



SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL
FACULDADE DE TECNOLOGIA DO SENAI CIMATEC
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

**PROJETO DE UM DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE
TEMPERATURA AUTOMATIZADO APLICADO À ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO SUPERFICIAL DA XEROX**

Projeto e Simulação do *Hardware*

Salvador
2008

ULYSSES MORAES SOARES

**PROJETO DE UM DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE
TEMPERATURA AUTOMATIZADO APLICADO À ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO SUPERFICIAL DA XEROX**

Projeto e Simulação do *Hardware*

Trabalho de Conclusão do Curso
submetido como requisito parcial
para a obtenção do Grau de
Tecnólogo em Mecatrônica
Industrial pela Faculdade de
Tecnologia SENAI/CIMATEC.
Orientador: Milton Bastos de Souza.

Salvador
2008

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia
SENAI Cimatec

M827p Soares, Ulysses Moraes

Projeto de um dispositivo de medição de temperatura
automatizado aplicado à estação de tratamento superficial da XEROX: Projeto
e Simulação do Hardware / Ulysses Moraes Soares. -Salvador, 2008.
68f.; il.

1. Hardware 2. Eletrônica I. título

CDD : 621.317

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento do *hardware*, parte eletrônica, que compõe o projeto de um dispositivo de medição de temperatura automatizado aplicado à estação de tratamento superficial da Xerox. Projeto desenvolvido sob a demanda desta indústria, o mesmo teve de ser modularizado em 3 fases: Solução mecânica e de sensoriamento; Projeto e Simulação do *hardware* e o Desenvolvimento dos *firmwares*. O objetivo deste trabalho é otimizar ainda mais o processo de produção dos cilindros foto orgânicos ou OPCs – *Organic photo conductor* da unidade industrial da Xerox localizada na região nordeste do Brasil, a XENOR. Neste documento constam desde as justificativas e metodologias para o desenvolvimento do mesmo, revisões teóricas que embasaram os conceitos aplicados e o projeto final dos *hardwares* desenvolvidos. Como impactos gerados pelo mesmo, tem-se principalmente a economia gerada na produção dos cilindros, consequência da diminuição de produtos perdidos e do tempo ocioso do processo. Além dos impactos econômicos, há também impactos tecnológicos resultados da aplicação e integração dos conceitos mecatrônicos para desenvolvimento deste projeto e sociais, devido à possibilidade de inserir a solução aqui gerada nas outras unidades industriais de fabricação dos OPCs da Xerox em outros países.

Palavras chave: *Hardware*, Eletrônica, *Surface Mounting Technology*, *Electromagnetic interference*.

ABSTRACT

This document shows the development of the electronic part of a mechatronic dispositive that measures the inside temperature of the Organic photoconductor produced on the Brazilian's northeast Xerox factory. Because of its complexity, the complete design of this dispositive was divided in three stages: One for the mechanical solution, another for the hardware solution or electronic's one and the last for the firmware's development. The actual objective of the development of this device is to minimize the losses on the organic photoconductor product process. This document has the methods that were used for this development, some of the basics theories that were used and the final solution for this device's hardware. As the result of this design, the new device provides financial, social and technologist impacts for the factory. As the financial impact, the savings are consequences for the decrease of the stops on the manufactured process and the decrease of the losses of products too.

