

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA COM ÊNFASE
EM ELETRÔNICA E TELECOMUNICAÇÕES

JOÃO PAULO SANT ANNA JÚNIOR

SISCONTROL
SISTEMA DE CONTROLE DIGITAL DE TEMPERATURA PARA
FORNO DE SOLDADA BGA E SMD

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

JOÃO PAULO SANT ANNA JÚNIOR

SISCONTROL
SISTEMA DE CONTROLE DIGITAL DE TEMPERATURA PARA
FORNO DE SOLDA BGA E SMD

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrônica e Telecomunicações do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.
Orientador: Prof. Dr. Fernando C. Castaldo

CURITIBA

2013

JOÃO PAULO SANT ANNA JR

**SISCONTROL - SISTEMA DE CONTROLE DIGITAL DE
TEMPERATURA PARA FORNO DE SOLDA BGA E SMD**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Industrial Eletricista com ênfase em Eletrônica e Telecomunicações pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Curitiba - PR, 03 de Maio de 2013

Prof. Dr. Hilton José Silva Azevedo
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

Prof. Dr. Décio Estevão do Nascimento
Responsável pelo Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Roberto Brero de Campos

Prof. Dr. Fernando C. Castaldo
Orientador

Prof. Dr. Rubens Alexandre de Faria

AGRADECIMENTOS

Agradeço de coração a todas as pessoas - amigos, colegas, parentes e professores - que acompanharam minha luta e torceram por mim durante o curso de graduação, sobretudo aquelas que contribuíram de alguma forma na realização desse sonho.

Obrigado Luana Rhinow Cunha, pelo apoio e paciência dispensada ao longo dos últimos anos.

Obrigado Fátima Regina, Bruna, Marcos e Jéssica, pela presença bem quista no dia a dia e pelos incentivos.

Obrigado Alessandri Leoni, Marlon Demichei, Rafael Pomorski, pelas dicas e ajudas no projeto final.

E um agradecimento especial a Evelyn Cavalcante, cujo apoio no começo do curso de engenharia foi fundamental para a minha formação.

RESUMO

SANT ANNA, João Paulo Júnior. SISCONTROL – SISTEMA DE CONTROLE DIGITAL DE TEMPERATURA PARA FORNO DE SOLDA BGA. 2013. 98 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrônica e Telecomunicações) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Este documento aborda o desenvolvimento de um projeto de controle digital de temperatura para um forno para ser utilizado como ferramenta de solda para circuitos eletrônicos. A interface física do projeto é composta por três módulos: digital, controle e forno. O módulo digital é responsável por todo o processamento do sistema. É através dessa interface que o usuário fará a interação com o projeto. O módulo de controle será o responsável por chavear a tensão da rede elétrica para o forno através de um PWM (Pulse-Width Modulation) gerado pelo módulo digital. O último módulo é o responsável pelo aquecimento. Trata-se de um forno de uso doméstico devidamente adaptado para ser utilizado para tal finalidade.

Palavras-chave: Controle de temperatura, forno, solda, circuitos eletrônicos, processamento, pulse-width modulation

ABSTRACT

SANT ANNA, João Paulo Júnior. SISCONTROL – SISTEMA DE CONTROLE DIGITAL DE TEMPERATURA PARA FORNO DE SOLDA BGA. 2013. 98 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrônica e Telecomunicações) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

This document discusses the development of a project of digital temperature control o fan oven to be used as a tool for soldering electronic circuits. The physical interface of the project consists of three modules: digital, control and oven. The digital module is responsible for all digital processing system. It is through this interface that the user will interact with the project. The control module is responsible for switching the mains voltage to the oven through a PWM(Pulse-Width Modulation) generated by the digital module. The last module is responsible for the warming. This is an oven for domestic use suitably adapted to be used for this purpose.

Keywords: Temperature control, oven, solder, electronic circuits, processing, pulse-width modulation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama esquemático do projeto	17
Figura 2 - PCI face simples com acabamento em latão	18
Figura 3 - PCI dual-layer com acabamento em níquel-estanho	18
Figura 4 - Placas com furos metalizados e acabamento superficial em latão, estanho, níquel e ouro.....	19
Figura 5 - Circuitos flexíveis e placas com núcleo de alumínio-MCPCB para circuitos de potência	19
Figura 6 - Estênceis para montagens SMD e placas multi-layers (quatro layers).	19
Figura 7 - Montagens Eletrônicas	20
Figura 8 - Prototipagem Mecânica	20
Figura 9 - Treinamentos e cursos presenciais	20
Figura 10 - Projetos de pesquisa e inovação - sensores planares, eletrodeposição de ligas, entre outros	21
Figura 11 - Vista Geral do LADHA-LACIE	21
Figura 12 - Fluxograma de fabricação de PCI metalizadas	22
Figura 13 - Módulos do projeto	23
Figura 14 - Hardware principal para o Módulo Digital e Controle	27
Figura 15 - Hardware de chaveamento	28
Figura 16 - kit didático STM32VLDISCOVERY	29
Figura 17 - Fonte de tensão interface digital	31
Figura 18 - Fonte de tensão interface analógica	31
Figura 19 - Alimentação micro controlador	32
Figura 20 - Alimentação das interfaces seriais	32
Figura 21 - Alimentação do display de LCD	32
Figura 22 - Alimentação positiva do amplificador diferencial	33
Figura 23 - Alimentação negativa do amplificador diferencial	33
Figura 24 - Alimentação do sensor de temperatura LM35	33
Figura 25 - Alimentação do cooler de resfriamento dos TRIACS	34
Figura 26 - Alimentação do sistema transistorizado de segurança	34

Figura 27 - Sistema transistorizado para segurança e isolamento	33
Figura 28 - Circuito de isolamento óptico	36
Figura 29 - Interface para controle do display	37
Figura 30 - Controlador da matriz gráfica do display de LCD	37
Figura 31 - Hardware da interface da película touch-screen	38
Figura 32 - Teoria de operação do ADS7846	39
Figura 33 - Interface para comunicação serial com MAX232	40
Figura 34 - Interface para memória EEPROM	42
Figura 35 - Interface para o amplificador AD594Q	43
Figura 36 - Bloco funcional do amplificador AD594Q	43
Figura 37 - Circuito comparador para sincronia com a rede elétrica	45
Figura 38 - Resultado do sistema de sincronia com a rede elétrica.....	45
Figura 39 - Forno utilizado no projeto	48
Figura 40 - Substituição das resistências por lâmpadas	48
Figura 41 - Lâmpada utilizada no projeto	48
Figura 42 - Linearidade de um conjunto de termopares	50
Figura 43 - Termopar utilizado no projeto	50
Figura 44 - Máquina de estados simplificada	53
Figura 45 - Carga puramente resistiva	58
Figura 46 - PWM referente a 20% da potência	58
Figura 47 - PWM referente a 50% da potência	58
Figura 48 - Processo de construção do perfil de temperatura	59
Figura 49 - Representação de um sistema analógico realimentado	61
Figura 50 - Sistema de controle genérico com controlador discreto	61
Figura 51 - Resposta do forno ao degrau	62
Figura 52 - Diagrama em blocos do controlador PID discreto - Integração Trapezoidal	63
Figura 53 - Levantamento dos parâmetros do PID	64
Figura 54 - Resultado obtido no ensaio	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Projeção de vendas	77
Quadro 2 - Gasto com folha de pagamento	78
Quadro 3 - Investimentos iniciais	79
Quadro 4 - Custo aproximado para fabricação do forno	80
Quadro 5 - Custos fixos mensais	80
Quadro 6 - Análise do Break Even	81
Quadro 7 - Demonstração de Resultado	83

LISTA DE SIGLAS

BGA	Ball Grid Array
I2C	Inter-Integrated Circuit
HDMI	High Definition Multimedia Interface
IHM	Interface Homem-Máquina
LCD	Liquid Crystal Display
PCB	Printed Circuit Board
PID	Proporcional Integral e Derivativo
PWM	Pulse-Width Modulation
SMD	Surface Mount Device
SPI	Serial Peripheral Interface
USART	Universal Asynchronous Receiver / Transmitter

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 A INFLUÊNCIA DA ELETRONICA NA VIDA MODERNA	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 OBJETIVO GERAL	16
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3.3 LABORATÓRIO DE PROTOTIPAGEM ELETRÔNICA DA UTFPR	17
2 DESCRIÇÃO GERAL	23
2.1 MÓDULOS DO PROJETO	23
2.2 INTERFACE DIGITAL (IHM) E CONTROLE	24
2.3 INTERFACE DE CHAVEAMENTO - CONTROLE DE POTÊNCIA	24
2.4 FORNO	26
3 HARDWARE	27
3.1 DESCRIÇÃO GERAL	27
3.2 KIT MICRO CONTROLADOR	29
3.3 FONTE, REGULADORES E DISSIPADORES	30
3.4 HARDWARE DO CONTROLE DE POTÊNCIA	35
3.5 INTERFACE DO DISPLAY DE LCD	36
3.6 INTERFACE DA PELÍCULA TOUCH-SCREEN (SPI)	38
3.7 INTERFACE SERIAL USART (TRANSMISSÃO DE DADOS)	39
3.8 INTERFACE I2C PARA MEMÓRIA EEPROM	41
3.9 INTERFACE PARA O AMPLIFICADOR AD594Q - TERMOPAR TIPO J.	42
3.10 SENSOR DE TEMPERATURA LM35	44
3.11 CIRCUITO COMPARADOR PARA SINCRONISMO	44
4 ESTRUTURA MECÂNICA DE AQUECIMENTO	47
5 SENSOR DE TEMPERATURA - TERMOPAR TIPO J	49
6 FIRMWARE	51
6.1 INTERRUPÇÃO DE TIMER - SINCRONIA DO SISTEMA	51
6.2 DESCRIÇÃO DO CONTROLADOR DA MATRIZ GRÁFICA	52

6.3 FLUXO DE NAVEGAÇÃO - DESCRIÇÃO DA MÁQUINA DE ESTADOS.	53
6.4 FILTRO DIGITAL MÉDIA MÓVEL - PASSA BAIXA	55
6.5 CÁLCULO NUMÉRICO DA POTÊNCIA	56
6.6 CONSTRUÇÃO DO PERFIL DE TEMPERATURA	59
7 CONTROLE DIGITAL	60
7.1 ESTRATÉGIA DE CONTROLE	62
7.2 LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS DO CONTROLADOR PID	63
7.3 ROTINA PARA O CONTROLE DISCRETO	65
7.4 RESULTADOS OBTIDOS	66
8 PLANO DE NEGÓCIOS	68
8.1 SUMÁRIO EXECUTIVO	68
8.2 DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO	68
8.2.1 VISÃO	68
8.2.2 MISSÃO	68
8.2.3 VALORES	68
8.2.4 DESCRIÇÃO DO NEGÓCIO	69
8.3 OBJETIVOS	70
8.3.1 OBJETIVO PRINCIPAL	70
8.3.2 OBJETIVOS INTERMEDIÁRIOS	70
8.4 PRODUTOS E SERVIÇOS	70
8.4.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO E SERVIÇO	70
8.4.2 ANÁLISE COMPARATIVA	70
8.4.4 PRODUTOS E SERVIÇOS FUTUROS	71
8.5 ANÁLISE DE MERCADO	71
8.5.1 SEGMENTAÇÃO DE MERCADO	71
8.5.2 SEGMENTO ALVO DE MERCADO	71
8.5.2.1 NECESSIDADES DO MERCADO	72
8.5.2.2 TENDÊNCIAS DO MERCADO	72
8.5.2.3 CRESCIMENTO DO MERCADO	72
8.5.3 ANÁLISE DA INDÚSTRIA	73
8.5.3.1 PLAYERS	73
8.5.2.2 MODELO DE DISTRIBUIÇÃO	74

8.6	DEFINIÇÃO DA OFERTA E PROPOSTA DE VALOR	74
8.7	ESTRATÉGIA E IMPLEMENTAÇÃO	75
8.7.1	DIFERENCIAIS COMPETITIVOS E PROPOSTA DE VALOR	75
8.7.2	ESTRATÉGIA DE MARKETING	75
8.7.2.1	ESTRATÉGIA DE PREÇOS	75
8.7.2.2	ESTRATÉGIA DE PROMOÇÃO	75
8.7.2.3	ESTRATÉGIA DE DISTRIBUIÇÃO	76
8.7.3	ESTRATÉGIA DE VENDA	76
8.7.3.1	FORECAST	76
8.7.4	ALIANÇAS ESTRATÉGICAS	77
8.8	GESTÃO	77
8.8.1	ESTRUTURA ORGANIZACIONAL	78
8.8.2	EQUIPE	78
8.8.3	QUADRO DE PESSOAL	78
8.9	PLANO FINANCEIRO	79
8.9.1	CONSIDERAÇÕES	79
8.9.2	INDICADORES FINANCEIROS	80
8.9.2.1	CUSTO DE FABRICAÇÃO E FATURAMENTO	80
8.9.3	ANÁLISE DO BREAK EVEN	81
8.9.4	PROJEÇÃO DO RESULTADO	82
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
	REFERÊNCIAS	86
	ANEXOS	87

1 INTRODUÇÃO

1.1 A INFLUÊNCIA DA ELETRONICA NA VIDA MODERNA

O padrão de vida moderno partilha de certas facilidades que nem sempre estiveram disponíveis. Sem dúvida, a evolução de tecnologias relacionadas à eletrônica, principalmente aquelas ocorridas após a década de 1960, é uma das principais responsáveis por tais melhorias.

Não raro, pessoas mais idosas, geralmente de origem humilde, relatam que, em sua juventude, fogões a lenha eram utilizados, a água era captada diretamente em poços ou minas, as roupas e louças eram lavadas em riachos, a iluminação noturna se fazia com o uso de velas e lampiões alimentados a óleo.

Há relatos de que famílias inteiras se reuniam em torno de um rádio para assisti-lo. Essas pessoas não imaginavam que, um dia, a televisão, com os mais variados tamanhos e recursos, reinaria soberana no ramo do entretenimento.

A eletrônica está presente em praticamente tudo, dos utensílios mais simples, como um ferro de passar roupa, até produtos de alta tecnologia, como satélites. Se não está presente fisicamente no artefato, com certeza a eletrônica contribuiu no processo de fabricação do produto.

É impossível imaginar a manutenção do padrão de vida atual caso os produtos com tecnologias elétricas fossem extintas de uma hora para outra.

Assim como a evolução dos artefatos eletrônicos, a evolução dos métodos de controle automático foram fundamentais em diversas áreas da engenharia e vem, conseqüentemente, influenciando de forma decisiva o padrão de vida do homem moderno.

"O controle automático tem desempenhado um papel fundamental no avanço da engenharia e da ciência. Além da extrema importância em sistemas de veículos espaciais, sistemas de direcionamento de mísseis, sistemas robóticos e similares, o controle automático tem se tornado de grande importância e parte integrante dos modernos processos industriais e de produção". OGATA, Katsuhiko, pág. 1.

A partir da década de 1960 e 1970 os profissionais da área de ciências e engenharias começaram a buscar um aperfeiçoamento nos projetos de sistemas de controle digital visando melhorar o desempenho das mais variadas plantas.

A evolução de sistemas digitais propiciaram maior precisão, além de tornar a implementação dos sistemas de controle mais simples e eficiente.

1.2 JUSTIFICATIVA

Existem basicamente três motivações para o desenvolvimento do tema apresentado:

- Aplicar de forma prática o conhecimento adquirido através das diversas cadeiras do curso de Engenharia Eletrônica - O trabalho a ser desenvolvido aborda um sistema de controle em malha fechada, o qual será discretizado, ou seja, digital, e feito por um microcontrolador. A grandeza a ser verificada é a temperatura, através do controle da potência entregue ao forno. De forma resumida, o trabalho envolverá conhecimentos de Teoria de Controle, Microcontroladores, Eletrônica Analógica, Eletrônica Digital, Eletrônica de Potência, além de conhecimentos de Programação e Processamento Digital de Sinais;
- Desenvolver um protótipo do projeto com qualidade e confiabilidade, visando um bom conceito na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II;
- Contribuir para o departamento acadêmico de Eletrônica da UTFPR, em especial ao laboratório do Prof. Dr. Fernando Castaldo. A aquisição de um forno industrial para a realização de soldas para fins eletrônicos é bastante dispendioso. Um objetivo importante a ser buscado nesse projeto é a obtenção de uma ferramenta que apresente um bom resultado com soldas BGA e SMD com um custo de aquisição menor.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema de controle de temperatura para um forno doméstico devidamente adaptado para que este possa ser utilizado como ferramenta de solda de componentes eletrônicos em placas de circuito impresso pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desenvolver um modulo digital o qual permitirá a interação do usuário com o sistema de controle. Esta interface permitirá ao usuário:

- navegar pelas diversas opções disponibilizadas pelo projeto;
- selecionar curvas de aquecimento previamente programadas;
- editar perfis de aquecimento, sendo possível incluir e excluir pontos na curva, além de estar disponível um sistema de consulta dos pontos existentes;
- armazenar as curvas desejadas em um memória externa e recuperá-las quando necessário;
- informar dados como temperatura do forno, gráfico da curva de aquecimento, tempo de processamento;
- possibilitar ao usuário transmitir os dados da curva de aquecimento para um computador externo. Estes dados podem ser utilizados para simples armazenamento ou para estudos visando futuras melhorias no processo de controle.

Além do módulo digital, um módulo de chaveamento da rede elétrica e outro de aquecimento foram necessários.

A implementação do módulo de chaveamento teve como objetivo principal controlar a potência entregue ao módulo de aquecimento (forno) para que, desta forma, fosse possível o controle de temperatura. A figura 1, a qual foi resgatada da

proposta desenvolvida na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso I, ilustra de forma simplificada o projeto

Uma descrição mais detalhada de cada módulo virá na sequência.

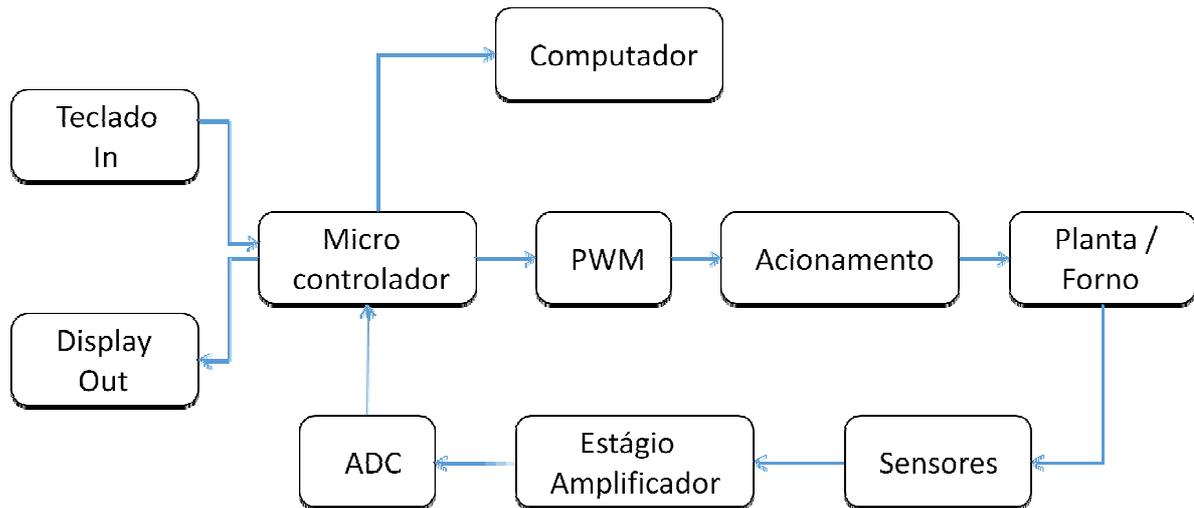


Figura 1 - Diagrama esquemático do projeto

Fonte: Autoria própria

1.3.3 LABORATÓRIO DE PROTOTIPAGEM ELETRÔNICA DA UTFPR

Totalmente desenvolvido e mantido na UTFPR, fruto de 3 anos de pesquisa e desenvolvimento na adequação de uma linha economicamente viável para produção de protótipos, o Laboratório de Prototipagem Eletrônica atualmente vem prestando serviços a alunos, pesquisadores e empresas na fabricação de placas de circuito impressos para protótipos e pequenas produções, conjuntos mecânicos para fixação, montagens e execução de protótipos funcionais de circuitos eletrônicos.

O laboratório proporciona um conjunto de serviços tecnológicos especificamente orientados no desenvolvimento de produtos de TI, sistemas embarcados e eletrônicos em geral. Assim, partindo o empreendedor da concepção de seu produto, o laboratório está estruturado de forma a materializar um protótipo funcional para avaliação. A etapa de prototipagem é de fundamental importância, pois assegura a exequibilidade de um produto antes de se fabricá-lo em maior escala. Neste sentido, o Laboratório de Prototipagem Eletrônica tem por missão

proporcionar apoio tecnológico a empresários, alunos, incubadoras de empresas e pesquisadores que em algum momento dentro de seus projetos demandarão serviços de fabricação eletrônica em nível de protótipos. Os alunos também se beneficiam dos serviços oferecidos em seus Trabalhos de Conclusão de Curso e atividades em disciplinas.

