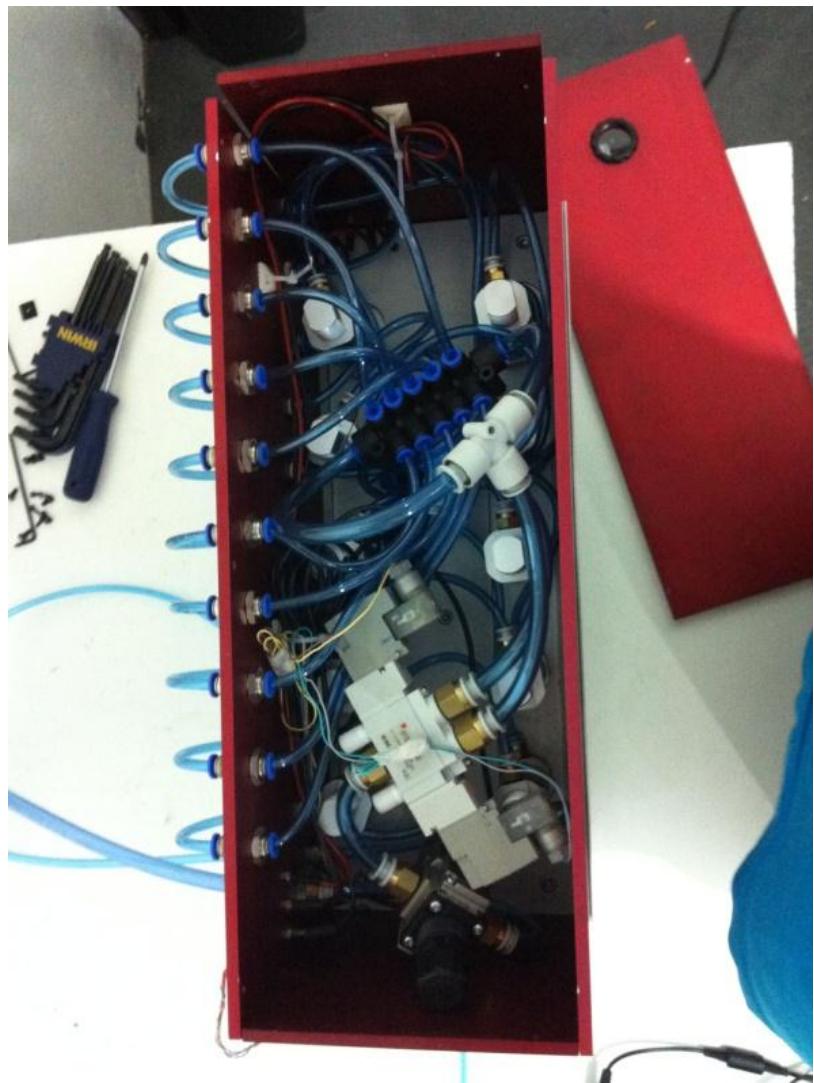


Figura 42 - Conexões pneumáticas



Figura 43 - Equipamento novo, sem o recipiente térmico

4 Conclusão

O trabalho resultou em uma interface mais elegante e simples de utilizar, além de proporcionar uma redução de custo do equipamento, devido à reunião dos módulos eletrônicos no PIC e a tela.

As telas sensíveis ao toque permitem que os menus sejam mais complexos e mais fáceis de serem acessados pelo usuário, além de serem feitas de maneira mais prática e agradável, devido à sua grande área de tela, podendo inclusive auxiliar pessoas com dificuldade de enxergar ou que possuam dedos grandes.

As imagens coloridas também criam um envolvimento maior com o usuário, além de permitir maiores possibilidades de criação, inclusive uma possível personalização ao usuário.

Em comparação com outros formatos de tela táctil, o desenvolvimento deste módulo é muito simples e rápido, sem necessitar muito aprendizado. Isto ocorre devido ao gerenciamento das imagens e do mapeamento *touch* poder ficar por conta dele, por haver vários comandos pré-definidos, bastando utilizar uma comunicação UART, algo que é encontrado em quase todas as unidades controladoras, e do software Terminal Assistant ser uma ferramenta muito útil devido as suas opções de simulação, observando os procedimentos em tempo real na própria tela.

Infelizmente o controle da pressão não pode ser construído devido à dificuldade de fornecimento, porém já está projetado faltando apenas realizar testes para comprová-lo .

Em estudos posteriores é recomendada a inserção da captura dos valores de pressão nos pistões através da porta USB de um computador.