Key word: Hardware, electronics, Surfaced Mounting Technology, Electromagnetic interference.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa Conceitual do Anteprojeto com ênfase no Projeto e Simulação do <i>Hardware</i>	11
Figura 2 - <i>Carrier</i> com os 32 <i>chucks</i> (Transportador e fixadores dos OPC´s durante a seção B)	18
Figura 3 - Câmaras da seção B.....	18
Figura 4 - Fila de retorno dos transportadores ao início do processo	19
Figura 5- Dispositivo utilizado para medir a temperatura atualmente – “Mole”. 20	
Figura 6 - <i>Datalogger</i> – Dispositivo de armazenamento dos dados coletados pelos sensores dentro de uma caixa refratária.....	21
Figura 7 – Detalhe da fixação externa dos sensores feita com fita isolante.....	21
Figura 8 – Componentes de uma explosão.....	23
Figura 9 - Resistores, transistores, entre outros componentes eletrônicos.....	28
Figura 10– Circuito eletrônico montado em placa isolante.....	29
Figura 11– Placa de circuito impresso depois de corroída.....	30
Figura 12– Componentes TH – (a) Axiais (b) Radiais	31
Figura 13 – Seqüenciador de componentes TH	32
Figura 14 – Máquina insersora de componentes TH.....	33
Figura 15 - Wave Solder – Máquina de soldagem utilizada para montagem de PCI	33
Figura 16– Placa de circuito impresso SMT	35
Figura 17 – Componentes SMD com os <i>pads</i> em formatos <i>J-lead</i> , <i>L-lead</i> , <i>Flat-lead</i> e <i>I-lead</i> respectivamente	35
Figura 18 – Componentes SMD <i>Chips</i> e <i>Melfs</i> respectivamente	35
Figura 19– Forno de refusão por convecção forçada.....	38
Figura 20 – Disposição das palavras em uma memória.....	41
Figura 21– EPROM – Espaço para penetração da radiação UV.....	43
Figura 22 – Comparativo dos tipos de memória ROM.....	44
Figura 23 – Componentes de uma EMI - Tipos.....	46
Figura 24 – Projeto de uma PCI com anel de terra – Proteção contra descargas eletrostáticas	48
Figura 25– Visão geral para o modelo proposto.....	49
Figura 26 – Diagrama de blocos do <i>hardware</i> do <i>carrier</i>	51
Figura 27 – Pinagem do MSP430F149	52
Figura 28 – Esquema interno do componente INA 129.....	56
Figura 29 – Vista superior do componente multiplexador.....	57
Figura 30 – Esquemático do <i>hardware</i> do <i>carrier</i>	59
Figura 31 – Diagramas de blocos do <i>hardware</i> da estação	61
Figura 32 – Esquemático do <i>hardware</i> da estação	63

LISTA DE TABELA S

Tabela 1– Tabela que relaciona os padrões Americano e Internacional com os elementos em suspensão (JORDÃO, 2007)	25
Tabela 2 – Divisão da Classe I conforme padrão americano	25
Tabela 3 – Divisão da Classe II conforme padrão americano	26
Tabela 4 – Classificação dos elementos combustíveis de acordo com o IEC e a ABNT	26
Tabela 5 – Equivalência entre os valores de temperatura, tensão nos terminais do termopar, tensão na entrada do microcontrolador e combinação binária representante.	55
Tabela 6 – Cálculo da razão de ganho para o circuito condicionador do sinal do sensor.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI – *American National Standards Institute*
API – *American Petroleum Institute*
CI – Circuito Integrado
CPU - *Central Processing Unit*
DRAM – *Dynamic random access memory*
EEPROM – *Electrically erasable programmable read only memory*
EMC – *Electromagnetic compatibility*
EMI – *Electromagnetic interference*
EPROM – *Erasable-programmable read only memory*
IEC – *International Electrotechnical Commission*
NEC – *National Electric Code*
NFPA – *National Fire Protection Association*
OPC – *Organic Photo Conductor*
PCB – *Printed circuit board*
PCI – Placa de circuito impresso
PROM - *Programmable read only memory*
PTH – *Planted Through Hole*
RAM – *Random Access Memory*
RF – Rádio Frequência
ROM – *Read only memory*
RWM – *Read write memory*
SMT – *Surface Mounting Technology*
SRAM – *Static random access memory*
UV – Ultra Violeta
XENOR – Xerox Nordeste