Atualmente, o Laboratório de Prototipagem Eletrônica já conta com diversos atendimentos, participações em feiras e *workshops*, palestras, treinamento de alunos e em breve oferecimento de cursos presenciais (e à distância) em fabricação eletrônica. A seguir, são apresentados alguns resultados das atividades em andamento.

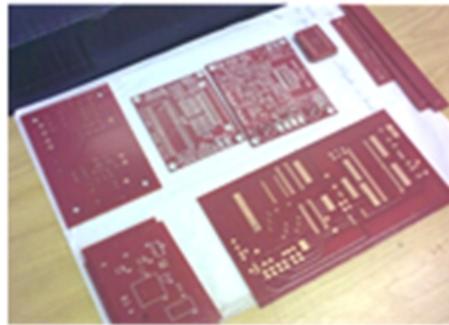


Figura 2 - PCI face simples com acabamento em latão

Fonte: Laboratório de Prototipagem Eletrônica da UTFPR

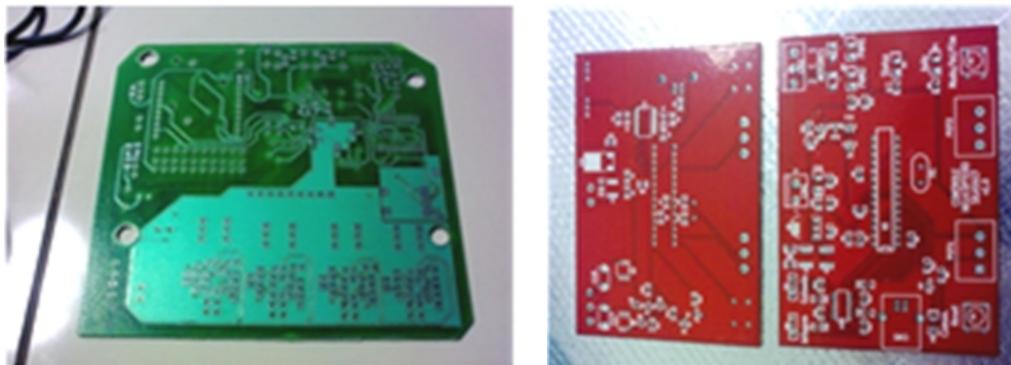


Figura 3 - PCI dual-layer com acabamento em níquel-estanho

Fonte: Laboratório de Prototipagem Eletrônica da UTFPR

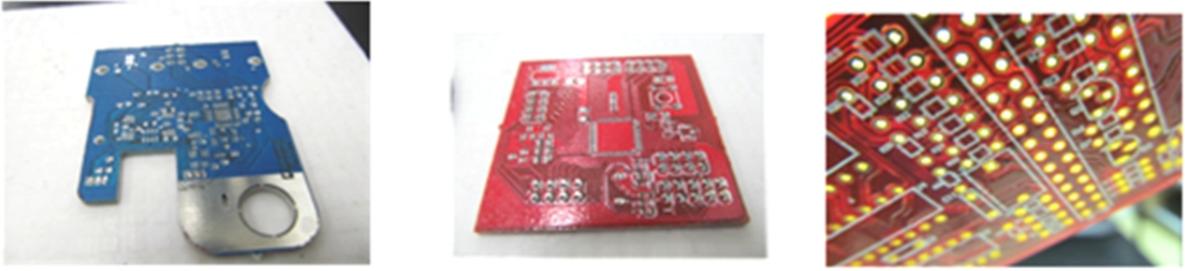


Figura 4 - Placas com furos metalizados e acabamento superficial em latão, estanho, níquel e ouro
 Fonte: Laboratório de Prototipagem Eletrônica da UTFPR

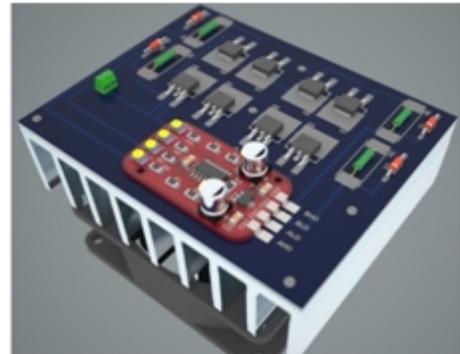
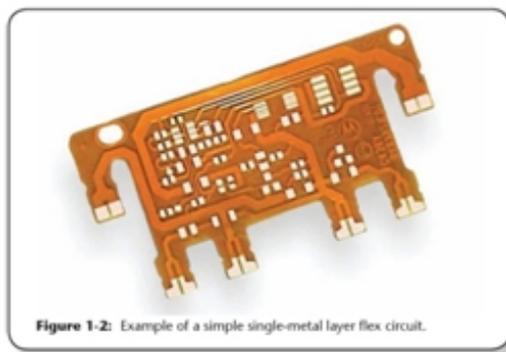


Figura 5 - Circuitos flexíveis e placas com núcleo de alumínio-MCPCB para circuitos de potência
 Fonte: Laboratório de Prototipagem Eletrônica da UTFPR

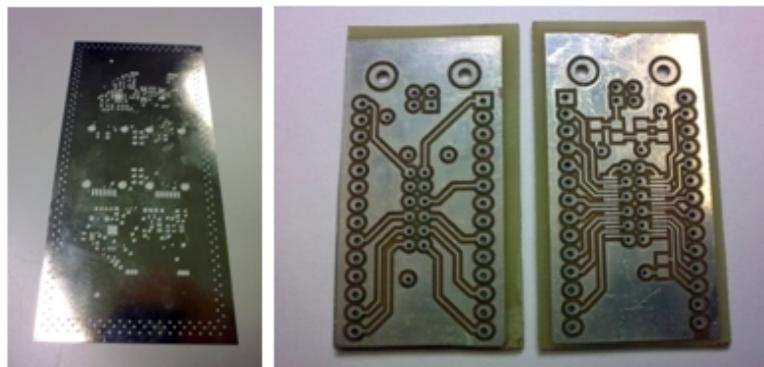


Figura 6 - Estênceis para montagens SMD e placas multi-layers
 Fonte: Laboratório de Prototipagem Eletrônica da UTFPR

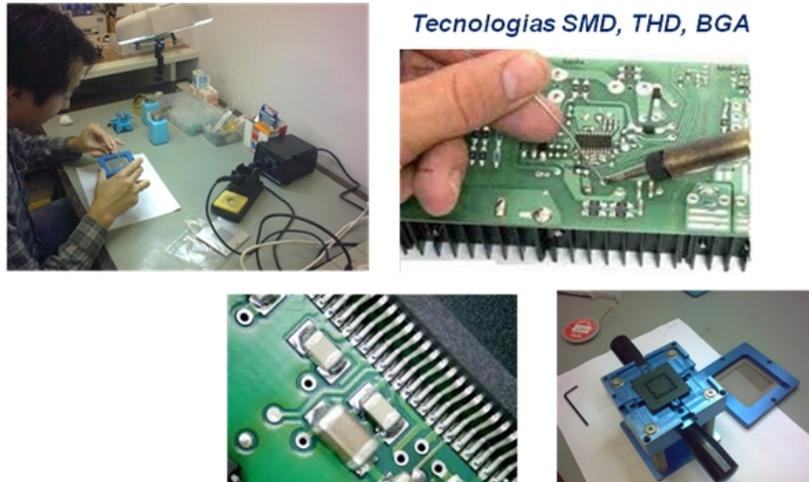


Figura 7 - Montagens Eletrônicas

Fonte: Laboratório de Prototipagem Eletrônica da UTFPR



Figura 8 - Prototipagem Mecânica

Fonte: Laboratório de Prototipagem Eletrônica da UTFPR



Figura 9 - Treinamentos e cursos presenciais

Fonte: Laboratório de Prototipagem Eletrônica da UTFPR

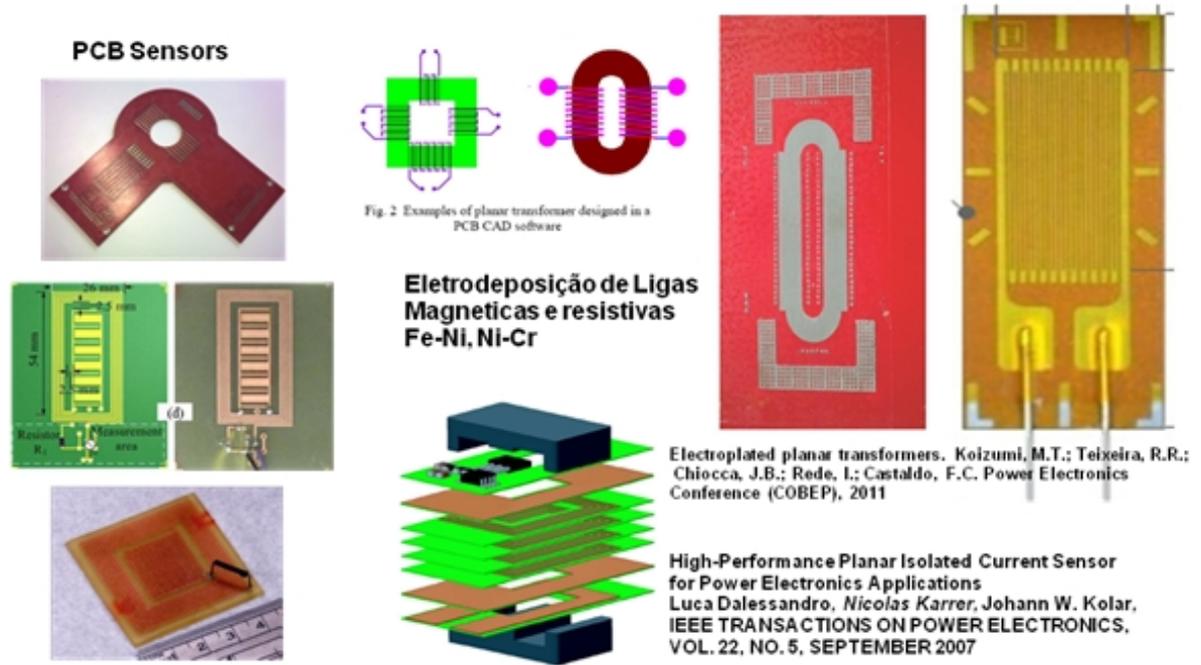


Figura 10 - Projetos de pesquisa e inovação - sensores planares, eletrodeposição de ligas

Fonte: Laboratório de Prototipagem Eletrônica da UTFPR

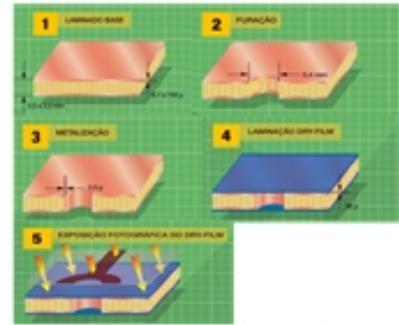


Figura 11 - Vista Geral do LADHA-LACIE

Fonte: Laboratório de Prototipagem Eletrônica da UTFPR

Processo Placas Dual-Layer furos metalizados

- 1-Limpeza
- 2-Furação das Placas e desengraxe
- 3-Metalização *Electroless* Cobre Químico
- 4-Fotore Resist liquido (Filme Líquido)
- 5-Fotografação (fotolito positivo)
- 6, 7-Banhos Eletrolíticos de Cobre, Níquel e Estanho (Etching Resist)
- 8-Remoção dry-film em NaOH
- 9-Corrosão seletiva alcalina
- 10-Aplicação Máscaras anti-solda
- 11-Serigrafia Legenda de Componentes
- 12-Corte e Acabamento



Acabamento em Ouro acrescenta etapas

Figura 12 - Fluxograma de fabricação de PCI metalizadas

Fonte: Laboratório de Prototipagem Eletrônica da UTFPR

2 DESCRIÇÃO GERAL

2.1 MÓDULOS DO PROJETO

O SISCONTROL possui 3 módulos principais: Módulo Digital (IHM) e Controle, Módulo de Chaveamento e Módulo de Aquecimento (forno). Segue uma ilustração do projeto (Figura 13).

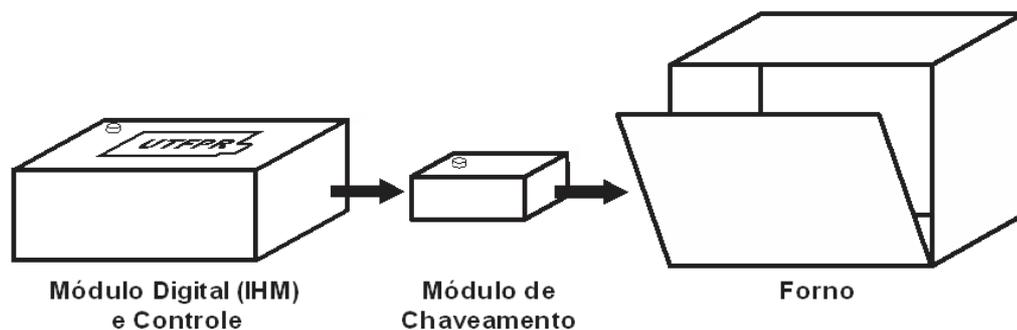


Figura 13 - Módulos do projeto

Fonte: Autoria própria

O Módulo Digital e Controle é a interface principal do SISCONTROL. Esta interface é responsável pelo processamento de todos os dados utilizados pelo sistema, além de ser o principal canal de interação com o usuário. Um *display* de LCD com película *touch-screen* foi acoplado ao projeto para ser utilizada como interface homem-máquina.

Quando o aquecimento é iniciado, o Módulo Digital e Controle fará o processamento do sinal capturado e amplificado do sensor de temperatura e gerará um PWM sincronizado com a rede elétrica, em função do SETPOINT programado pelo usuário.

O PWM vai atuar sobre o Módulo de Chaveamento, o qual liberará a tensão elétrica da rede para a carga no momento em que o PWM apresentar uma borda de subida para nível lógico alto. Esta borda de subida atuará no gatilho de um TRIAC, fazendo com que este último componente inicie a condução de corrente.

2.2 INTERFACE DIGITAL (IHM) E CONTROLE

Conforme descrito no início deste capítulo, o Módulo Digital (IHM) e Controle é a principal unidade de processamento do projeto. Esta unidade será responsável pelas seguintes funções:

- Controlar o fluxo de dados enviados para o display de LCD;
- Gerenciar as informações capturadas pelo controlador da película touch-screen;
- Controlar o envio e recepção de dados da memória EEPROM;
- Controlar o envio de dados para um computador externo;
- Amplificar e tratar o sinal capturado pelo sensor de temperatura (termopar tipo J);
- Gerar o sinal do PWM que controlará o chaveamento da tensão elétrica para o forno.

Para tanto, foi desenvolvido o *hardware* apresentado na Figura 14. Uma fonte de tensão foi projetada junto ao *hardware* para permitir uma maior praticidade na hora da utilização, além de agregar aparência comercial ao projeto. A fonte é composta por dois transformadores e vários reguladores de tensão espalhados ao longo do placa.

O capítulo três abordará de forma detalhada cada componente utilizado no *hardware*, bem como as interfaces de comunicações seriais SPI, I2C e USART.

2.3 INTERFACE DE CHAVEAMENTO - CONTROLE DE POTÊNCIA

A potência total inerente ao forno é de 5000 Watts (cinco cargas de 1000watts cada montadas em paralelo com uma tensão de 127 V). Para controlar tal potência, um sistema de chaveamento da tensão da rede elétrica foi desenvolvido.

O sistema projetado é similar ao chaveamento com RELÉ, porém TRIACS (BTA24) foram utilizados devido aos requisitos do projeto. Ao todo cinco TRIACS foram montados, um exemplar para cada carga.

O componente BTA24 é capaz de conduzir uma corrente de até 25 ampères, desde que exista um sistema eficiente de dissipação de calor. Como a potência de

uma única carga utilizada no projeto é 1000 watts para uma tensão de 127 volts, uma corrente de aproximadamente sete ampères irá fluir através do TRIAC.

<<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/7470.pdf>> acesso em 25/04/2013

Sendo assim, é possível concluir que o TRIAC utilizado foi super dimensionado. Ao invés de empregar o BTA24, poderia ter sido utilizado o BTA16, que conduz até 16 ampères de corrente e apresenta menor custo de aquisição.

Porém, como se trata do desenvolvimento de um protótipo, foi escolhido propositalmente o BTA24, para evitar a queima de componentes e, conseqüentemente, atraso no projeto do sistema de chaveamento. Melhorias nas implementações poderão ser efetuadas em novas versões do SISCONTROL.

Além dos TRIACS, o Módulo de Chaveamento prevê ainda um circuito de isolamento ótico, projetado com o CI MOC3011 (figura 28) para proteção, e duas outras funcionalidades: um sistema de proteção contra acionamento acidental e um sistema de dissipação de calor.

Para o sistema de acionamento acidental, um conjunto de transistores foi utilizado. Além de servir como uma segunda fonte de isolamento, os transistores transferem o sinal de acionamento para os TRIACS apenas quando o módulo de chaveamento estiver ligado. Esta ferramenta é importante para evitar acidentes, visto que o forno só entrará em contato com a tensão da rede elétrica se for propositalmente ligado pelo usuário. A figura (27) mostra o esquemático do circuito utilizado.

Um sistema de dissipação de calor foi incluído no projeto para evitar superaquecimento dos componentes. Uma fonte de tensão de 9 V é responsável pela alimentação de um COOLER estrategicamente montado sobre dissipadores metálicos de alumínio. Os dissipadores metálicos estão montados diretamente nos TRIACS para, desta forma, aumentar a eficiência da troca de calor e, com isso, aumentar a vida útil dos componentes.

2.4 FORNO

A proposta inicial do projeto previa o controle de temperatura de um forno doméstico para ser usado como ferramenta de solda para placas de circuitos eletrônicos. Entretanto, foi verificado que um forno deste tipo era inadequado para os fins desejados, visto que este apresenta uma inércia térmica muito grande, ou seja, tanto o aquecimento quanto o resfriamento são demasiados lentos.

A solução encontrada para o problema foi alterar drasticamente o mecanismo de aquecimento do forno. Ao invés de empregar as resistências comumente usadas, cinco lâmpadas halógenas de 1000 Watts cada foram adaptadas para servir de instrumento de aquecimento.

Tal medida apresentou um resultado satisfatório, visto que o tempo de aquecimento diminuiu drasticamente. Vale destacar que, neste projeto, somente o incremento de temperatura será controlado. O resfriamento não sofrerá qualquer controle.

3 HARDWARE

3.1 DESCRIÇÃO GERAL

Duas placas de *hardware* precisaram ser desenvolvidas neste projeto: Uma para o Módulo Digital (IHM) e Controle, e outra para o Módulo de Chaveamento.

O *hardware* para o processamento digital contempla vários sub módulos. De forma resuma, o *hardware* do Módulo Digital é formado por:

- fonte de alimentação;
- unidade de processamento composta por um micro controlador;
- memória EEPROM (I2C);
- interface de transmissão serial de dados USART (MAX232);
- controlador para película *touch-screen* (SPI);
- sistema para amplificação de sinal de sensor de temperatura - termopar tipo J;
- interface paralela para o controle do display de LCD

Segue na Figura 14 a PCB do *hardware* principal utilizado no projeto.

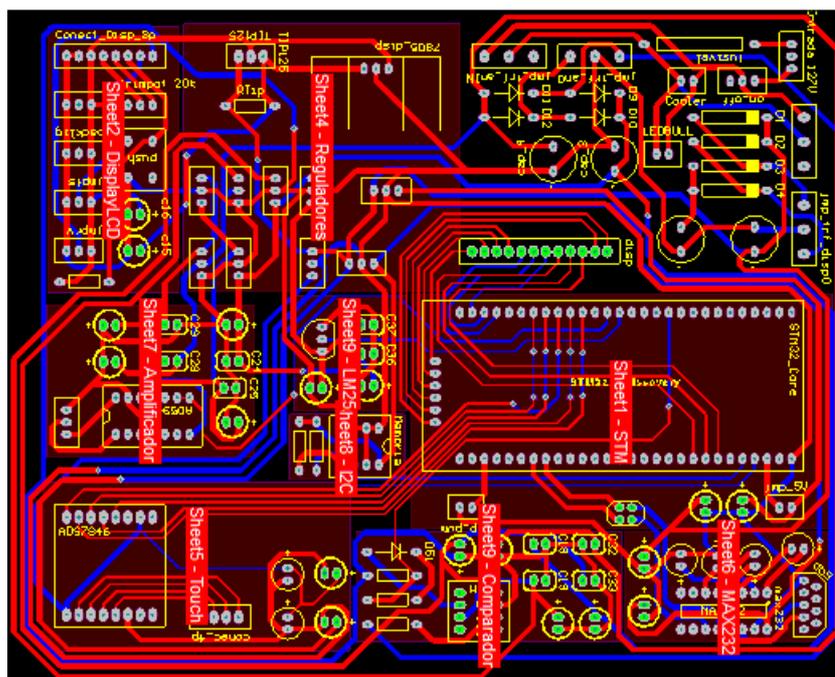


Figura 14 - *Hardware* principal para o Módulo Digital e Controle

Fonte: Autoria própria

O *hardware* do Módulo de Chaveamento é composto por:

- sistema óptico para isolamento (MOC3011);
- fonte de alimentação;
- sistema de dissipação de calor;
- *driver* com transistores para isolação e segurança;

A figura 15 ilustra o PCB do *hardware* de chaveamento desenvolvido neste projeto.