Para o aperfeiçoamento da tela também é sugerido que sejam melhor explorados os recursos do módulo da DWIN, como, por exemplo, utilizar seu RTC para alertar a que horas irá terminar o ensaio ou quando parou, assim como permitir o suporte a outros idiomas, como, por exemplo o espanhol para inserção no mercado sul americano, e haver a escolha de outras unidades de medida para pressão e temperatura.

Outra melhoria seria em relação a estética do produto, esta poderia ter a arte mais trabalhada, incluindo a animação dos botões, mudando a inserção das configurações por meio de um teclado virtual e introduzir informações sobre os materiais utilizados para ensaio e sobre o fabricante, assim como incluir o manual do equipamento.

5 Bibliografia consultada

- [1] STEVE Jobs y el *minimalismo tecnológico*. Desenvolvido por Bycklee Princivil, 2010. Disponível em: <<http://suite101.net/article/steve-jobs-y-el-minimalismo-tecnologico-a69438>>. Acesso em: 4 de junho de 2012.
- [2] APPLE ends Google's four-year run as most valuable brand. Desenvolvido por Jack Neff, 2011. Disponível em: <<http://adage.com/article/news/apple-ends-google-s-year-run-valuable-brand/227443/>>. Acesso em: 4 de junho de 2012.
- [3] CLIC02, informações gerais. Desenvolvido por WEG, 2012. Disponível em: <<http://www.weg.net.br/Produtos-e-Servicos/Drives/CLPs-e-Controle-de-Processos/CLIC02>>. Acesso em: 4 de junho de 2012.
- [4] CONTROLADORES Lógico Programáveis. Desenvolvido por Adilson Gonzaga, 2011. Disponível em: <<http://iris.sel.eesc.usp.br/sel338/>>. Acesso em: 4 de junho de 2012.
- [5] PRODUTOS: temperatura. Desenvolvido por Full Gauge, 2011. Disponível em: <<http://www.fullgauge.com.br/pt/produtos.asp?tipo=Temperatura>>. Acesso em: 4 de junho de 2012.
- [6] MULTÍMETRO digital ET-2101. Desenvolvido por Minipa do Brasil. Disponível em: <http://www.minipa.com.br/caracteristicas.aspx?ID_Sub_Categoria=70&ID=367>. Acesso em: 4 de junho de 2012.
- [7] PRESSURE switches. Desenvolvido por Natela. Disponível em: <http://www.smcbr.com.br/pt_br/catalogo/docs/sensor/pressure/pressure.htm>. Acesso em: 4 de junho de 2012.
- [8] PILOT Operated 4/5 Port Solenoid Valves. Desenvolvido por Natela. Disponível em: <http://www.smcbr.com.br/pt_br/catalogo/docs/directional/pilot45/pilot45.htm>. Acesso em: 4 de junho de 2012.
- [9] AUTOMAÇÃO, CLPs. Desenvolvido por Metaltex. Disponível em: <<http://www.metaltex.com.br/produtos.asp?Tipo=CLPs>>. Acesso em: 4 de junho de 2012.
- [10] AUTOMAÇÃO, IHMs. Desenvolvido por Metaltex. Disponível em: <<http://www.metaltex.com.br/produtos.asp?Tipo=IHMs>>. Acesso em: 4 de junho de 2012.
- [11] SFMOMA presents less and more: the design ethos of Dieter Rams. Desenvolvido por San Francisco Museum of Modern Art, 2011. Disponível em: <http://www.sfmoma.org/about/press/press_exhibitions/releases/880>. Acesso em: 4 de junho de 2012.
- [12] ALMEIDA, J. L. A. "Eletrônica de Potência". São Paulo: Erica, 1991.
- [13] MOHAN, N. "Power Electronics". New York: John Wiley, 1995.
- [14] RASHID, M. H. – "Eletrônica de Potência: circuitos, dispositivos e aplicações". São Paulo: Makron, 1999.
- [15] DORF, R. C. "Sistemas de controle modernos". Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2009.

- [16] OGATA, K. – “Engenharia de Controle Moderno”. São Paulo: Pearson, 2011.
- [17] BIRAN, A. B. "What every engineer should know about MATLAB and Simulink". Boca Raton: CRC, 2011.
- [18] GILAT, A. "MATLAB: com aplicações em engenharia". Porto Alegre: Bookman, 2006.
- [19] SMITH, D. W. "PIC in practice". Oxford: Newnes, 2005.
- [20] PEREIRA, F. "Microcontroladores PIC: programação em C". São Paulo: Erica, 2009.