SUMÁRIO

1. Introdução	10
1.1. Identificação do problema	12
1.2. Justificativa.....	13
1.3. Objetivo	13
1.4. Metodologia.....	14
2. O projeto - Subsistemas	15
2.1. Solução mecânica e de sensoriamento.....	15
2.2. Desenvolvimento dos <i>Firmwares</i>	15
2.3. Projeto e Simulação do <i>Hardware</i>	16
3. Automação do processo de medição de temperatura da superfície do OPC	17
3.1. O processo de fabricação do OPC.....	17
3.2. O processo de medição atual.....	19
3.3. Atmosferas explosivas	23
4. Tecnologias utilizadas	28
4.1. Tecnologias existentes para montagem de circuitos eletrônicos.....	28
4.1.1. PTH – <i>Planted Through Hole</i>	30
4.1.2. SMT – <i>Surface Mounting Technology</i>	34
4.2. Resistência térmica dos componentes eletrônicos.....	38
4.3. Microcontroladores.....	39
4.4. Memória de armazenamento de dados.....	40
4.4.1. Classificação das memórias	41
4.4.2. Tipos de memórias	42
4.5. Interferência eletromagnética em PCI	45
4.5.1. Componentes formadores de uma EMI	46
4.5.2. A importância do layout de uma PCI	47
5. Modelo Proposto	49
5.1. Projeto do <i>Hardware</i> do <i>Carrier</i>	50
5.1.1. Microcontrolador MSP430F149	51
5.1.2. Interface: Engenharia X <i>Hardware</i> do <i>carrier</i>	53
5.1.3. Leitura e condicionamento do sinal do sensor de temperatura.....	54
5.1.4. Estratégia para multiplexação dos sinais de temperatura	57
5.1.5. Comunicação <i>wireless</i>	58
5.1.6. Alimentação do <i>hardware</i>	58
5.1.7. Esquemático da placa do <i>carrier</i>	59
5.2. Projeto do <i>Hardware</i> da estação	60
5.2.1. Interface: Engenharia X <i>Hardware</i> da estação	61
5.2.2. Comunicação com o Supervisório	62
5.2.3. Comunicação <i>wireless</i>	62
5.2.4. Alimentação do <i>hardware</i>	62
5.2.5. Esquemático da placa da estação	63
6. Conclusões	64
Referências	67

1. Introdução

Em praticamente todos os processos produtivos bem sucedidos, o controle de forma eficiente das chamadas variáveis críticas são fundamentais para se obter o resultado planejado. Em processos industriais, a preocupação com o controle dessas variáveis torna-se muito mais importante, pois pequenos deslizes podem ocasionar desde pequenas perdas na qualidade do produto a até desastres de grandes proporções.

Dentre muitas dessas variáveis que necessitam de um monitoramento, a temperatura é quase uma unanimidade em processos produtivos industriais. Para a unidade de fabricação de cilindro fotocondutor orgânico ou OPC (*Organic Photo Conductor*) da Xerox, situada no pólo Industrial da região metropolitana de Salvador, a temperatura é juntamente com a umidade e o tempo as variáveis críticas do processo. E desta forma, o seu acompanhamento torna-se necessário para que o produto final possua a qualidade exigida pelas especificações de projeto do produto.

O OPC é o componente das máquinas fotocopadoras responsável pela transferência da imagem eletricamente composta para o papel. Durante a sua fabricação, o controle da temperatura torna-se especialmente fundamental, para que a funcionalidade do produto seja garantida, na segunda etapa, ou seção B do processo de produção adotado pela Xerox.

A principal contribuição deste projeto é proporcionar para o processo de fabricação do OPC na planta da XENOR – Xerox Nordeste, em especial na sua segunda seção, uma forma de medição e acompanhamento da temperatura de forma automatizada e eficiente. Além disso, como consequência, reduzir custos e aumentar a segurança ao processo produtivo.

Devido a sua complexidade e utilização de uma vasta área de conhecimento de um profissional mecatrônico, a sua documentação foi dividida em três partes, sendo elas:

- ✓ Solução mecânica e de Sensoriamento;
- ✓ Projeto e Simulação do *Hardware*;
- ✓ Desenvolvimento dos *Firmwares*.

Nesse trabalho são desenvolvidos apenas os tópicos relacionados ao Projeto e Simulação do *Hardware*.

Para o desenvolvimento desse projeto, é necessário saber que quase todo processo de fabricação envolve riscos e busca melhorar a qualidade do seu produto final. Não sendo diferente na produção em questão, opções de acompanhamento das variáveis críticas devem ser tomadas de forma a sempre minimizar os erros e garantir a precisão dos seus dados. Saber escolher e projetar um sistema de obtenção e acompanhamento de informações para um processo é fundamental para o seu sucesso.