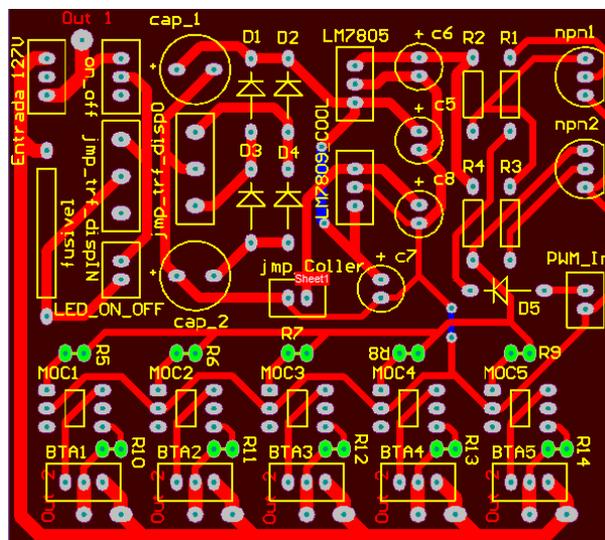


Figura 15 - *Hardware* de chaveamento

Fonte: Autoria própria

É importante destacar que na concepção do protótipo do *hardware* foi priorizado o uso de componentes disponíveis no comércio local, uma vez que despesas de envio poderiam ser evitadas, além de possibilitar a aquisição imediata do material necessário.

Em contrapartida, ao invés do emprego de componentes SMD, componentes com encapsulamento DIP foram utilizados, o que deixou o produto final com dimensões grandes se comparado ao que é buscado na atualidade pela indústria eletrônica.

3.2 KIT MICROCONTROLADOR

A unidade inteligente, responsável pelo controle de todos os módulos que compõem o projeto é um micro controlador com arquitetura ARM CORTEX-M3 de 32 bits, montado em um kit didático (STM32VLDISCOVERY) de baixo custo produzido pela empresa STMicroelectronics.

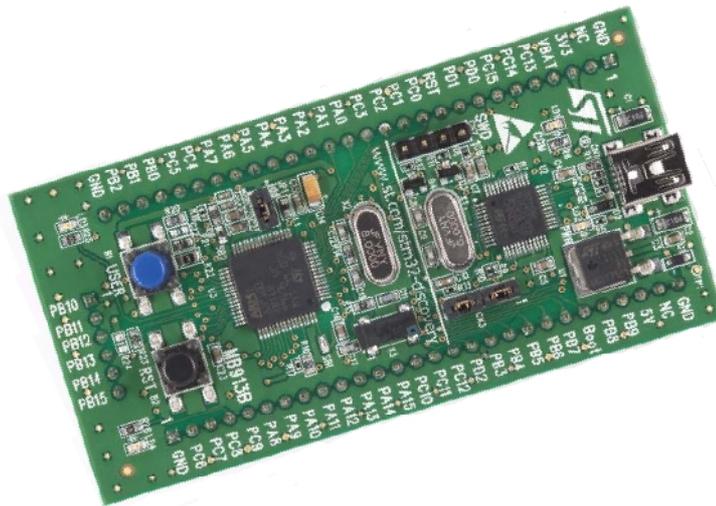


Figura 16 - kit didático STM32VLDISCOVERY

Fonte: <<http://www.st.com/web/en/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF250863>> acesso em 03/02/2012

No encapsulamento do CHIP, além das funções inerentes a um micro controlador (unidade lógica e aritmética, registradores, unidade de decodificação) também estão disponíveis outras ferramentas, tais como:

- Pinos de I/O para uso geral;
- Controlador de interrupções e eventos;
- Controlador de acesso a memória;
- Conversor analógico digital;
- Conversor digital analógico;
- Termômetro digital para verificação de temperatura ambiente;
- Controlador avançado de contadores / timers;
- Watchdog;

- Interface serial SPI;
- Interface I2C;
- Interface serial USART;
- Controlador HDMI;
- Suporte *DEBUGGER* para depuração em tempo real do firmware (Debug).

O micro controlador descrito está montado em uma placa de dimensões mecânicas 8.43cm X 4.318cm. A STMicroelectronics disponibiliza junto ao kit alguns periféricos, a saber:

- 4 leds;
- Alimentação externa de 5 V ou 3.3 V;
- 2 push-bottons (reset e usuário);
- Extensão para os pinos de I/O.

Dentre os diversos recursos disponibilizados pelo microcontrolador, o projeto SISCONTROL fez uso dos seguintes recursos: Conversor Analógico-Digital; Interface Serial SPI e USART; DBG; Pinos de I/O; Controlador de Interrupções e Timers.

3.3 FONTE, REGULADORES E DISSIPADORES

Uma fonte de tensão foi acoplada ao *hardware* do projeto com os objetivos listados a seguir:

- Conferir uma aparência compacta e prática ao protótipo;
- facilitar o uso no momento da utilização do forno, uma vez que não será necessário ligar nenhuma fonte de alimentação externa.

Sendo assim, basta ligar os módulos na rede elétrica e estes já estarão devidamente preparados para operar.

No Módulo Digital (IHM) e Controle, dois transformadores foram utilizados.

O primeiro, 127 V - 15+15 V, é responsável pela alimentação dos componentes digitais, e tem capacidade de fornecimento de uma corrente de dois ampères (figura 17).

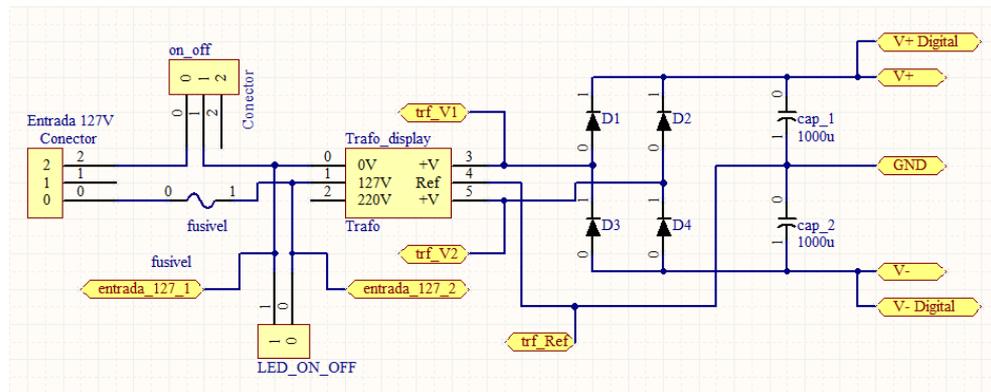


Figura 17 - Fonte de tensão interface digital

Fonte: Autoria própria

O segundo, 127 V - 12+12 V, é responsável pela alimentação dos componentes analógicos, e tem capacidade de fornecimento de uma corrente de um ampère (figura 18).

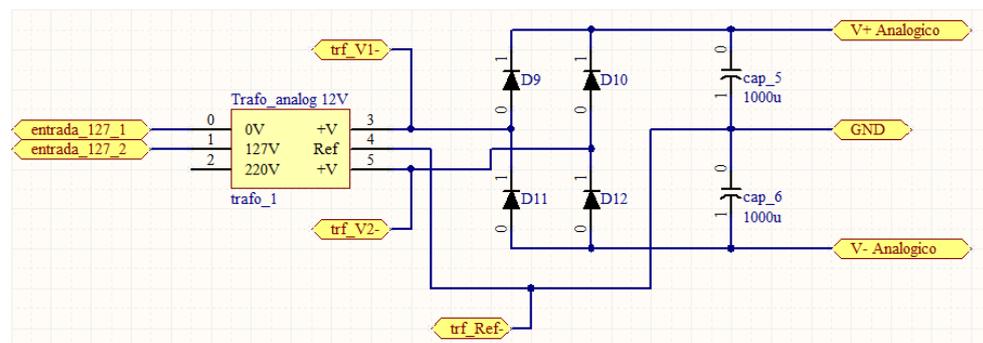


Figura 18 - Fonte de tensão interface analógica

Fonte: Autoria própria

No Módulo de Chaveamento, um transformador de 127 V - 15+15 V, 2 A foi utilizado. Pelas características do projeto, este transformador está super dimensionado, porém seu uso é justificado, visto que era um componente que já estava disponível, não foi necessário fazer a aquisição.

No Módulo Digital e Controle, o projeto da fonte contempla 6 reguladores de tensão, sendo: dois LM7809, um LM7909 e três LM7805.

- Regulador LM7805 (a) - alimentação do KIT MICROCONTROLADOR - figura 19;

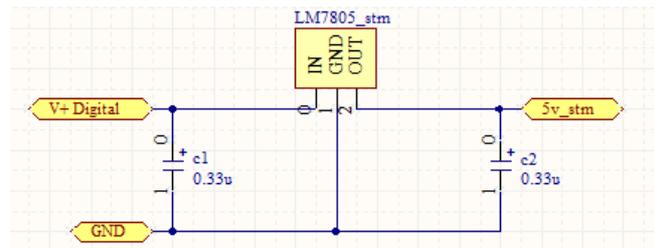


Figura 19 - Alimentação micro controlador

Fonte: Autoria própria

- Regulador LM7805 (b) - alimentação do controlador touch-screen, memória EEPROM e CI MAX232 - figura 20;

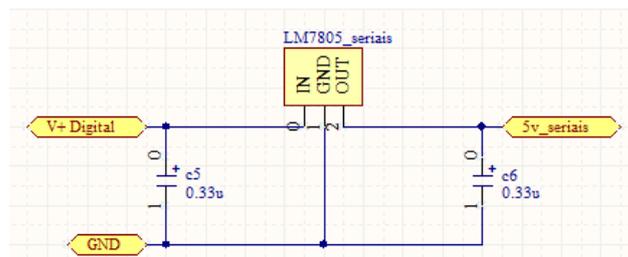


Figura 20 - Alimentação das interfaces seriais

Fonte: Autoria própria

- Regulador LM7805 (c) - alimentação do display de LCD - figura 21;

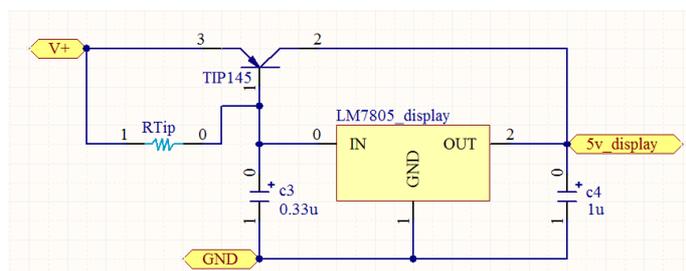


Figura 21 - Alimentação do display de LCD

Fonte: Autoria própria

- Regulador LM7809 (a) - alimentação do CI AD594 amplificador para termopar e LF355 (circuito comparador para sincronia da tensão da rede) - figura 22;

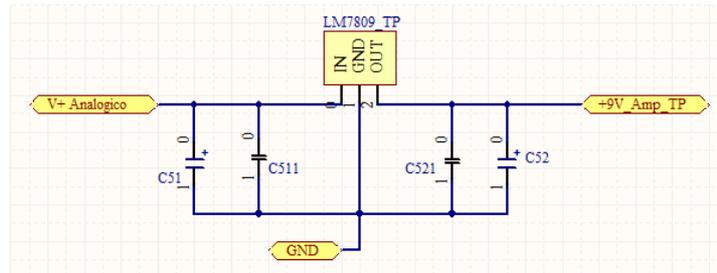


Figura 22 - Alimentação positiva do amplificador diferencial

Fonte: Autoria própria

- Regulador LM7909 - alimentação do CI AD594Q amplificador para termopar - figura 23;

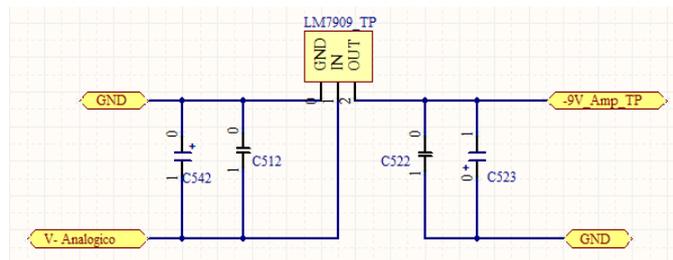


Figura 23 - Alimentação negativa do amplificador diferencial

Fonte: Autoria própria

- Regulador LM7809 (b) - alimentação do sensor de temperatura LM35 - figura 24.

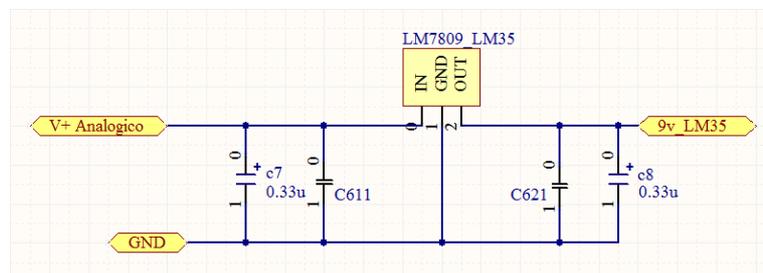


Figura 24 - Alimentação do sensor de temperatura LM35

Fonte: Autoria própria

O LM7805 (c) descrito na figura 21 é o responsável pela alimentação do *display* de LCD. Para este dispositivo, foi necessário o projeto de um sistema de dissipação de calor mais eficiente, composto por trocador de calor metálico, cooler e o transistor de potência TIP145. Tal ação foi necessária devido ao consumo de corrente do display que é elevado, próximo a 500mA, o que provoca um aquecimento importante no regulador de tensão.

Para o Módulo de Chaveamento, dois reguladores LM7809 foram utilizados, sendo um para a alimentação de um cooler e um para alimentação do sistema de transistores de isolamento e segurança - figuras 25 e 26, respectivamente.

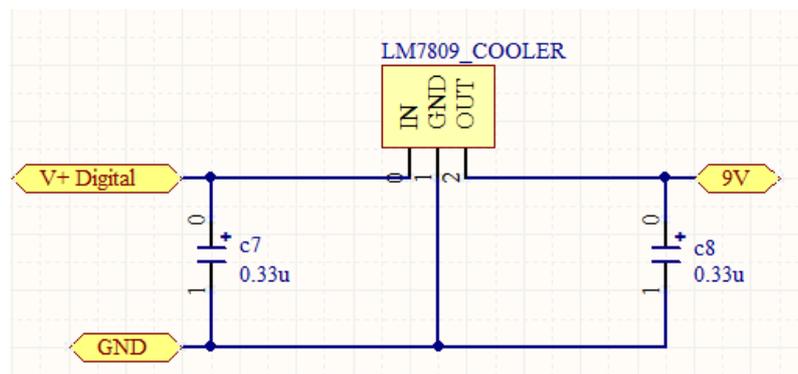


Figura 25 - Alimentação do cooler de resfriamento dos TRIACS

Fonte: Autoria própria

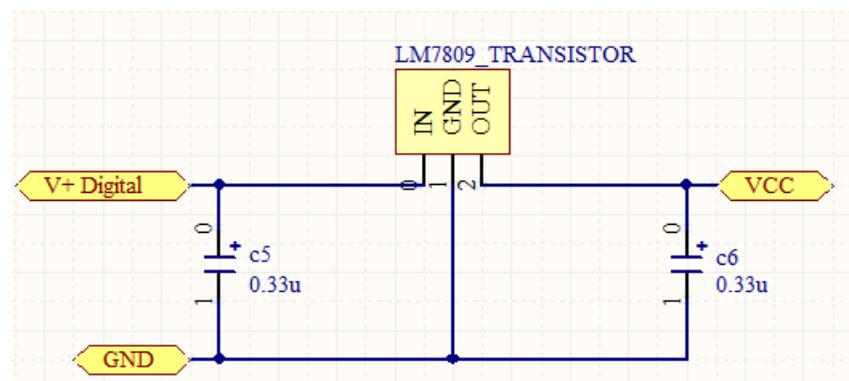


Figura 26 - Alimentação do sistema transistorizado de segurança

Fonte: Autoria própria

Tanto para o *hardware* do Módulo Digital e Controle, quanto para o Módulo de Chaveamento, fusíveis de proteção foram adicionados para proteção adicional ao projeto.

3.4 HARDWARE DO CONTROLE DE POTÊNCIA

O controle da potência é realizado pelo *hardware* mostrado nas figuras 27 e 28 abaixo. Um sinal sincronizado com a rede elétrica é gerado pelo Módulo Digital e Controle. Este sinal então é enviado para o Módulo de Chaveamento e alimentará um sistema transistorizado (figura 27), com o intuito de aumentar a isolação do sistema de potência e conferir maior segurança ao projeto.

O sinal enviado alimenta a base de um transistor. Como o sinal de saída é invertido, um outro transistor foi colocado no *hardware* para inverter novamente o sinal e torná-lo coerente com o sinal original.

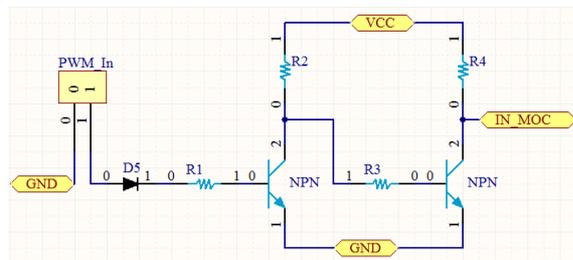


Figura 27 - Sistema transistorizado para segurança e isolação

Fonte: Autoria própria

A saída do sistema de transistores alimenta outro circuito de isolação, desta vez projetado com o opto-acoplador MOC3011 - figura 28.

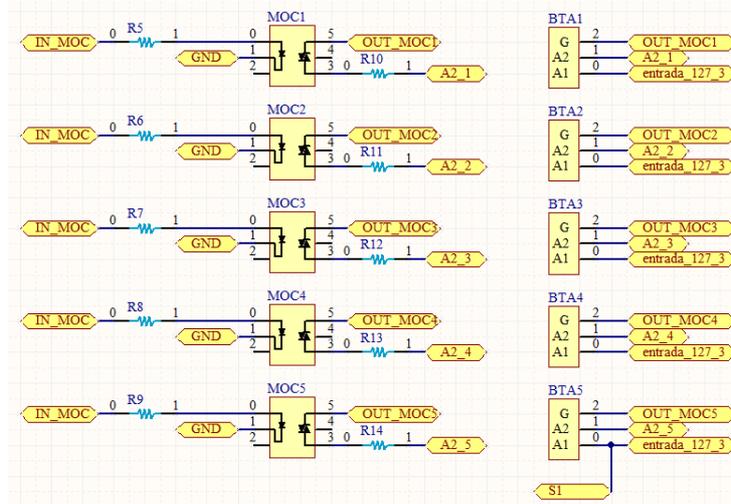


Figura 28 - Circuito de isolamento óptico

Fonte: Autoria própria

Desta forma, uma cópia do sinal gerado pelo Módulo Digital é aplicado ao opto-acoplador, que, por sua vez, será o responsável por acionar o gatilho dos TRIACS BTA24.

É importante frisar que, após ocorrer o pulso no gatilho do BTA24, este continuará a condução de corrente, independente se o gatilho permanecer em nível alto ou não. A condução do BTA24 só cessará quando a corrente que flui através deste se inverter e for negativa ou zero.

3.5 INTERFACE DO DISPLAY DE LCD

Toda a interação entre o usuário e o SISCONTROL é realizada através de um display de LCD e película de *touch-screen*. O modelo de display utilizado foi o AGM-240128A-801 da fabricante AGTE. O *display* apresenta 240 x 128 pixels de resolução distribuídos em uma área de 132mm x76mm.

Este modelo de display não apresenta película de *touch-screen* integrada, sendo que foi necessário aquisição de uma película avulsa junto ao fornecedor Maru-M.

Para acoplar o *display* ao *hardware*, uma interface de comunicação paralela foi desenvolvida.

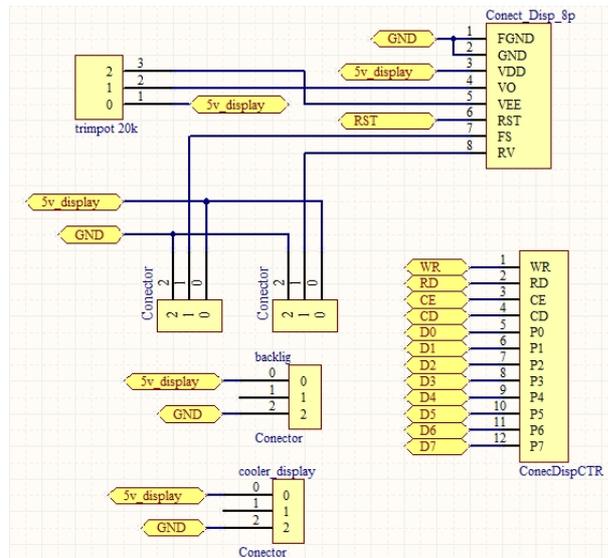


Figura 29 - Interface para controle do display

Fonte: Autoria própria

A análise da figura 29 mostra que o controle do display é bastante similar aos modelos mais comuns disponíveis no mercado, visto que este apresenta 8 pinos de entrada de dados e 4 pinos de controle, sendo estes últimos: WR - Data Write; RD - Data Read; CE - Chip Enable; CD - Comand.

O display AGM-240128A-801 utiliza como elemento controlador o CI TC6963C, desenvolvido pela Toshiba especialmente para controlar matrizes gráficas de LCD - figura 30.

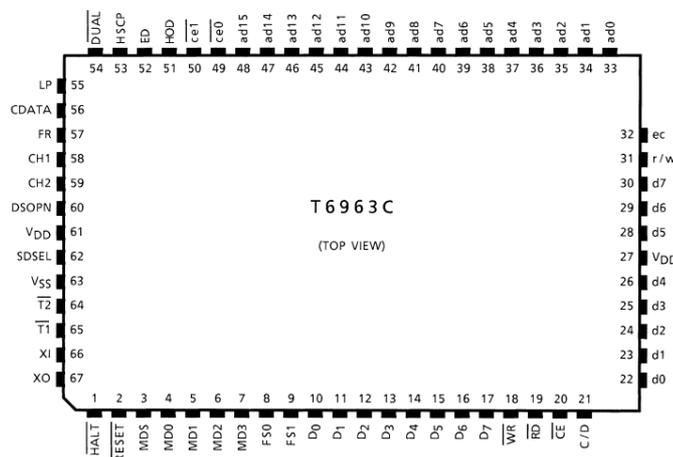


Figura 30 - Controlador da matriz gráfica do display de LCD

Fonte: <http://www.datasheetcatalog.net/pt/datasheets_pdf/T/6/9/6/T6963C.shtml> acesso em 15/04/2013>

3.6 INTERFACE DA PELÍCULA TOUCH-SCREEN (SPI)

Conforme comentado no capítulo 2, o modelo de display de LCD empregado no projeto não contempla a película touch-screen. Várias alternativas foram estudadas para superar esta dificuldade, desde a incorporação de um teclado comercial de computador, até a utilização de mouse como interface de entrada de dados.

Dentre as alternativas disponíveis, a aquisição de uma película de touch-screen avulsa foi a escolhida. Várias empresas fornecedoras foram contatadas, sendo que a empresa Maru-M apresentou orçamento viável para a compra do dispositivo.

O *hardware* da interface da película é ilustrado na figura 31.

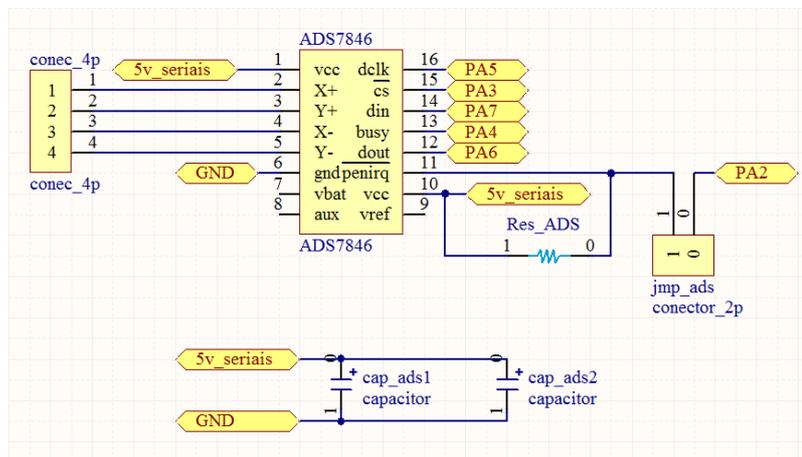


Figura 31 - *Hardware* da interface da película touch-screen

Fonte: Autoria própria

O CI ADS7846 foi utilizado como controlador para touch-screen. O ADS7846 é um chip fabricado pela Burr-Brown. Seu princípio de funcionamento baseia-se em aproximações sucessivas para conversão analógica-digital. O controlador também pode ser empregado ainda nas medições de temperatura e carga de bateria.

A figura 32 mostra o modo de operação do ADS7846 quando utilizado como controlador de película de touch-screen.

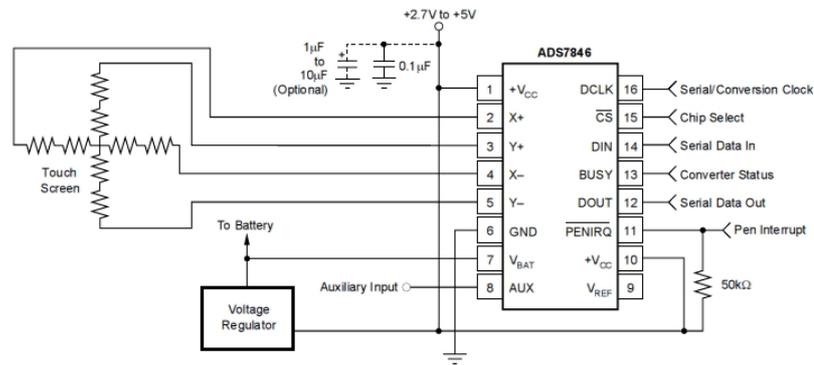


Figura 32 - Teoria de operação do ADS7846

Fonte: <<http://www.ti.com/lit/ds/sbas125h/sbas125h.pdf>> acesso em 15/04/2013

A análise da figura 32 mostra que, basicamente, três fios são necessários para estabelecer uma comunicação entre o controlador ADS7846 (slave) e o microcontrolador (master) - DCLK, DIN, DOUT.

O protocolo de comunicação SPI é empregado, sendo que o responsável por gerar o *clock* de sincronia é o microcontrolador (*master*).

Informações detalhadas sobre as características físicas e operacionais do controlador ADS 7846 podem ser encontradas em:

<<http://www.ti.com/lit/ds/sbas125h/sbas125h.pdf>> acesso em 15/04/2013

3.7 INTERFACE SERIAL USART (TRANSMISSÃO DE DADOS)

Um dos itens da proposta inicial do presente projeto, apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 1, previa a inclusão de uma interface capaz de enviar dados obtidos do processo de aquecimento via interface serial a um computador externo, para fins diversos, que vão desde simples armazenamento, até utilização dos dados para melhoria nas implementações do processo de controle do SISCONTROL.

O *hardware* da figura 33 foi desenvolvido visando esta funcionalidade. Trata-se um circuito simples, implementado com o uso do CI MAX232, que torna compatível a tensão entre o micro controlador e o computador.

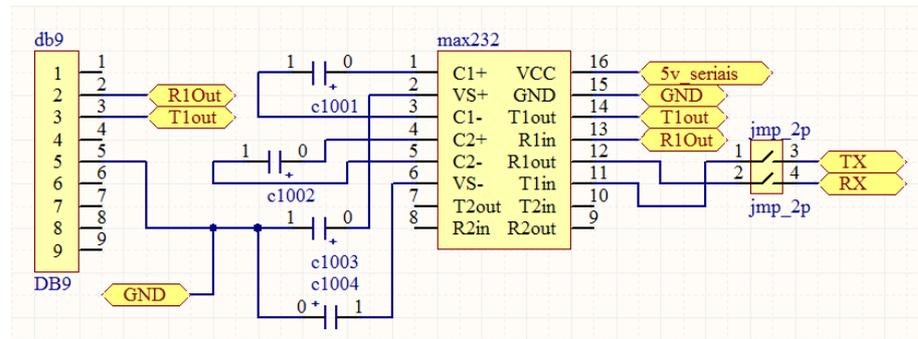


Figura 33 - Interface para comunicação serial com MAX232

Fonte: Autoria própria

Dois scripts do *software* MATLAB foram desenvolvidos com o objetivo de fazer a captura dos dados enviados na serial. Após a captura, os dados podem ser utilizados para diversas finalidades.

O primeiro script do MATLAB foi desenvolvido com o objetivo de facilitar o desenvolvimento do algoritmo de controle, visto que o levantamento das características do sistema podem ser encontradas na curva de resposta a uma excitação degrau unitário em malha aberta. O *firmware* do projeto está preparado para enviar, via serial, amostras periódicas da curva de aquecimento para determinada potência liberada para a carga. A curva é então construída em tempo real através do MATLAB.

Um segundo script do MATLAB foi escrito visando capturar, de uma só vez, diversas amostras da interface serial. Este *script* pode ser utilizado para armazenar curvas de aquecimentos de processos de soldagem que já aconteceram.

Para o desenvolvimento do controle digital, um PID ajustado pelo método oscilatório de Ziegler-Nichols foi utilizado. Desta forma, o primeiro script MATLAB foi fundamental para a determinação dos ganhos dos controladores K_p , K_i , K_d - proporcional, integral e derivativo, respectivamente. Maiores detalhes do *software* de controle serão discutidos adiante.

3.8 INTERFACE I2C PARA MEMÓRIA EEPROM

Conforme o desenvolvimento do projeto foi avançando, diversas necessidades foram sendo identificadas. Uma delas foi a de integrar ao projeto um sistema capaz de armazenar curvas de aquecimento definidas pelo usuário. Até então, curvas *default* eram definidas até o momento da gravação do programa na memória flash do microcontrolador. Após isso, as curvas podiam ser editadas, porém as alterações não eram armazenadas e eram perdidas com o desligamento do Módulo Digital.

Assim, uma interface de armazenamento de dados foi acoplada ao projeto, apesar desta não estar prevista na proposta inicial. Para tanto, o *hardware* ilustrado na figura 34 foi desenvolvido.

Para este projeto, foi utilizada uma memória EEPROM M24C64 com capacidade de armazenamento de 64 kbit, porém é possível utilizar sem maiores problemas para o projeto a MC24C32, capaz de armazenar 32kbit, visto que, pela necessidade de armazenamento do SISCONTROL, 4 vetores de 32 números inteiros poderão ser armazenados, totalizando 4096bits.

Uma peculiaridade a ser relatada na implementação da interface da memória é a seguinte: no início do projeto, foi priorizado o desenvolvimento de toda ferramenta de software necessária para o cumprimento das metas estabelecidas. Entretanto, foi verificado que este procedimento iria demandar um tempo bastante grande, uma vez que, para cada periférico do microcontrolador, a configuração de diversos registradores eram necessários para o funcionamento desejado. Uma alternativa encontrada foi a utilização da biblioteca disponibilizada pela STMicroelectronics para acessar e configurar os periféricos do micro controlador.

Entretanto, a interface I2C encontrada na biblioteca da STMicroelectronics apresentou bastante inconsistência, e, após várias tentativas sem sucesso de empregá-la, seu uso foi descartado. Sendo assim, um protocolo de comunicação serial I2C, bastante simples, baseado no *datasheet* da memória M24C64, precisou ser desenvolvido.

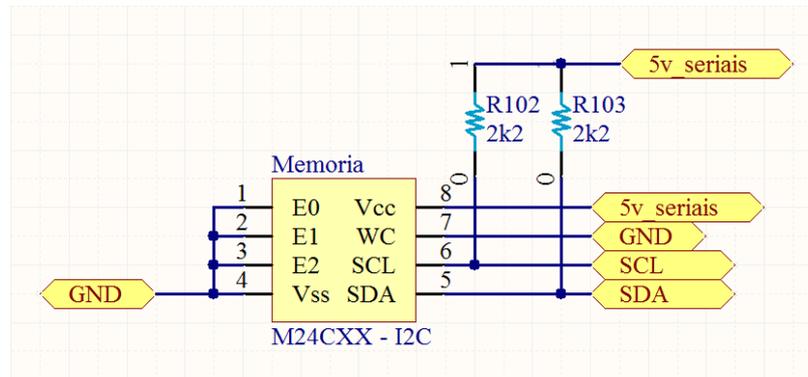


Figura 34 - Interface para memória EEPROM

Fonte: Autoria própria

3.9 INTERFACE PARA O AMPLIFICADOR AD594Q - TERMOPAR TIPO J

Uma das principais dificuldades enfrentadas no projeto do SISCONTROL foi manipular de forma adequada e confiável o sinal gerado por um sensor de temperatura do tipo termopar.

O uso do sensor termopar tipo J é recomendado no projeto devido a temperatura de operação do forno, que ficará entre 200 °C e 300 °C.

Diversos problemas envolvendo o uso do termopar ocorreram desde o início do projeto, o que provocou, não só atrasos na implementação, mas também retrabalhos e custos adicionais com projeto de novas placas de *hardware* e aquisição de novos componentes.

Os principais problemas enfrentados foram:

- compensação eficiente da junta fria;
- blindagem deficiente do cabo, provocando na saída do sensor um sinal alternado;
- atraso no sinal do sensor, visto que a resposta do termopar pode ser lenta;
- projeto de um sistema eficiente de amplificação diferencial.

Várias configurações de circuitos amplificadores diferenciais foram implementadas, algumas soluções com bons resultados, porém, não foi possível conseguir um resultado confiável para ser usado no SISCONTROL e que

solucionasse de maneira eficiente os problemas inerentes a sensores do tipo termopar.

Para minimizar as dificuldades encontradas, o amplificador AD594Q foi empregado, visto que, além de ser um componente específico para ser utilizado com um termopar tipo J, este apresenta na saída um valor de OFFSET relativo a temperatura de referência, ou seja, o chip possui um sistema de compensação de junta fria. Outra vantagem verificada neste componente é a alta rejeição de ruído em modo comum, além de apresentar amplificação de $10\text{mV}/^\circ\text{C}$.

Desta forma, considerando que o SISCONTROL pode suportar temperaturas próximas de $300\text{ }^\circ\text{C}$, a saída do amplificador será de 3 V , e isto o torna compatível com o micro controlador utilizado, o qual é capaz de converter tensões no intervalo de 0 V a 3.6 V

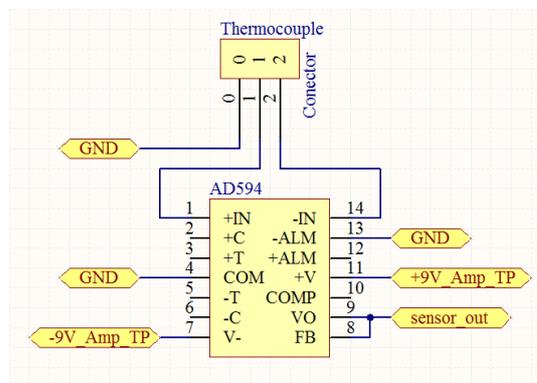


Figura 35 - Interface para o amplificador AD594Q

Fonte: Autoria própria

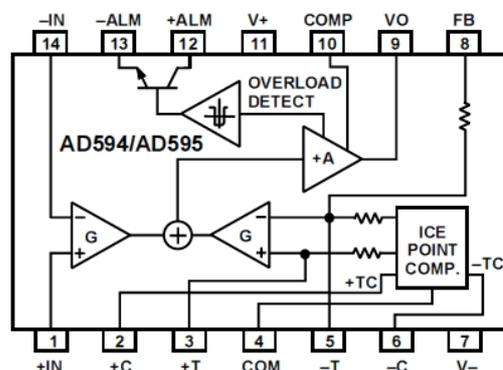


Figura 36 - Bloco funcional do amplificador AD594Q

Fonte: <http://www.me.psu.edu/rahn/me462/AD594_5_c.pdf> acesso em 05/02/2013

3.10 SENSOR DE TEMPERATURA LM35

Conforme relatado no item anterior, uma das maiores dificuldades encontradas no desenvolvimento do presente projeto foi tratar adequadamente o sinal capturado de um termopar tipo J.

Na tentativa de solucionar a questão da compensação da junta fria, um sensor de temperatura instalado diretamente na referência foi vislumbrado como possível solução, pois bastava com isso adicionar esta temperatura àquela lida no termopar para resolver o problema.

Com a introdução do AD594Q no projeto, esta solução passou a ser desnecessária, visto que o novo componente já adiciona um *offset* na saída do sinal amplificado equivalente a temperatura de referência.

Porém a interface para inclusão do LM35 foi mantida pois, caso necessário, um amplificador diferencial externo poderá ser implementado e, com isso, o sensor de temperatura LM35 poderá ser utilizado para verificação da temperatura da referência.

É importante destacar, entretanto, que o micro-controlador utilizado possui um sensor para verificação da temperatura ambiente, e este também poderá ser utilizado, apesar de apresentar uma confiabilidade menor (resposta não linear, conforme pode ser verificado no *datasheet* do microcontrolador).

3.11 CIRCUITO COMPARADOR PARA SINCRONISMO

Com o objetivo de obter um controle da potência do forno matematicamente refinado e eficiente, um circuito de sincronia com a rede precisou ser projetado.

Trata-se do circuito comparador ilustrado na figura 37.

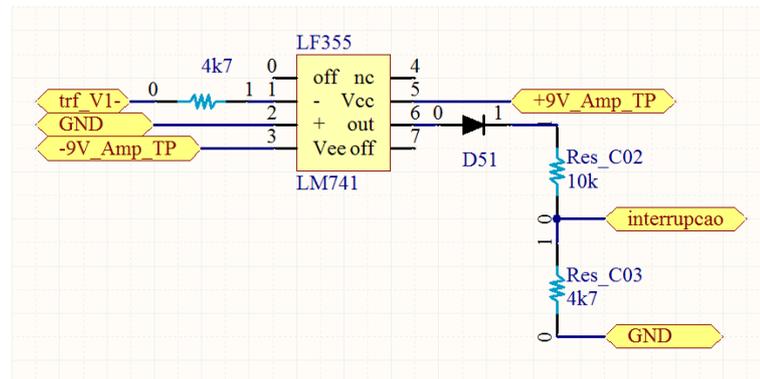


Figura 37 - Circuito comparador para sincronia com a rede elétrica

Fonte: Autoria própria

De acordo com a ilustração anterior, o circuito foi projetado com alimentação simétrica e com sinal de sincronismo na entrada inversora. Desta maneira, quando a rede elétrica está no ciclo positivo, um nível lógico baixo é produzido na saída do comparador. Da mesma forma, quando a rede está no ciclo negativo, um nível lógico alto é percebido na saída.

É possível, com isto, ligar a saída deste circuito em um pino do microcontrolador devidamente programado para reagir a uma interrupção externa. Divisores resistivos e um diodo de proteção foram utilizados para tornar a tensão de saída do circuito comparador compatível com a tensão de operação dos pinos de IO do microcontrolador.

A figura 38 mostra o resultado final do sincronismo.

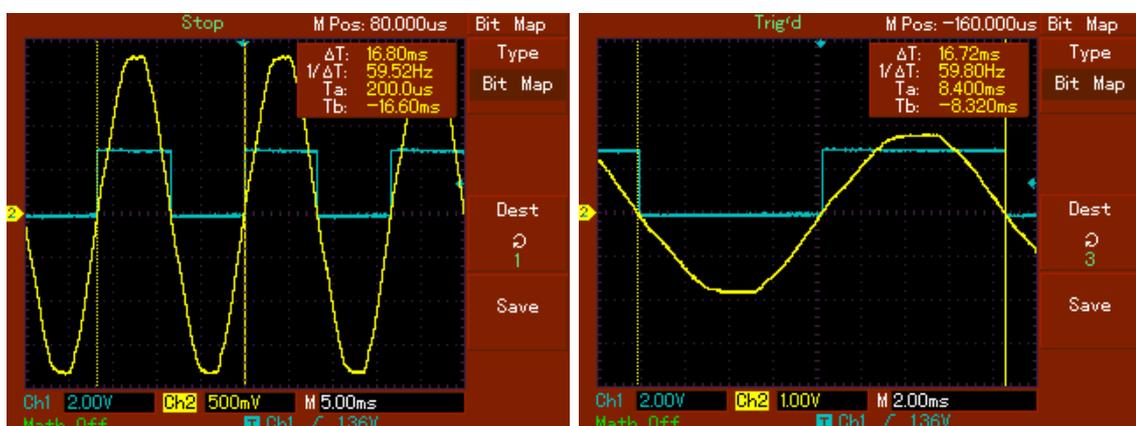


Figura 38 - Resultado do sistema de sincronia com a rede elétrica

Fonte: Autoria própria

Na função de tratamento da interrupção externa gerada pelo circuito comparador, um *toggle* foi programado em outro pino (PA.06) do micro controlador. O comportamento deste pino pode ser verificado na figura 38 - traço azul. O traço amarelo representa o sinal da rede elétrica capturado através de um transformador.

Com este novo sistema de sincronismo, outros tipos de controle de potência se tornaram viáveis para serem utilizados, por exemplo, controle por ciclos inteiros. O controle por ângulo de disparo foi mantido em função da estrutura do *firmware* já montado, apesar deste apresentar menor desempenho comparado ao controle por ciclos inteiros nas questões de fator de potência e introdução de harmônicas na rede.

Porém, como sugestão para futuras melhorias, com poucos ajustes no *firmware*, o controle por ciclos inteiros poderá ser implementado sem maiores problemas.

4 ESTRUTURA MECÂNICA DE AQUECIMENTO

Conforme já comentado, a proposta inicial do projeto era projetar um controle de temperatura para um forno doméstico comum, o qual seria utilizado como ferramenta de solda de circuitos eletrônicos em placas.

Porém, foi verificado que tal artifício não funcionaria adequadamente para os objetivos desejados, visto que fornos para uso doméstico apresentam uma inércia térmica importante. Desta forma, sem adaptações drásticas, seria impossível conseguir um perfil bem definido de aquecimento, o qual é indispensável para aplicação em soldas de circuitos eletrônicos.

Além do problema relatado acima, um desafio ainda maior teve que ser superado. Em geral sistemas térmicos são caracterizados como sistemas lentos.

Então, o projeto do SISCONTROL buscou vencer dois desafios, ou seja, superar a inércia térmica de um forno comum e também transformar um sistema fisicamente lento em um sistema mais rápido.

A principal mudança feita no forno foi a alteração do mecanismo de aquecimento. As resistências, normalmente utilizadas em fornos domésticos, foram substituídas por cinco lâmpadas halógenas de 1000 Watts cada, totalizando uma potência de 5000 Watts.

Um *cooler* para resfriamento foi acoplado ao forno, porém, para o funcionamento adequado deste equipamento, um mecanismo mais elaborado, com acionamento de motores e mecânica refinada para abertura de uma passagem de ar seria necessário.

Futuras melhorias podem implementar o controle do resfriamento do dispositivo através deste último componente.



Figura 39 - Forno utilizado no projeto

Fonte: Autoria própria



Figura 40 - Substituição das resistências por lâmpadas

Fonte: Autoria própria

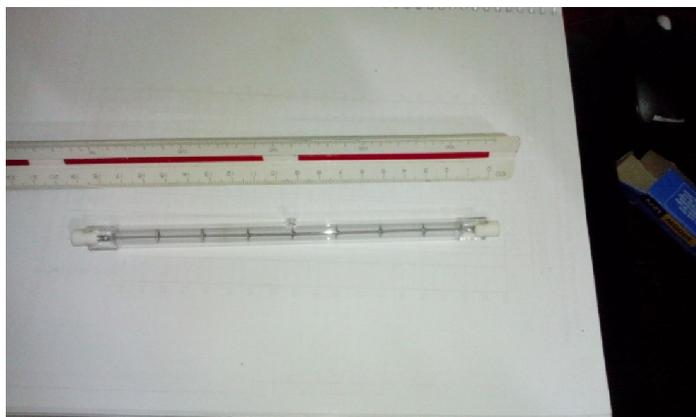


Figura 41 - Lâmpada utilizada no projeto

Fonte: Autoria própria

5 SENSOR DE TEMPERATURA - TERMOPAR TIPO J

A medição de temperatura pode ser realizada de diversas maneiras. A forma mais utilizada para medições de altas temperatura é através do uso de sensores termopares, os quais são empregados na grande maioria dos processos das indústrias químicas, petroquímicas, mecânica, metalúrgica, siderúrgica, farmacêutica, aeronáutica, entre outras.

Vários fenômenos físicos são inerentes ao princípio de funcionamento de termopares.

- **Efeito Termoelétrico de Seebeck:** A junção de dois metais diferentes expostas a diferentes temperaturas gera uma força eletromotriz (fem).
- **Efeito Termoelétrico de Peltier:** Quando uma corrente elétrica atravessa a junção de dois materiais diferentes, a junta pode absorver ou liberar calor dependendo do sentido da corrente.
- **Efeito Termoelétrico de Thomson:** Ocorre absorção ou rejeição de calor quando uma corrente elétrica atravessa um condutor homogêneo submetido a um gradiente de temperatura.

Não serão abordados maiores detalhes sobre o modelo matemático dos fenômenos verificados nos termopares. De forma resumida, os termopares operam da seguinte maneira: uma f. e. m. entre dois condutores metálicos diferentes será percebida se a temperatura no local onde os condutores se unem for diferente da temperatura das outras extremidades dos condutores. A força eletromotriz será então proporcional a diferença de temperatura.

É possível assim relacionar a tensão gerada nos terminais do termopar a uma temperatura relativa. Por exemplo, se uma força eletromotriz de 11 mV for medida em um termopar tipo J, conforme figura 43, significa que existe uma diferença de aproximadamente 200 °C entre a temperatura de junção e a temperatura de referência. Caso a medição esteja ocorrendo em ambiente aberto com uma temperatura de 23 °C, a temperatura absoluta da junção será 223°C

No SISCONTROL, um termopar tipo J foi utilizado, visto que este sensor apresenta boa linearidade nas faixas de operação do forno - entre 200 °C e 300 °C, conforme pode ser verificado na Figura 42. Um modelo sem encapsulamento

metálico foi encomendado junto a empresa TERMOPRESS para diminuir o tempo de resposta do termopar e deixar o dispositivo mais rápido - Figura 43.

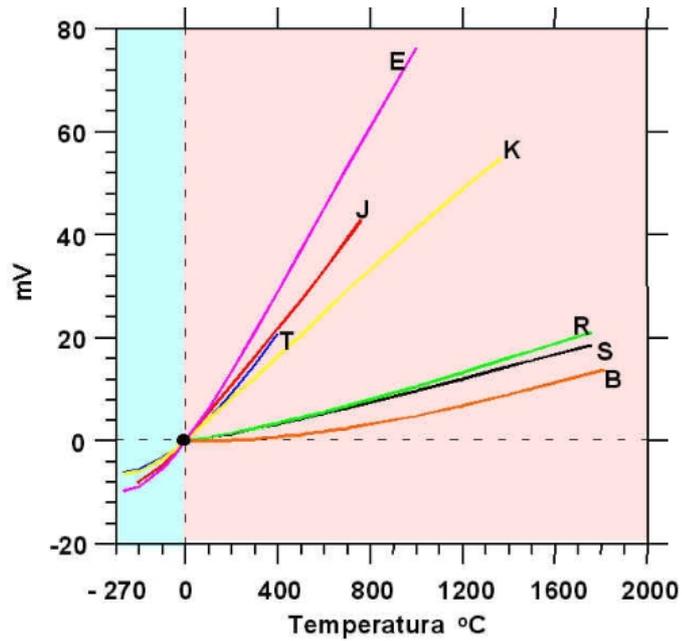


Figura 42 - Linearidade de um conjunto de termopares

Fonte: <<http://www.fem.unicamp.br/~instrumentacao/termopares13.html>> acesso em 17/04/2013

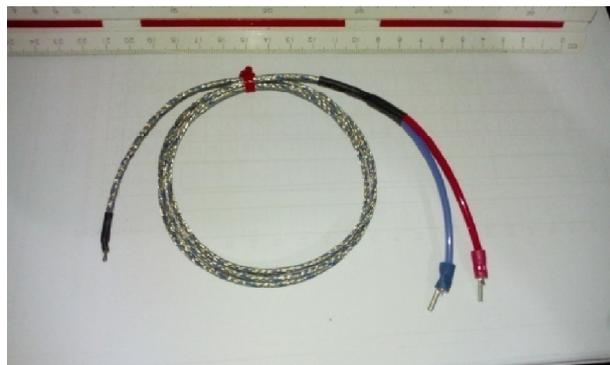


Figura 43 - Termopar utilizado no projeto

Fonte: Autoria própria

6 FIRMWARE

O firmware do SISCONTROL foi escrito em linguagem C e desenvolvido com o uso do compilador IAR System 6.0 kickstar. Trata-se de uma versão sem custo de aquisição, porém com restrição de tamanho máximo de código para ser gravado no micro controlador. Grande parte dos periféricos do micro controlador foram acessados e configurados com o uso de uma biblioteca disponibilizada pela fabricante do kit didático utilizado no projeto, a empresa STMicroelectronics.

6.1 INTERRUPTÃO DE TIMER - SINCRONIA DO SISTEMA

A idéia de colocar um circuito comparador para gerar uma interrupção externa sincronizada com rede elétrica aconteceu de forma tardia no projeto. Uma série de sincronismos exigidas no firmware poderiam ter sido implementadas com o uso deste dispositivo.

Entretanto, o principal mecanismo sincronizador utilizado no projeto foi uma interrupção de timer programada para ocorrer a cada 100ms. Sempre que este evento ocorre, uma série de ações são executadas:

- incremento de uma variável de tempo, utilizada para plotar amostras da temperatura no display de LCD;
- captura de amostra do sensor de temperatura;
- armazenamento da amostra em um vetor de 32 posições e, após isso, é calculado a média das amostras (filtro média móvel passa baixa);
- conversão do valor digital da saída do filtro em valor de temperatura.

A taxa de interrupção está intimamente relacionada com a rotina do controle digital, uma vez que o processo de amostragem do sinal de temperatura acontece na mesma taxa de interrupção, sendo que, a taxa de amostragem influenciará diretamente na equação do PID, o qual será vista mais adiante.

Para processos térmicos, que são caracterizados como sistemas lentos, é recomendado a utilização de taxas de amostragem da ordem de centenas de milissegundos, e por esse motivo foi empregado um taxa de amostragem relativamente alta.

6.2 DESCRIÇÃO DO CONTROLADOR DA MATRIZ GRÁFICA

Uma explicação a respeito do controlador da matriz gráfica do display de LCD foi dada no capítulo três. Porém foi abordado os aspectos do *hardware* do controlador e interface com o display de LCD. Nesta sessão, será elaborado um resumo básico de alguns comandos utilizados no projeto do SISCONTROL para o funcionamento correto do display.

O display opera com oito pinos de dados, quatro pinos de controle, três pinos de alimentação, um pino para reset e outros quatro para configurações de quantidade de colunas e cor para os *caracteres* e backlight

Antes do envio de qualquer comando para o display, é necessário efetuar um comando de status check. Através deste comando o display indica se está pronto para receber instruções ou não. O status check é feito com os seguintes estados dos pinos: /RD = 0; /WR = 1; /CE = 0; CD = 1. O status do display pode ser lido através do barramento de dados. Com a resposta positiva do status check, qualquer instrução poderá ser enviada ao display.

Existem dois tipos de instruções que podem ser passadas para display: envio de dados e envio de comandos. Para a maioria das instruções, alguns dados devem ser enviados ao controlador do display (data put), e na seqüência o comando adequado para aquela informação (command put) que foi enviada anteriormente.

Por exemplo, antes de escrever algum texto no display, é necessário determinar o endereço de memória que este texto será armazenado. O endereço é composto por 16 bits, e é enviado através de dois acessos, sendo enviado primeiro a parte baixa.

Para exemplificar, o endereço de memória 0x1000 será definido como início do texto que será mostrado no display. Assim, será enviado primeiro a instrução de entrada de dados (data put) com o seguinte fluxo: CD = 0; /CE = 0; /WR = 0; escrita do valor 0x00 no barramento de dados; /WR = 1; /CE = 1; CD = 1. O mesmo procedimento deverá ser feito na seqüência para enviar o endereço da parte alta. Assim, o valor escrito no barramento de dados é 0x10.

Após o envio do endereço, o comando 0x42 será necessário. Então, o controlador saberá, através deste comando, que o dados enviados anteriormente são para o endereçamento do texto na memória.

Para comandos, o fluxo de envio deverá ser: $CD = 1$; $/CE = 0$; $/WR = 0$; escrita do valor 0x42 no barramento de dados; $/WR = 1$; $/CE = 1$; $CD = 0$.

Duas funções foram escritas para facilitar o fluxo de envio de informações para o display: `lcd_dput()` e `lcd_cput()`. Desta forma, o envio dos dados acima ficaria:

- `lcd_dput(0x00);`
- `lcd_dput(0x10);`
- `lcd_cput(0x42);`

Nem todos os comandos enviados ao display de LCD precisam de dados de informações. Por exemplo, se apenas o comando 0x98 for enviado - `lcd_cput(0x98)` - o display desabilitará o modo texto e habilitará o modo gráfico

6.3 FLUXO DE NAVEGAÇÃO - DESCRIÇÃO DA MÁQUINA DE ESTADOS

O fluxo de navegação entre as diversas ferramentas disponibilizadas no SISCONTROL pode ser visualizada na figura 44. Não se trata de um diagrama formal de estados, mas sim uma representação bastante simplificada.

O *firmware* do presente projeto não foi projetado para rodar sobre um Sistema Operacional. Trata-se de um fluxo seqüencial, onde as instruções são executadas dentro de um laço de repetição. Ao final das instruções contidas no laço, o processo é novamente iniciado.



Figura 44 - Máquina de estados simplificada

Fonte: Autoria Própria

Para exemplificar, segue o código abaixo seguido da explicação:

```
while(i)
{
    tecla = ler_teclado(2);
    DutyCycle = 0;

    if (tecla == 2)
    {
        while(ler_teclado(1) != 20);
        configura_parametros();
        i = 0;
    }
    else if(tecla == 3)
    {
        int reta = seleciona_reta_alterar(0);
        if (reta != 0) controlador(reta);
        while(ler_teclado(1) != 20);
        i = 0;
    }
    else if(tecla == 4)
    {
        levantar_curva();
        while(ler_teclado(1) != 20);
        i = 0;
    }
    else if(tecla == 5)
    {
        for(int w = 0; w < 300; w++)
        {
            printf("%i%c", perfil_sinal_lido[w], '\n');
            for(int y = 0; y <= 500; y++){
            }
        }
        enviar_dados_serial(77777);
        while(ler_teclado(1) != 20);
        i = 0;
    }
}
```

Este código é executado na função `Main_Machine()`. Todas as instruções acontecem dentro do laço `while(i)}`. A cada execução, é feita uma leitura do valor do touch-screen (`tecla = ler_teclado(2);`). Caso alguma tecla válida seja detectada, o programa pula ou executa a rotina sinalizada. Ao final do laço de repetição, toda a ação é repetida. Desta forma, é possível inferir que o processador está praticamente 100% do tempo ocupado.

É indiscutível que a implementação do firmware do SISCONTROL sobre um sistema operacional o tornaria mais elegante e eficiente, além de tornar a manutenção do código mais fácil. Nas revisões vindouras do projeto, é aconselhável a introdução de um RTOS no projeto.

6.4 FILTRO DIGITAL MÉDIA MÓVEL - PASSA BAIXA

Sensores do tipo termopar são ferramentas interessantes quando se trabalha com temperaturas elevadas. Entretanto, alguns cuidados devem ser tomados, visto que é um sistema bastante susceptível, tanto a ruído branco como outras interferências.

O amplificador diferencial AD594Q, utilizado no projeto, apresenta ótimo desempenho de rejeição em modo comum, e já produz um resultado satisfatório em relação ao ruído aleatório.

Para tornar o SISCONTROL ainda mais confiável, um filtro digital média móvel foi implementado, visto que este tipo de filtro apresenta um ótimo desempenho na redução de ruído aleatório. Um vetor de 32 valores armazenam as últimas amostras, e com isso, é possível calcular a média entre as elas.

No modelo clássico de filtro média móvel, a cada amostra capturada do sensor de temperatura, os valores do vetor são *shiftados* (a amostra da posição [n] passará a ocupar a posição [n-1]), a amostra da primeira posição do vetor é descartada, a nova amostra é armazenada na última posição e uma nova média é calculada.

Na concepção do filtro digital do SISCONTROL, um código mais simples e eficiente foi escrito, porém com o mesmo resultado. Um algoritmo semelhante a uma lista circular foi implementada, visto que os coeficientes do filtro são todos iguais a

1/32. A posição de entrada da futura amostra é armazenada em uma variável. Assim, não é necessário deslocar as amostras no vetor, porém este algoritmo de convolução só pode ser empregado quando os coeficientes do filtro possuírem o mesmo valor.

6.5 CÁLCULO NUMÉRICO DA POTÊNCIA

Nos capítulos dois e quatro foi comentado sobre o uso de lâmpadas halógenas como mecanismo de aquecimento do forno. Essas lâmpadas operam com a tensão de 127 V da rede elétrica e, conforme ilustrado na figura 45, apresentam característica puramente resistiva, visto que não existe condução de corrente após a inversão da polaridade da rede elétrica.

Sendo assim, o cálculo da potência média liberada para a lâmpada pode ser escrita como:

$$P_R = \frac{V_O^2}{R} \left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{4\pi} \right) \quad (1)$$

É possível reescrever a equação acima das seguintes maneiras:

$$P_R = \frac{V_O^2}{R} \left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{2\text{sen}(\alpha)\cos(\alpha)}{4\pi} \right) \quad (2)$$

$$P_R = \frac{V_O^2}{R} \left(\frac{\pi}{2\pi} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\text{sen}(\alpha)\cos(\alpha)}{2\pi} \right) \quad (3)$$

$$P_R = \frac{V_O^2}{2\pi R} \left(\pi - \alpha + \text{sen}(\alpha)\cos(\alpha) \right) \quad (4)$$

A análise da equação 4 mostra que a potência é calculada em função do ângulo de disparo α . Como, matematicamente, é bastante complicado calcular um ângulo de disparo para determinada potência de forma analítica, ou seja, é difícil *isolar* o ângulo α , um método numérico foi programado para resolver o problema.

No ciclo positivo, os ângulos da senóide variam de 0 até π radianos, ou seja, 180°. Um PWM com frequência de 120 Hz (meio ciclo) foi programado para fazer o disparo do ângulo α sendo que, para o PWM atingir esta configuração, 1200 contagens foram programadas. Isto significa que, se for programado uma contagem

de 0, nenhuma alteração será percebida - o nível do PWM será sempre baixo. Se uma contagem de 1200 for programado, o nível do PWM será sempre alto. Se uma contagem de 600 for programada, o PWM ficará 50% do tempo em nível baixo, e 50% do tempo em nível alto.

De forma resumida, cada meio ciclo de uma senóide foi dividida em 1200 níveis, e cada nível equivalente a $\pi/1200$ radianos, ou 0.15 graus. Para cada nível, foi calculado a potência, substituindo cada ângulo na equação 4. Os valores percentuais das potências calculadas foram armazenados então em um vetor de 101 posições, o qual relaciona o número de contagens com o ângulo para determinada potência.

Para exemplificar, segue explanação do cálculo e do algoritmo implementado, considerando a potência de apenas uma lâmpada, ou seja, 1000 W: um laço de repetição foi programado para ocorrer 1200 vezes. A cada execução, uma variável de contagem é incrementada. Supondo que, em determinado momento, a variável de contagem atingiu o valor de 600.

Para este valor, um ângulo de $\pi/600$ é calculado. Se for considerado uma potência de 1000 W e a tensão da rede 127 V, o valor de R será aproximadamente $16,129\Omega$. Estes dados (tensão, resistência e ângulo) são substituídos na equação 4. Assim, a potência calculada será de 500 W.

Como 500watts equivale a 50% de 1000 W, a variável de contagem com o valor de 600 será armazenada na posição [50] do vetor de *potências*. Caso a rotina de controle demande a liberação de 50% da potência para a carga, será verificado no vetor de potências, na posição [50], que o valor da contagem que deverá ser configurado no PWM é 600.

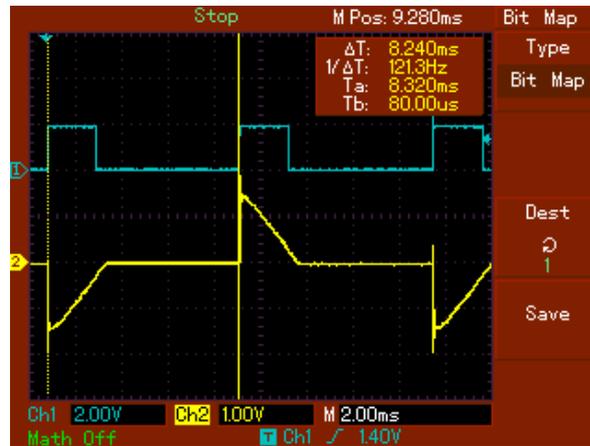


Figura 45 - Carga puramente resistiva

Fonte: Autoria própria

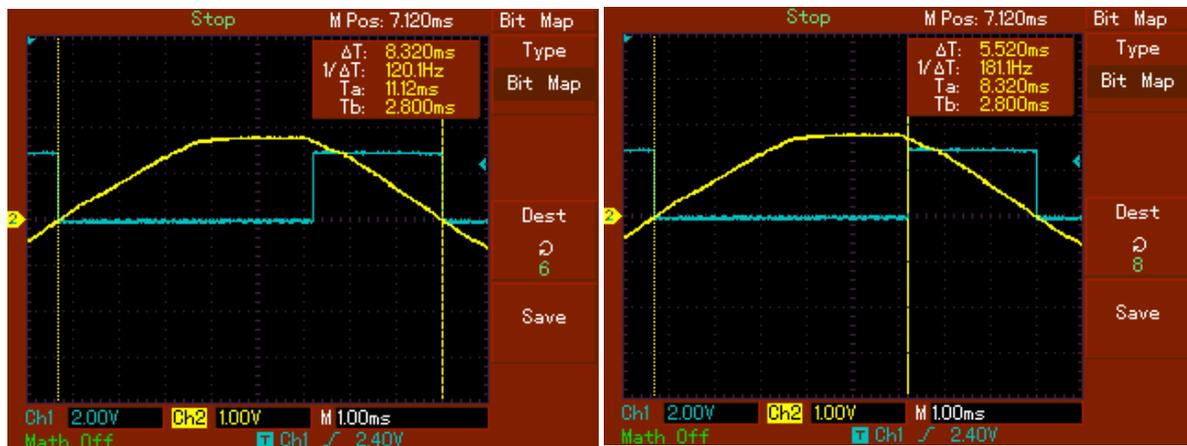


Figura 46 - PWM referente a 20% da potência

Fonte: Autoria própria



Figura 47 - PWM referente a 50% da potência

Fonte: Autoria própria

6.6 CONSTRUÇÃO DO PERFIL DE TEMPERATURA

O projeto do SISCONTROL permite que o usuário defina curvas de aquecimento através da adição de pontos em uma reta. Dados dois pontos, a equação de uma reta é facilmente determinada.

A interface digital do projeto permite que o usuário informe até 32 pontos para construções de retas. Um perfil de aquecimento é então formado por diversas retas, que por sua vez, é formado pelos pontos inseridos pelo usuário.

Para tornar mais fácil a implementação e exibição do perfil de temperatura desejado no display de LCD, um vetor com 300 posições foi declarado com o objetivo de armazenar não só os pontos informados pelo usuário, mas também alguns pontos intermediários. Estes pontos servirão também como SETPOINT no momento do acionamento da rotina de controle.

A interface digital do forno foi programa para controlar processos de até 5 minutos. Desta maneira, como o vetor com o perfil desejado possui 300 pontos, cada valor do vetor corresponderá, tanto a um segundo, como a um SETPOINT para esta unidade de tempo, ou seja, a cada segundo, um novo SETPOINT será indicado. É evidente que, se o coeficiente angular da reta informada for zero, o SETPOINT não será alterado, permanecendo com o mesmo valor do anterior.

Como a taxa de amostragem acontece a cada 100ms, dez ações de controle acontecerão entre cada SETPOINT, ou dez ações de controle ocorrerão em um segundo. A figura 48 ilustra o processo de construção do perfil para os pontos: (0; 50), (40; 200) e (100; 200)

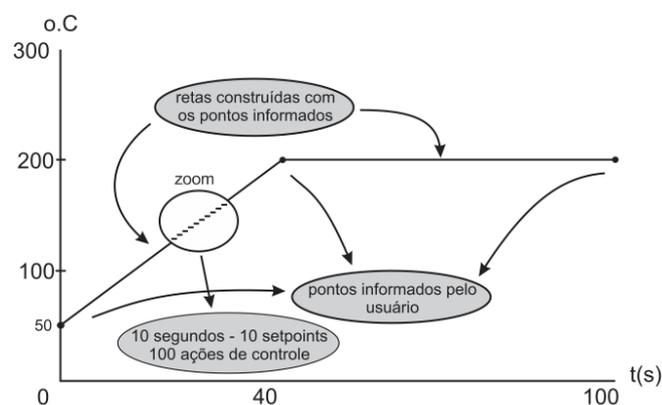


Figura 48 - Processo de construção do perfil de temperatura

Fonte: Autoria própria

7 CONTROLE DIGITAL

De forma resumida, o controle digital é a análise e o projeto de estabilidade, de erro de estado estacionário e de resposta transitória para sistemas controlados por computador.

O desenvolvimento dos microcontroladores, a partir das décadas de 1960 e 1970 estimou o uso de sistemas digitais, pois computadores de grande porte já não eram mais necessários, ou seja, as mesmas atividades poderiam ser executadas por computadores portáteis.

O computador pode participar tanto de processos internos da malha de controle, como de processos externos. Os processos externos envolvem principalmente supervisão de sincronismo de tarefas, monitoração de valores fora de faixa de parâmetros e segurança do processo.

Dentro da malha de controle, o computador assumirá o papel do compensador, ou seja, o controle que era feito por componentes analógicos agora será substituído por um computador digital que imitará o compensador físico.

O uso de sistemas digitais para controle de processos apresenta várias vantagens:

- redução de custos;
- flexibilização para introduzir mudanças no projeto - quaisquer alterações necessárias no futuro podem ser realizada através de *software*, ao invés de modificações mais caras de *hardware*;
- maior imunidade a ruído;
- maior vida útil - componentes analógicos tendem a mudar suas propriedades com o envelhecimento.

As figuras 49 e 50 ilustram os sistemas de controle analógicos e digitais, respectivamente. Conforme pode ser verificado, o controlador discreto é formado por vários blocos, ou seja, um sistema de amostragem e conversão analógico-digital, um computador (ou microcontrolador), um conversor digital-analógico e um grampeador.

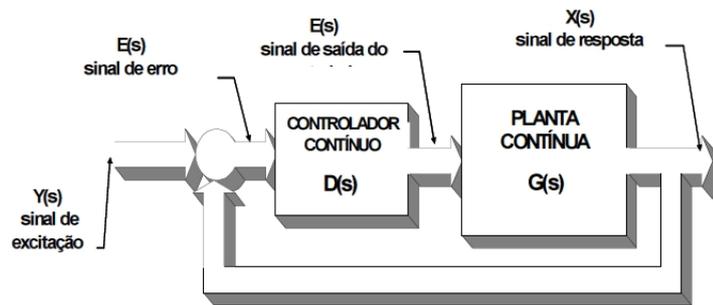


Figura 49 - Representação de um sistema analógico realimentado

Fonte: <<http://pessoal.utfpr.edu.br/erig/CTRL02/1%20-%20sistemas%20discretos.pdf>> acesso em 21/04/2013

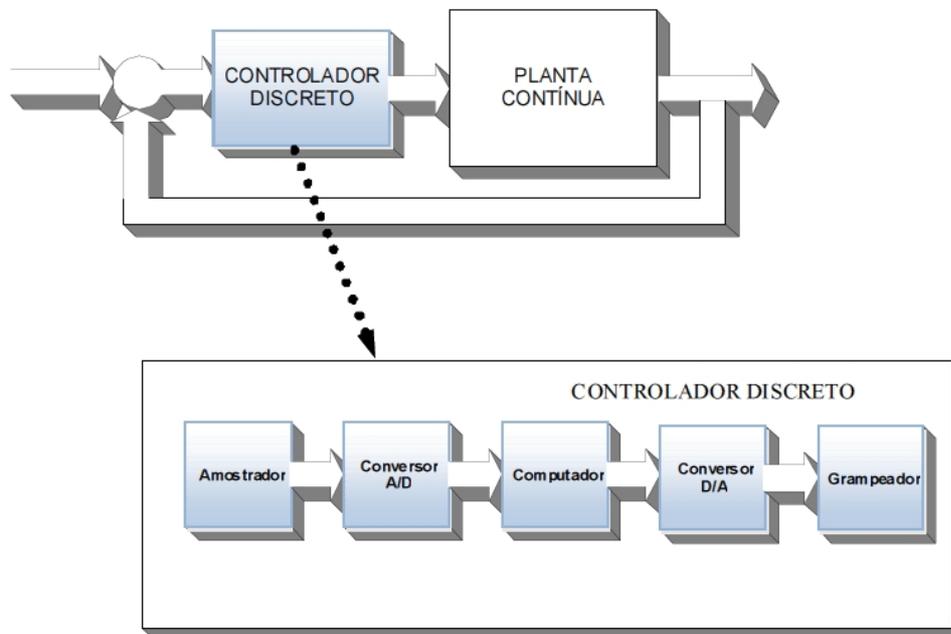


Figura 50 - Sistema de controle genérico com controlador discreto

Fonte: <<http://pessoal.utfpr.edu.br/erig/CTRL02/1%20-%20sistemas%20discretos.pdf>> acesso em 21/04/2013

Não será abordado, neste documento, toda a teoria de controle discreto, bem como o formalismo matemático inerente ao tema. Porém, será relatado adiante a forma de implementação do controle discreto do SISCONTROL e as ferramentas que foram utilizadas para tal finalidade.

7.1 ESTRATÉGIA DE CONTROLE

Existem basicamente dois tipos de sistemas físicos: os auto-regulados e os não auto-regulados. Sistemas auto-regulados são aqueles que tendem a se estabilizar em regime estacionário, como por exemplo, sistemas térmicos. Sistemas não auto-regulados não estabilizam em regime permanente, por exemplo, a vazão de água em um tanque - se a água atingir o limite, o tanque transbordará.

A análise da resposta do SISCONTROL a um degrau unitário (100% da potência) pode levar a dedução de que se trata de um sistema não-auto regulado, visto que a temperatura sempre aumenta e, provavelmente, vai estabilizar num patamar onde o conjunto pode ser seriamente danificado. Este fato impediu o uso do método da sintonia de um PID pela curva de reação do processo.

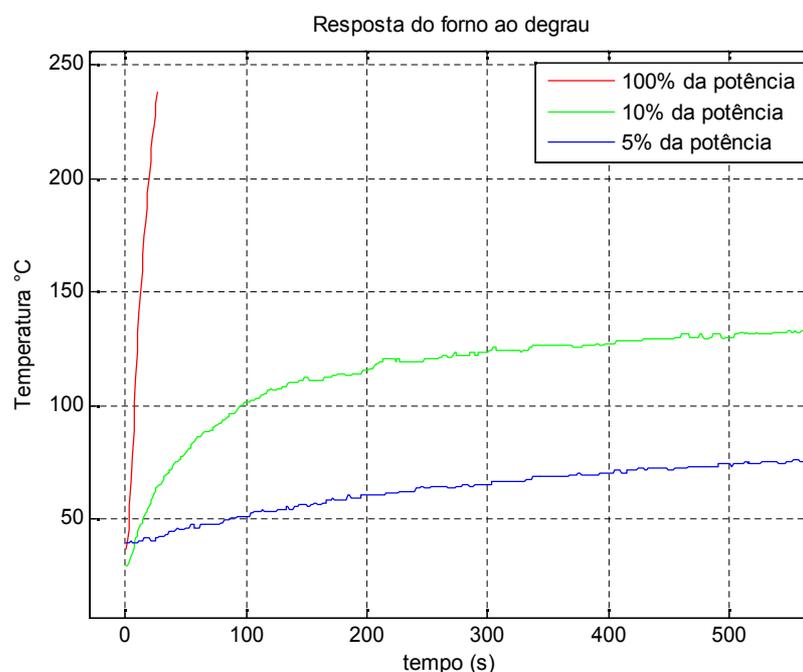


Figura 51 - Resposta do forno ao degrau

Fonte: Autoria própria

Várias pesquisas foram realizadas com o intuito de descobrir um método de controle confiável para o forno. Foi então verificado que o método oscilatório de Ziegler-Nichols poderia ser empregado para levantar os parâmetros de um

Porém, não é possível utilizar este método no SISCONTROL, uma vez que a temperatura, em regime permanente, para uma resposta degrau (100% da potência) é bastante alta, e certamente a estrutura mecânica de aquecimento será danificada.

Assim, outro método foi utilizado para levantar os parâmetros do PID. Trata-se do método oscilatório de Ziegler Nichols.

Para este método, o algoritmo de um controlador proporcional é implementado. O ganho proporcional vai sendo incrementado até que o sistema comece a oscilar em torno de um *setpoint*. O ganho que confere ao sistema uma característica oscilatória é chamado de ganho crítico K_C . Os parâmetros do PID (K_P , K_D , K_I) são então calculados em função do período de oscilação e do ganho K_C .

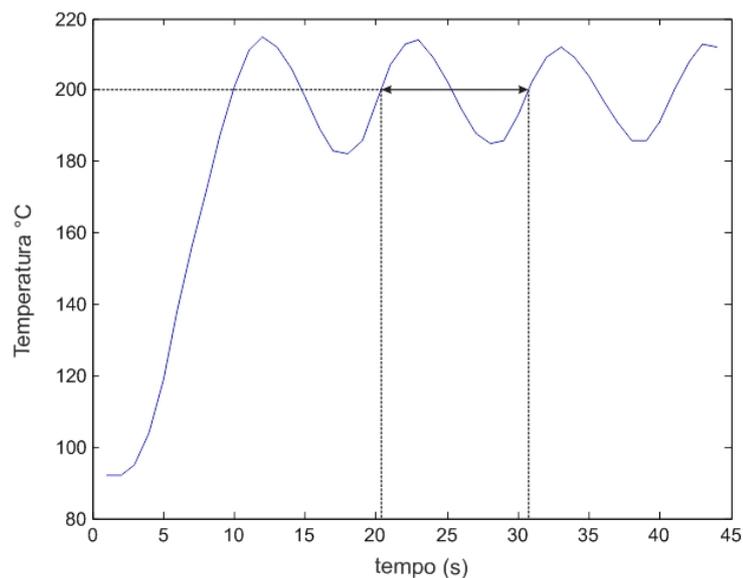


Figura 53 - Levantamento dos parâmetros do PID

Fonte: Autoria própria

A figura 53 mostra que, para um *setpoint* 200 e um ganho crítico K_C 15 o período de oscilação P_C é aproximadamente de 10 segundos. É possível, com isso, calcular os parâmetros do PID conforme com as relações abaixo:

- $P = 0.6 * K_C$ (K_P)
- $T_i = 0.5 P_C$ (K_I)
- $T_d = P_C / 8$ (K_D)

Os valores calculados acima são necessários para a determinação da equação de diferenças, que será analisada na seqüência.

7.3 ROTINA PARA O CONTROLE DISCRETO

O controle discreto implementado foi um PID sintonizado com o método oscilatório de Ziegler Nichols. Com o uso da integração trapezoidal, a seguinte equação do controlador discreto foi determinada.

$$G_C(z) = \frac{\left(K_P + \frac{TK_I}{2} + \frac{K_D}{T}\right)z^2 + \left(\frac{TK_I}{2} - K_P - \frac{2K_D}{T}\right)z + \frac{K_D}{T}}{z(z-1)} \quad (5)$$

A equação 5 pode ser escrita sob a forma de uma equação de diferenças, da seguinte forma:

$$u[k] = u[k-1] + (a)e[k] + (b)e[k-1] + (c)e[k-2] \quad (6)$$

onde:

$$a = K_P - \frac{TK_I}{2} + \frac{K_D}{T} \quad (7)$$

$$b = \frac{TK_I}{2} - K_P - \frac{2K_D}{T} \quad (8)$$

$$c = \frac{K_D}{T} \quad (9)$$

De forma resumida, a equação de diferenças é escrita em função da frequência da amostragem, do último sinal de controle e das duas últimas amostras de temperatura (sinal de erro $e[k]$).

O termo T é a frequência de amostragem, que no SISCONTROL vale 100ms, ou seja, acontece na mesma taxa que a maioria dos sincronismos programados.

7.4 RESULTADOS OBTIDOS

Vários ensaios foram efetuados com o objetivo de verificar o funcionamento do forno. Infelizmente, a grande maioria falhou devido as mais variadas causas. A maior fonte de problemas sem dúvida foi a inconsistência do *hardware*, aliado a um sistema analógico de tratamento de sinal para termopar que, na maioria das vezes, é bastante complicado, visto a grande vulnerabilidade a ruídos.

A curva de um ensaio bem sucedido está representada na figura 54.

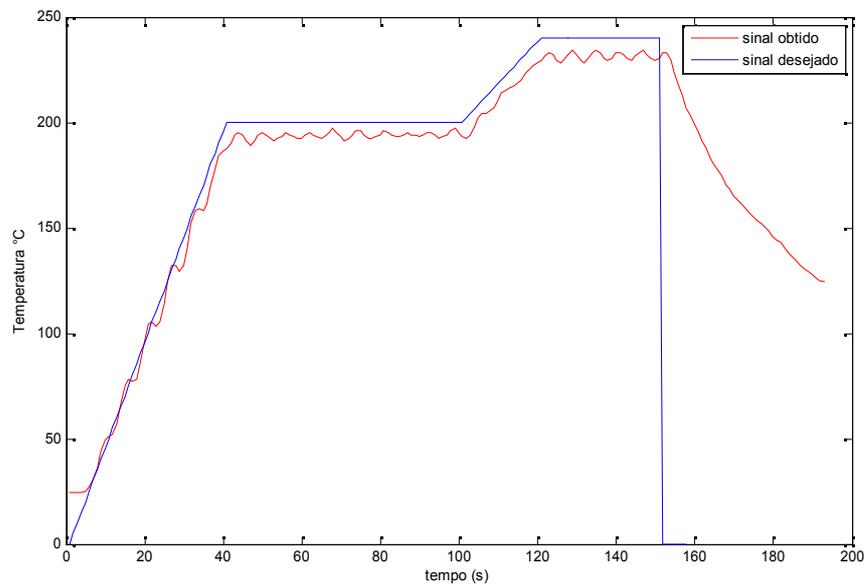


Figura 54 - Resultado obtido no ensaio

Fonte: Autoria própria

O perfil de temperatura desejado possui cinco retas:

- uma rampa, que vai de 0°C até 200°C nos primeiros em 40 segundos;
- temperatura constante de 200°C entre 40 e 100 segundos (60 segundos);
- uma rampa, que vai de 200°C até 240°C em 20 segundos;
- temperatura constante de 240°C no próximos 15 segundos;
- resfriamento - sem controle.

A análise da curva obtida (vermelho) mostra que existe um erro, porém como se trata de um sistema fisicamente lento e o processo de cozimento da placa a ser

soldada é relativamente rápido (cerca de 2 minutos), não existe tempo suficiente para o sistema se estabilizar completamente.

O problema pode ser resolvido com a configuração de um perfil adequado para determinada temperatura, com a previsão de que haverá um erro. Assim, o cadastramento da curva deve ser feito com valores levemente superiores ao necessário.

8 PLANO DE NEGÓCIOS

8.1 SUMÁRIO EXECUTIVO

O presente documento aborda a proposta de implantação de negócio na área da indústria eletrônica. O produto a ser explorado é um forno para soldas de componentes eletrônicos em placas de circuito impresso. Trata-se de um produto com amplo mercado, podendo ser adquirido por indústrias da área de componentes eletrônicos, montadoras, universidades e escolas técnicas, além de profissionais liberais do ramo.

De forma resumida, o produto é composto por um forno semelhante aos de uso doméstico, e um sistema de controle de temperatura, além de um software capaz de armazenar as curvas de aquecimento dos processos de cozimento de placa.

8.2 DEFINIÇÃO DO NEGÓCIO

8.2.1 VISÃO

Contribuir com o desenvolvimento e fortalecimento da indústria eletrônica no Brasil.

8.2.2 MISSÃO

Oferecer soluções eficientes em desenvolvimento e produção de componentes e produtos eletrônicos – buscar excelência na pesquisa e desenvolvimento de novas ferramentas e tecnologias, além de novas formas de gestão, a fim de viabilizar a produção eletrônica dentro das fronteiras do país e contribuir com a consolidação desse segmento no Brasil.

8.2.3 VALORES

- Busca incessante pela inovação de produtos, serviços e formas de gestão;
- Comprometimento com a qualidade pelo serviço/produto ofertado;

- Comprometimento e lealdade junto aos clientes, colaboradores, fornecedores;
- Respeito ao ser humano e ao ambiente;
- Foco na solução de problemas;
- Buscar a rentabilização do negócio de forma consciente e responsável, nas esferas sociais e ambientais;
- buscar a promoção humana e tornar a empresa reconhecida por políticas de excelência para com os colaboradores.

8.2.4 DESCRIÇÃO DO NEGÓCIO

O negócio abordará desenvolvimento e comercialização de ferramentas para a indústria eletrônica por parte da empresa ENGETRONIC (empresa fictícia) . O presente plano abordará especificamente a sistematização do negocio envolvendo a comercialização do forno para soldas. Para outros produtos outros planos de negócios serão desenvolvidos.

O negócio então abordará a fabricação e comercialização de fornos para soldas de componentes eletrônicos, chamados de SISCONTROL. A comercialização poderá acontecer tanto no atacado, quanto no varejo, dependendo da aceitação do produto pelo mercado. Para iniciar o negócio, as vendas acontecerão sob demanda. Desta forma, será evitado um grande investimento inicial no estoque de componentes.

O grande diferencial do SISCONTROL em relação aos concorrentes é o preço de aquisição e tamanho físico do dispositivo. Enquanto os preços de venda dos fornos da concorrência estão entre R\$10000.00 a R\$16000.00, o SISCONTROL poderá ser adquirido por valores inferiores a R\$4000.00, além de demandar menor espaço de armazenamento, visto que o SISCONTROL possui estrutura bastante compacta.

8.3 OBJETIVOS

8.3.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Apresentar um produto bom, confiável e eficiente ao mercado com o objetivo de obter, não só retorno do capital investido, mas também lucro com a comercialização.

8.3.2 OBJETIVOS INTERMEDIÁRIOS

Facilitar a introdução de novos produtos desenvolvidos pela empresa no mercado, além de contribuir com a expansão da indústria eletrônica, tornando o Brasil atrativo para indústrias de desenvolvimento da área tecnológica.

8.4 PRODUTOS E SERVIÇOS

8.4.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO E SERVIÇO

O SISCONTROL será composto por três módulos, sendo: um módulo principal, responsável pelo controle de temperatura do forno, um módulo de potência, que será responsável por chavear a tensão da rede no forno de acordo com um sinal de controle gerado pelo módulo principal e, por último, o dispositivo de aquecimento, ou forno.

A curva de aquecimento será definida pelo usuário através de interfaces inseridas no módulo principal especialmente para servir de instrumento de interação homem-máquina.

8.4.2 ANÁLISE COMPARATIVA

O grande diferencial do SISCONTROL em relação as soluções dos concorrentes é a questão do custo de aquisição. Conforme já relatado, a concorrência pratica preços que giram em torno de R\$10000.00 a R\$16000.00, sendo que o preço pretendido para comercialização do SISCONTROL não será superior a R\$4000.00.

Outro diferencial apresentado pelo SISCONTROL é a questão do espaço físico ocupado. Soluções compactas e portáteis praticamente não existem no Brasil, somente através de importação é possível obter fornos para solda SMD e BGA com dimensões reduzidas. O forno do SISCONTROL possui as seguintes dimensões: 400mm x 250mm x 180mm, ou seja, é uma ferramenta bastante compacta.

8.4.4 PRODUTOS E SERVIÇOS FUTUROS

Novas ferramentas serão introduzidas no mercado visando, acima de tudo, obter bons resultados financeiros e elevar o nome da empresa junto ao mercado tecnológico brasileiro. Melhorias serão sempre implementadas no SISCONTROL, além do desenvolvimento de várias versões da ferramenta com diferentes funcionalidades, com o intuito de diminuir o custo de fabricação e consumo de energia, para melhorar o preço de aquisição e tornar o SISCONTROL um produto que contribua para a sustentabilidade dos recursos naturais.

8.5 ANÁLISE DE MERCADO

8.5.1 SEGMENTAÇÃO DE MERCADO

A demanda pelo SISCONTROL vem basicamente da área tecnológica. Sendo assim, toda atividade relacionada a esta área poderá se tornar público alvo, ou seja, universidades, indústria, comércio, e profissionais liberais de eletrônica ou áreas tecnológicas correlatas.

8.5.2 SEGMENTO ALVO DE MERCADO

O SISCONTROL foi inicialmente desenvolvido para suprir uma demanda da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Sendo assim, o primeiro segmento a ser analisado como possível alvo de mercado são as universidades e escolas técnicas.

Uma análise rudimentar mostra que o Brasil apresenta pelo menos 250 curso de engenharia elétrica lecionados em universidades federais, estaduais, municipais e particulares. Se considerarmos áreas correlatas, como engenharia de controle e

automação, telecomunicações e nuclear, este número tende a aumentar ainda mais.

Sendo assim, o primeiro segmento alvo a ser analisado e explorado será as universidades e escolas técnicas.

8.5.2.1 NECESSIDADES DO MERCADO

A aquisição de um forno portátil para fins de aplicações de solda BGA e SMD no Brasil só é possível através de importação. Sendo assim, o desenvolvimento e comercialização de uma ferramenta portátil para suprir esta necessidade do mercado certamente é um nicho a ser estudado.

8.5.2.2 TENDÊNCIAS DO MERCADO

É indiscutível que a área tecnológica tem percebido inúmeros avanços nos últimos anos. É possível notar que ainda existe uma demanda muito forte por inovações tecnológicas em diversas áreas, sobretudo no setor de telecomunicações, entretenimento e biomedicina.

O SISCONTROL poderá influenciar de forma decisiva nas inovações tecnológicas vindouras. Ainda, a indústria tecnológica brasileira é bastante atrasada em relação a de outros países, como a da Alemanha, Estados Unidos e China. Dispositivos capazes de facilitar e baratear o custo de produção são boas alternativas para tornar a indústria eletrônica brasileira mais competitiva no mercado mundial.

8.5.2.3 CRESCIMENTO DO MERCADO

Com a retomada do crescimento no Brasil está cada vez maior a demanda por profissionais com formação em engenharia. É possível perceber o reflexo deste fenômeno com o aumento do número de universidades e escolas técnicas criadas na última década.

Este é mais um indicativo que existe um horizonte ainda maior de crescimento, sem considerar a proximidade de grandes eventos no país, como a Copa do Mundo da FIFA e as Olimpíadas.

A tendência é de pelo menos a manutenção do aquecimento da economia, aumentando com isso a demanda por ferramentas que auxiliem na formação de profissionais da área tecnológica.

8.5.3 ANÁLISE DA INDÚSTRIA

O Brasil ainda é um país pobre no setor tecnológico. Praticamente toda necessidade interna por produtos com alta tecnologia é suprida através da importação. Recentemente muito se tem falado sobre subsídios governamentais para estimular o desenvolvimento da área tecnológica brasileira, porém os resultados até o momento são pouco perceptíveis.

Não existe um parque de desenvolvimento tecnológico avançado no país. Os que existem, ou estão sucateados, ou apresentam uma produção bastante onerada, tornando inviável qualquer pesquisa de inovação baseada em componentes fabricados em território nacional.

Este cenário torna viável qualquer iniciativa de introduzir novas ferramentas visando incentivar a pesquisa e produção de produtos com alto tecnológico agregado no Brasil

8.5.3.1 PLAYERS

É possível identificar vários elementos que compõem o segmento da indústria eletrônica e que podem influenciar, tanto de maneira positiva quanto negativa, os resultados da empresa. Os principais concorrentes produtores de fornos para soldas que estão instalados no Brasil são: SMTECH Technosolder, OMTEC, ESSEMTEC, KTI, ALLPOINT e ALMTECNOLOGIA.

Com relação a parcerias, conforme já comentado, o acesso a fornecedores brasileiros é bastante restrita. Infelizmente, é possível encontrar diversos revendedores e representantes em território nacional, visto que componentes de alto valor tecnológico só são acessíveis através de importação.

Segue relação de empresas alvo de possíveis parcerias: STMicroelectonis, AGT, MARU-M, Texas Instruments, National Instruments, BETA ELETRÔNICA, PARES COMERCIAL LTDA entre outras.

8.5.2.2 MODELO DE DISTRIBUIÇÃO

Um estudo sobre os concorrentes foi realizada e foi verificado que o grande canal de, não só de vendas, mas também de divulgação dos produtos, é através da internet.

Não foi possível verificar se existe uma produção em massa dos produtos a serem vendidos pelos concorrentes. Será suposto aqui que, para evitar investimento desnecessário com estocagem de peças, a produção sob demanda foi adotada por estas empresas.

Sendo assim, será adotado inicialmente o processo de venda sob demanda. Não haverá produção em massa e um conjunto de revenda não será formado num primeiro momento.

Caso seja verificado uma boa aceitação do produto por parte do mercado, uma rede varejista será estabelecida, bem como será analisado o desenvolvimento de uma produção para atender vendas de grandes lotes no atacado.

8.6 DEFINIÇÃO DA OFERTA E PROPOSTA DE VALOR

A proposta de valor do presente plano é baseada no fato de que os equipamentos para aplicação na área tecnológica muitas vezes são inacessíveis a micro e pequenas empresas e profissionais liberais devido ao custo de aquisição.

Basicamente três fatos nortearam a definição da proposta de valor:

- oferecer ao mercado um produto portátil;
- lançar um produto com menor custo de aquisição;
- dar ao cliente a opção de aquisição um produto confiável, o qual irá auxiliar, tanto em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, quanto em produções de pequenos lotes de produtos.

8.7 ESTRATÉGIA E IMPLEMENTAÇÃO

8.7.1 DIFERENCIAIS COMPETITIVOS E PROPOSTA DE VALOR

Os principais diferenciais competitivos, conforme elencado, são a portabilidade e baixo custo apresentado pelo SISCONTROL, em comparação com as ferramentas similares encontradas no mercado.

Os modelos de fornos de refusão atualmente disponíveis no mercado apresentam custo elevado, e não são portáteis, além de ser direcionados para produção de grande escala. Este fato desestimula a aquisição, não só para fins didáticos e pesquisas, como também para produção em pequena escala.

8.7.2 ESTRATÉGIA DE MARKETING

8.7.2.1 ESTRATÉGIA DE PREÇOS

O plano inicial é praticar preços apenas para obter o retorno financeiro investido (com adicional de 0,8%) e para custear a produção de novos lotes do SISCONTROL, para tornar a marca de empresa conhecida entre os *players* do segmento da indústria eletrônica.

Conforme descrito, com o estabelecimento da marca no mercado, novos produtos poderão ser lançados e explorados a fim de aumentar a rentabilidade da empresa.

8.7.2.2 ESTRATÉGIA DE PROMOÇÃO

A divulgação, tanto do produto, quanto da marca da empresa acontecerá de três maneiras:

- Internet: parcerias junto a sites de grande visitação será estabelecida a fim de uma boa divulgação do SISCONTROL e da empresa ENGETRONIC.
- Feiras e Workshops: trata-se de uma excelente oportunidade de realizar contatos e fechar parcerias para o conhecimento do produto e da empresa
- Visitas nas universidades: como o principal público alvo serão inicialmente as universidades, visitas serão agendadas a fim de mostrar as funcionalidades

do SISCONTROL visando com isso, novamente, divulgação do produto e da marca da empresa.

8.7.2.3 ESTRATÉGIA DE DISTRIBUIÇÃO

Não acontecerá venda diretamente no varejo do SISCONTROL, uma vez que este sistema exigirá um investimento muito grande na produção médios e grandes lotes do produto, além de ser demandado recursos com o transporte do produto.

Será considerado entretanto, a venda de um pequeno lote na rede varejo da região de Curitiba.

Conforme já relatado, as vendas, em sua maioria, acontecerão sob demanda. Caso ocorra uma boa recepção do produto por parte do mercado, uma rede de distribuição será estabelecida a fim de expandir cada vez mais os negócios.

8.7.3 ESTRATÉGIA DE VENDA

A estratégia de venda está intimamente relacionada as ações de divulgação do produto e da marca da empresa, ou seja, é esperado que as vendas aconteçam a medida que universidades sejam visitadas, o produto seja exposto nas páginas de grande visitação da internet e também quando houver exposição do produto em feiras e workshops.

8.7.3.1 FORECAST

Será considerado que as vendas ocorrerão conforme o avanço da divulgação do produto. Será considerado um aumento percentual de 10% a 15% na procura do SISCONTROL.

Vale destacar que, como inicialmente as universidades serão o foco principal de vendas, as vendas tenderão a sofrer com o sazonalidade que é peculiar a estas instituições, ou seja, provavelmente os períodos de maiores vendas acontecerão no início de cada período letivo, nos meses de fevereiro e março, e nos meses de agosto e setembro.

A projeção de vendas pode ser visualizada no quadro 8.1.

PROJEÇÃO DE VENDAS - PUBLICO ALVO UNIVERSIDADES															
Ano	2013			2014						2015					
Bimestre	4.o	5.o	6.o	1.o	2.o	3.o	4.o	5.o	6.o	1.o	2.o	3.o	4.o	5.o	6.o
Qtd	24	22	10	21	26	22	26	24	14	23	29	25	28	26	17
Total ==>	56			133						148					

Quadro 1 - Projeção de vendas

Fonte: Autoria própria

8.7.4 ALIANÇAS ESTRATÉGICAS

Várias parcerias poderão ser estabelecidas ao longo do ciclo de vida do produto. Na primeira ação de vendas será priorizado contatos junto a universidades e escolas técnicas. As alianças estratégicas, neste período, se concentrarão em fornecedores locais, além da contratação imediata de uma canal de comunicação para divulgação do produto, que será realizada através da internet, em página de grande visitação.

A expansão das vendas para o comércio varejista acarretará em novas parcerias, desta vez com fornecedores de localidades mais distantes, e também com transportadoras, pois a venda no varejo exige uma malha de distribuição eficiente em virtude do grande custo envolvido no sistema de transporte de carga brasileiro.

8.8 GESTÃO

O desenvolvimento do projeto do SISCONTROL é gerido pela área de projetos da empresa, bem como a prototipagem. Já existe um protótipo em pleno funcionamento, e sua comercialização pode ser iniciada.

O responsável pela gestão da divulgação e comercialização será o departamento de vendas.

Como se trata de uma micro-empresa iniciante no ramo de ferramentas para área de eletrônica, a gerência será efetuada diretamente pelos sócios. Não será

contratada, a princípio, nenhuma assessoria para auxiliar na área de gestão ou finanças da empresa.

8.8.1 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

8.8.2 EQUIPE

A empresa ENGETRONIC será composto por quatro equipes, uma de finanças, uma de engenharia, uma pesquisa e desenvolvimento, e, por último, marketing e vendas.

8.8.3 QUADRO DE PESSOAL

Conforme exposto no item acima, empresa será composta por 4 departamentos, sendo que os dois sócios, os quais possuem formação acadêmica em engenharia, serão responsáveis, no início das atividades, pelos departamentos de engenharia, pesquisa e desenvolvimento e finanças.

O terceiro integrante da equipe, graduado na área de negócios, será o responsável pelo departamento de marketing e vendas.

É evidente que novas pessoas serão incorporadas a equipe a medida que bons resultados viabilizarem o crescimento, não só do quadro de pessoal, mas também da empresa.

Gastos previstos com folha de pagamento				
Setores	Gasto Mensal	Total 2013	Total 2014	Total 2015
Engenharia (*)	14000.00	84000.00	168000.00	168000.00
Pesquisa e Desenvolvimento	-	-	-	-
Financeiro	-	-	-	-
Marketing e Vendas	5000.00	30000.00	60000.00	60000.00
Total	19000.00	114000.00	228000.00	228000.00

(*) trata-se de retiradas pró-labore para os dois sócios como pagamento de salário

Quadro 2 - Gasto com folha de pagamento

Fonte: Autoria própria

8.9 PLANO FINANCEIRO

8.9.1 CONSIDERAÇÕES

A constituição da empresa será composta por 100% de capital próprio, sendo que a cada um dos dois sócios caberá 50% das cotas.

Segue no quadro 8.3 um levantamento aproximado do investimento inicial que será necessário.

ITEM	VALOR
LABORATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO	
Fonte de alimentação	1000.00
Gerador de sinais	2000.00
Osciloscópio	4000.00
Estação de solda	500.00
Analizador de espectro	5000.00
Sub Total (A)	12500
ESCRITÓRIO	
Computadores	10000.00
Mesas - 3 unidades	1500.00
Cadeiras giratória - 3 unidades	600.00
Armário	400.00
Materiais de escritório	300.00
Telefone - 3 unidades	150.00
Sub Total (B)	12950.00
ESTOQUE	
Prateleira	500.00
Peças	5000.00
Sub Total (C)	5500.00
Total (A) + (B) + (C)	30950.00

Quadro 3 - Investimentos iniciais

Fonte: Autoria própria

8.9.2 INDICADORES FINANCEIROS

8.9.2.1 CUSTO DE FABRICAÇÃO E FATURAMENTO

Na seqüência será analisado o custo de fabricação dos módulos do SISCONTROL, bem como a previsão de faturamento obtido com as vendas de acordo com a prospecção levantada no quadro 8.1

Item	Valor Unitário	QTD Utilizada	Total
Display 240x128 pixels	300.00	1	300.00
película touch screen	50.00	1	50.00
Transformadores	30.00	3	90.00
Amplificador para termopar	55.00	1	55.00
Controlador para touch screen	25.00	1	25.00
Kit didático com micro controlador	60.00	1	60.00
Estrutura de proteção - caixas	35.00	2	70.00
Fabricação da Placa de circuitos	200.00	1	200.00
Forno com adaptações	350.00	1	350.00
Componentes diversos	100.00	1	100.00
Total ==>			1300.00

Quadro 4 - Custo aproximado para fabricação do forno

Fonte: Autoria própria

Custos Fixos				
Descrição da despesa	Valor por Mês	2013	2014	2015
Água e energia elétrica	300.00	1800.00	3600.00	3600.00
Telefone e Internet	500.00	3000.00	6000.00	6000.00
Honorários Contábeis	700.00	4200.00	8400.00	8400.00
Combustível	1000.00	6000.00	12000.00	12000.00
Aluguel	1000.00	6000.00	12000.00	12000.00
Marketing	1000.00	6000.00	12000.00	12000.00
Outros serviços terceirizados	500.00	3000.00	6000.00	6000.00
Viagem para divulgação	5000.00	30000.00	60000.00	60000.00
Folha de Pagamento	19000.00	114000.00	228000.00	228000.00
Total =====>		174000.00	348000.00	348000.00

Quadro 5 - Custos fixos mensais

Fonte: Autoria própria

8.9.3 ANÁLISE DO BREAK EVEN

A análise do Break Even mostra o resultado mínimo necessário para que o custo total não seja maior que o faturamento. A estimativa foi levantada sem considerar possíveis alterações nos preços e no cenário econômico até 2015.

Análise do ponto de equilíbrio			
Item\Período	2013	2014	2015
Custos Fixos	174000.00	348000.00	348000.00
Custos de Produção	7800.00	15600.00	15600.00
Lucro Esperado	0.00	0.00	0.00
Sub Total =====>	181800.00	363600.00	363600.00
Preço de Venda	4000.00	4000.00	4000.00
Venda necessária =====>	45.45	90.9	90.9

Quadro 6 - Análise do Break Even

Fonte: Autoria própria

8.9.4 PROJEÇÃO DO RESULTADO

O presente tópico foi elaborado a partir de uma pesquisa efetuada no sítio da Receita Federal do Brasil, através dos endereços www.receita.fazenda.gov.br e <http://www8.receita.fazenda.gov.br/SimplesNacional/>, ambos acessados em 20/04/2013.

No sítio da receita federal através do "CONCLA" foi localizando o CNAE da empresa e para apuração dos impostos a empresa optou pelo Simples Nacional que é um regime tributário diferenciado, simplificado e favorecido previsto na Lei Complementar nº 123, de 14.12.2006."

Assim, foi determinado que o código que mais se aproxima da atividade a ser desenvolvida é o 2790-2/99 - FABRICAÇÃO DE OUTROS EQUIPAMENTOS E APARELHOS ELÉTRICOS NÃO ESPECIFICADOS ANTERIORMENTE.

Conforme orientação do sítio da receita, os impostos a serem considerados estavam especificados no anexo II do SIMPLES NACIONAL.

Como o faturamento previsto anual da empresa foi determinado em aproximadamente R\$500 mil, um imposto de 7,34% sobre o faturamento bruto deverá ser considerado.

O valor percentual de 7,34% compreende:

- 0,27% de IRPJ (Imposto de Renda Pessoa Jurídica)
- 0,31% de CSLL (Contribuição Social sobre o Lucro Líquido)
- 0,95% COFINS
- 0,23% PIS/PASEP
- 2,75% CPP (Contribuição Previdenciária Patronal)
- 2,33% ICMS
- 0,50% IPI

A demonstração da resultado está ilustrada no quadro 8.7. A análise mostra que, caso as vendas ocorram de acordo com o planejado, um bom resultado será verificado, visto que existirão fundos para sanar as despesas com custos fixos e de produção, exceto para o ano de 2014, que apresentou resultado negativo.

Vale ressaltar que apenas as vendas para universidades de escolas técnicas foram consideradas nos números apresentados. Convênios com sites da internet de grande visitação serão fechados visando maior divulgação do produto. Vendas poderão acontecer para outros públicos, como pequenas empresas e profissionais liberais, e este fato influenciará toda a análise apresentada até o momento.

Demonstração do Resultado			
Ítem / Período	2013	2014	2015
Vendas	224000.00	532000.00	592000.00
Impostos sobre Vendas	16441.60	39048.80	43452.80
Custo das Vendas	72800.00	172900.00	192400.00
Outros Custos	-	-	-
Custos Total das Vendas	72800.00	172900.00	192400.00
Margem Bruta	151200.00	359100.00	399600.00
Margem Bruta %	67.5	67.5	67.5
Despesas Operacionais			
Despesas de Marketing de Vendas	1000.00	2000.00	2000.00
Pessoal Marketing e Vendas	30000.00	60000.00	60000.00
Publicidade/Promoção	-	-	-
Viagens	30000.00	60000.00	60000.00
Diversos			
Total Despesas Marketing e Vendas	61000.00	122000.00	122000.00
Marketing e Vendas %	-	-	-
Despesas Gerais e Administrativas	18000.00	36000.00	36000.00
Folha Gerais e Administrativas	114000.00	348000.00	348000.00
Benefício e Obrigações	-	-	-
Depreciação	-	-	-
Aluguéis	6000.00	12000.00	12000.00
Seguro	-	-	-
Outros	-	-	-
Total Desp Gerais e Administrativas	199000.00	518000.00	518000.00
Gerais e Administrativas %	88.84	97.37	87.50
Outras Despesas	-	-	-
Outros Gastos com Pessoal	-	-	-
Contratos/Consultores	-	-	-
Total Outras Despesas	-	-	-
Outras %	-	-	-
Total Despesas Operacionais	199000.00	518000.00	518000.00
Resultados Antes de Juros e Impostos	224000.00	532000.00	592000.00
Juros de Curto Prazo	-	-	-
Juros de Longo Prazo	-	-	-
Impostos Incidentes	16441.60	39048.80	43452.80
Itens Extraordinários	-	-	-
Lucro Líquido	8558.40	-25048.80	30547.20
Lucro Líquido/Vendas (%)	3.82	-4.71	5.16

Quadro 7 - Demonstração de Resultado

Fonte: autoria própria

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de conceitualmente simples, o projeto desenvolvido apresentou várias dificuldades.

Em síntese, o SISCONTROL é um dispositivo capaz de controlar a temperatura de um recipiente através de uma malha com realimentação. Qualquer profissional da área de eletrônica ou automação, que possua os conhecimentos básicos sobre a teoria de controle analógico e discreto é capaz de desenvolver algo similar sem muitas dificuldades.

Porém, o desafio foi grande e as dificuldades, inúmeras, pois, conforme já comentado, o projeto envolveu dois problemas:

- vencer a inércia térmica de um forno e;
- tornar um sistema fisicamente lento em um sistema mais dinâmico.

É possível concluir, após finalizada as implementações de *hardware* e *firmware*, que o SISCONTROL é uma replica bastante simples de um sistema computacional completo. No projeto, é possível identificar:

- teclado ==> película *touch-screen*;
- monitor ==> display de LCD;
- dispositivo de armazenamento ==> memória EEPROM;
- unidade de processamento ==> microcontrolador;
- comunicação externa ==> interface serial USART.

Além disso, se uma análise a respeito das disciplinas estudadas na Engenharia Eletrônica for feita no projeto do SISCONTROL, será verificado que praticamente todas as cadeiras foram envolvidas:

- Cálculos I e IV: Utilizado na determinação da equação de diferenças, na transformação do plano S para o plano Z da equação do controlador digital PID, e também no cálculo da potência de sistemas com tiristores e triacs
- Cálculo Numérico: Determinação numérica da potência a ser liberada para o forno em função do ângulo de disparo dos triacs;

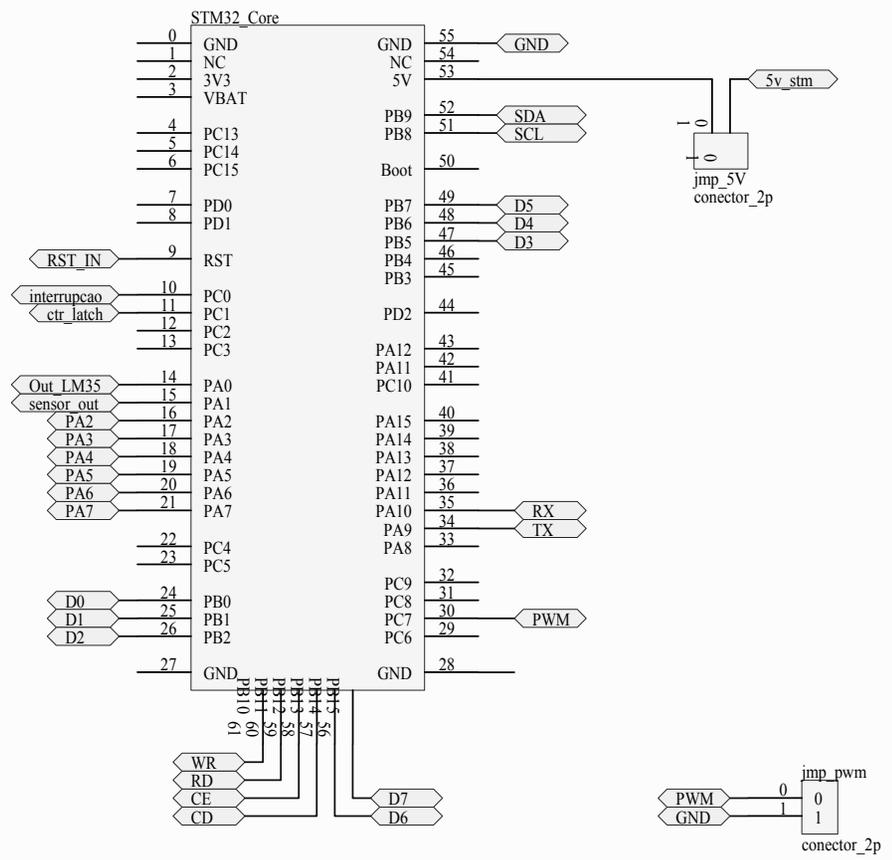
- Circuitos Elétricos: Desde o projeto de toda a malha de circuito, até o cálculo de um simples resistor, envolve conceitos aprendidos nas diversas cadeiras que tratam circuitos elétricos;
- Eletrônica Analógica: Utilizada nos projetos de fontes de alimentação, amplificação de sinais e no circuito comparador, além de outros módulos;
- Eletrônica Digital: Interface com o display de LCD, análise dos sinais digitais para o design do protocolo de comunicação I2C, entre outros;
- Processamento Digital de Sinais: Implementação de filtros digitais para melhoria do sinal capturado do sensor de temperatura;
- Eletrônica de Potência: Conhecimento teórico do cálculo matemático da potência em função do ângulo de disparo e componentes eletrônicos para alta tensão e corrente
- Controle Digital: Sistema de controle de temperatura - PID discreto;
- Microcontroladores e Sistemas Embarcados: Ferramenta utilizada para gerenciar todo o processo;
- Fenômenos de Transporte e Transferência de Calor: Modelamento físico e matemático do sistema térmico do SISCONTROL;
- Comunicação Gráfica: Roteamento de placas de circuito.

Para ser utilizado como ferramenta de solda, serão necessários vários ajustes no SISCONTROL. Porém os últimos testes realizados comprovaram a eficácia do projeto, com vários componentes sendo soldado em uma PCI. Tal fato mostra que a idéia de se empregar lâmpadas halógenas no forno foi uma decisão correta, e isto certamente contribuiu para que o projeto atingisse os objetivos propostos.

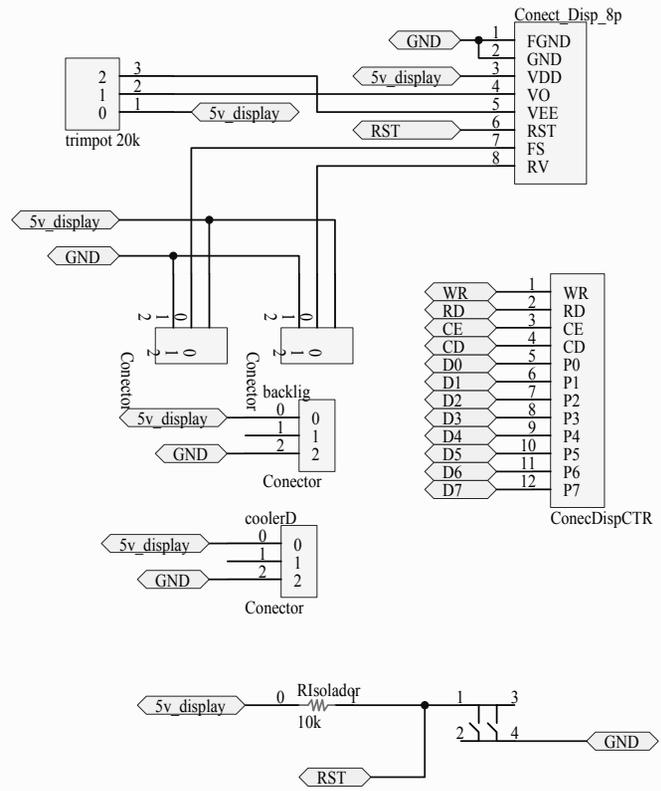
REFERÊNCIAS

- [1] NISE, Norman S. **Engenharia de Sistemas de Controle**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- [2] OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. 4 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.
- [3] PERTENCE JUNIOR, Antonio. **Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- [4] PEDRONI, Volnei Antonio. **Eletrônica Digital Moderna e VHDL**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- [5] BRERO, Paulo. **Montagem e identificação dos parâmetros de um sistema térmico**. Disponível em: http://pessoal.utfpr.edu.br/brero/controle_1/2_sem_11/Lab_2_termico/2o_experimento_identiftermico.pdf. Acesso em 20/03/2013.
- [6] BRERO, Paulo. **Sintonia do compensador PID**. Disponível em: http://pessoal.utfpr.edu.br/brero/controle_1/2_sem_11/PID/PID_03.pdf. Acesso em 20/03/2013.
- [7] BARBI, Ivo. **Eletrônica de Potência**. 6 ed. Florianópolis: Edição do Autor, 2005.
- [8] ERIG, Carlos Raimundo. **Controladores PID**. Disponível em: <http://pessoal.utfpr.edu.br/erig/CTRL02/4%20-%20pid.pdf> . Acesso em 22/04/2013.
- [9] ERIG, Carlos Raimundo. **Controladores Discretos**. Disponível em: <http://pessoal.utfpr.edu.br/erig/CTRL02/5%20;%20controladores%20discretos.pdf> . Acesso em 22/04/2013.
- [10] SEDRA, Adel S. SMITH, Kenneth C. **Microeletrônica**. 5 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- [11] TOCCI, Ronald J. WIDMER, Neal S. MOSS, Gregory L. **Sistemas Digitais - princípios e aplicações**. 10 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

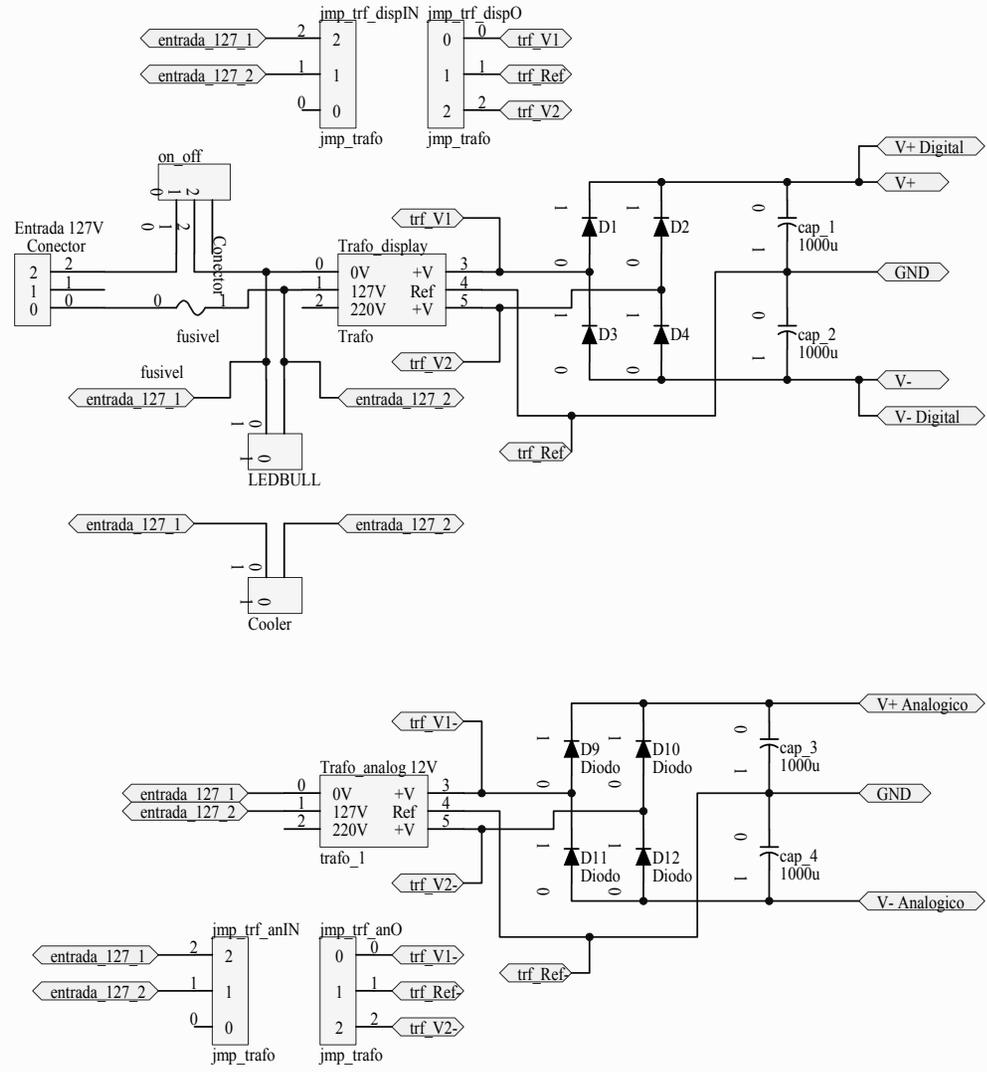
ANEXOS



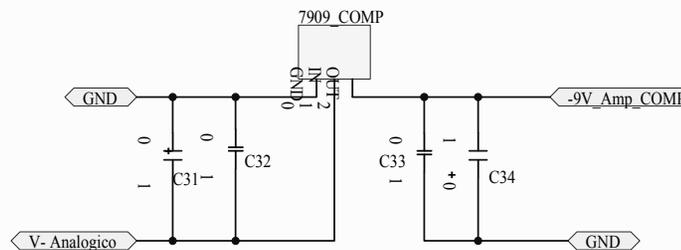
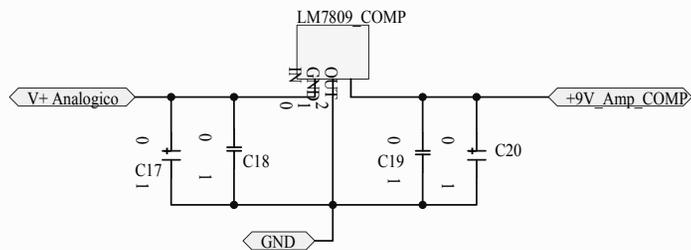
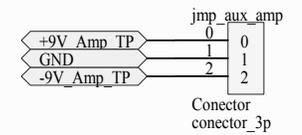
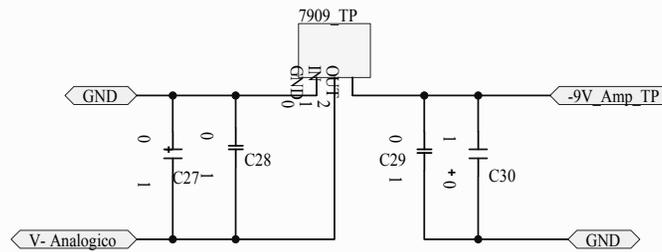
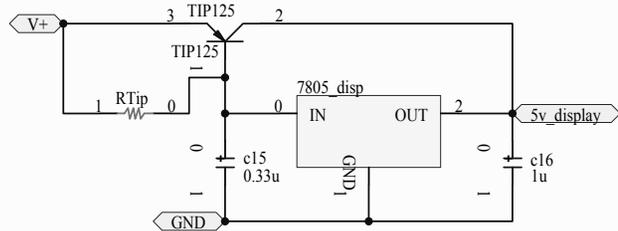
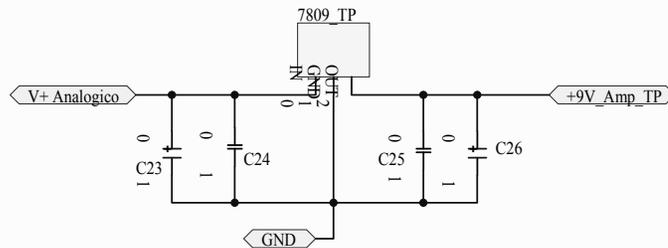
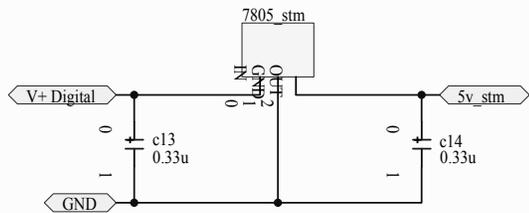
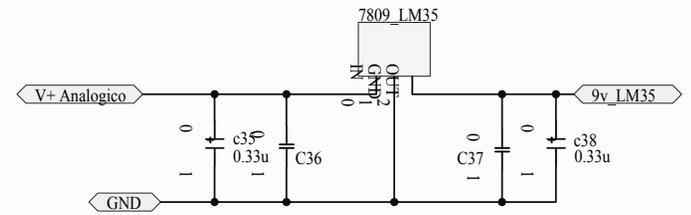
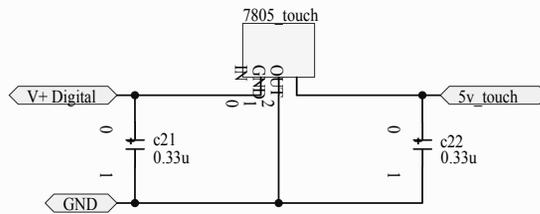
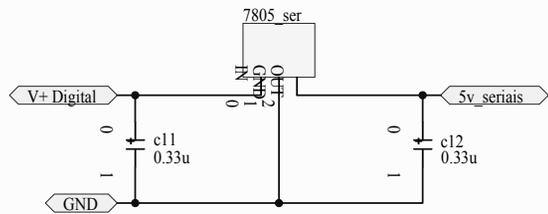
Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	4/30/2013	Sheet of
File:	D:\Engenharia\Sheet1 - STM.SchDoc	Drawn By:



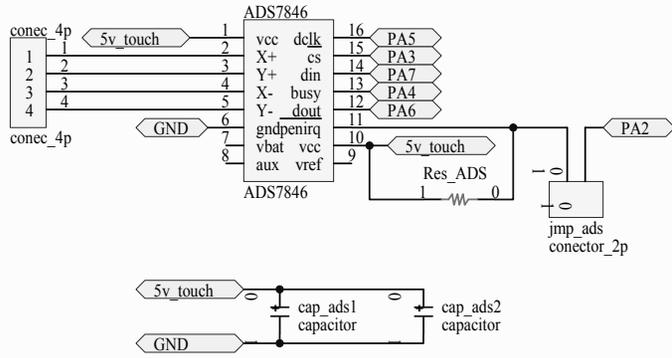
Title		
Size A4	Number	Revision
Date:	4/30/2013	Sheet of
File:	D:\Engenharia\Sheet2 - DisplayLCD.Sch	
		Down By:



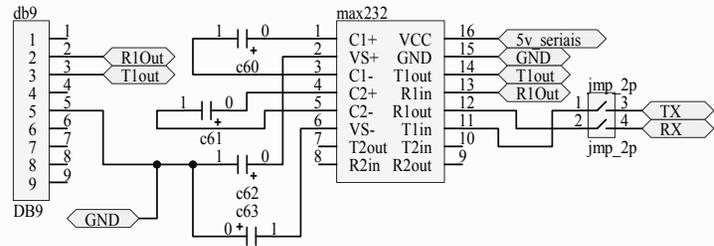
Title		
Size A4	Number	Revision
Date: 4/30/2013	Sheet of	
File: D:\Engenharia\Sheet3 - Trafos.SchDoc	Drawn By:	



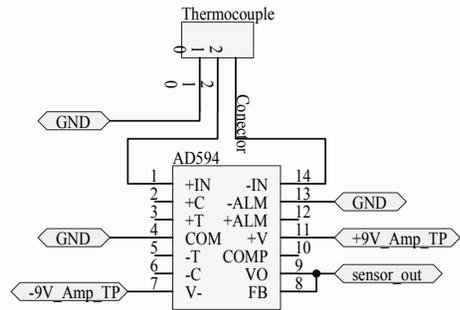
Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	4/30/2013	Sheet of
File:	D:\Engenharia\Sheet4 - Reguladores.Sch	Drawn By:



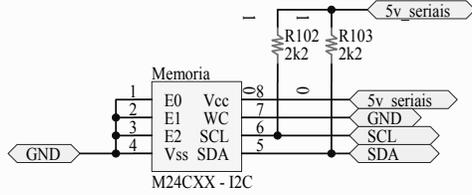
Title		
Size A4	Number	Revision
Date:	4/30/2013	Sheet of
File:	D:\Engenharia\Sheet5 - Touch.SchDoc	Drawn By:



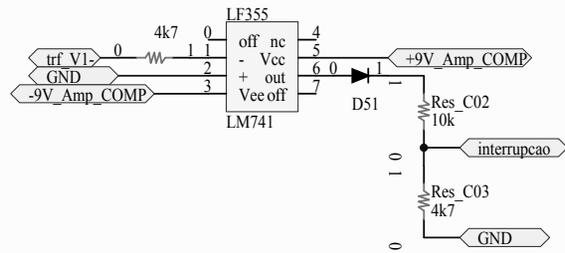
Title		
Size A4	Number	Revision
Date:	4/30/2013	Sheet of
File:	D:\Engenharia\Sheet6 - MAX232.SchDoc Drawn By:	



Title		
Size A4	Number	Revision
Date:	4/30/2013	Sheet of
File:	D:\Engenharia\Sheet7 - Amplificador.Sch	



Title		
Size A4	Number	Revision
Date:	4/30/2013	Sheet of
File:	D:\Engenharia\Sheet8 - I2C.SchDoc	Drawn By:



Title		
Size A4	Number	Revision
Date:	4/30/2013	Sheet of
File:	D:\Engenharia\Sheet9 - Comparador.Sch Drawn By:	