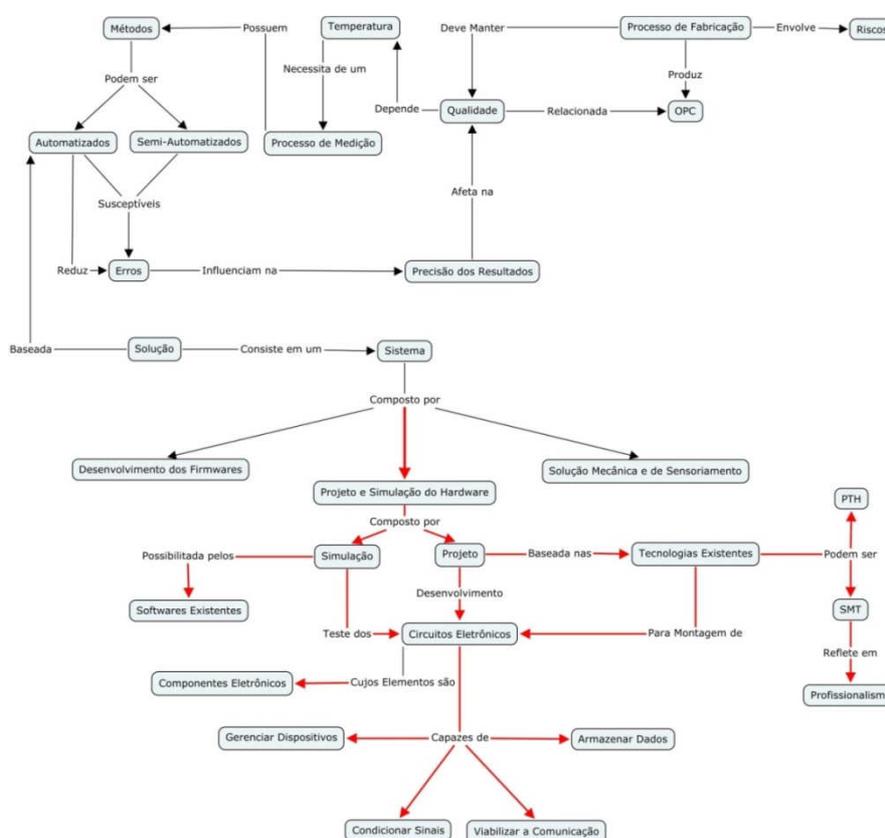


Figura 1 - Mapa Conceitual do Anteprojeto com ênfase no Projeto e Simulação do *Hardware*

A solução de *hardware* que contempla a necessidade de se acompanhar a temperatura de forma automatizada na planta da XENOR envolve conhecimentos principalmente de eletrônica e de ferramentas de simulação. Entre eles, a capacidade de especificar componentes, projetar e validar circuitos capazes de condicionar sinais, armazenar dados e viabilizar a comunicação entre dispositivos se destacam. Na figura 1 – Mapa Conceitual do Anteprojeto, expande-se em diversos conceitos e suas correlações, os

objetivos do projeto como um todo, e as responsabilidades mais específicas do trabalho de Projeto e Simulação do *Hardware*.

1.1. Identificação do problema

A Xerox, multinacional instalada no Brasil há mais de 40 anos, é uma empresa reconhecida mundialmente pela sua presença no mercado de processamentos de documentos. Ela atua basicamente desenvolvendo sistemas de produção de documentos digitais e com reprodução e impressão desses documentos, em escritórios de variados tamanhos e portes. É devido a essa segunda forma de atuação, que a empresa é atualmente reconhecida como uma referência para os seus concorrentes. Logo, com muitos motivos para manter a qualidade de seus produtos, a Xerox precisa estar continuamente preocupada em melhorar os seus processos produtivos.

Atualmente, o método utilizado para medição e monitoramento da temperatura em uma das etapas do processo produtivo do OPC possui algumas carências e deficiências. A sua principal característica negativa é não funcionar de forma preventiva, sendo utilizado apenas quando se observa a redução da qualidade do produto, ou mesmo um grande número de produtos perdidos. Essa falta de acompanhamento da temperatura durante o processo produtivo, acaba trazendo prejuízos à empresa como desperdício de tempo, produção, redução da qualidade e aumento de custos.

Além disso, o *hardware* utilizado atualmente é uma placa de aquisição e armazenamento de dados proprietária. A utilização desse dispositivo restringe o número de pontos de leitura da variável temperatura para apenas seis sensores, devido ao seu número reduzido de entradas. E ainda, por não se conhecer os seus esquemas e circuitos integrados, quando houver qualquer falha com esse dispositivo, a Xerox não conseguirá realizar a manutenção do mesmo com facilidade.

Essa placa única que compõe o sistema ainda impede que haja uma comunicação desses dados de forma automatizada. Devido às suas características visíveis, a mesma não foi projetada para possibilitar a comunicação dos dados que armazena. Ela possui apenas um conector para comunicação serial localizado perto do centro de uma das suas faces, não

contendo nenhum dispositivo para gerenciamento e comunicação desses dados via *wireless* por exemplo.

1.2. Justificativa

A Xerox necessita desse projeto para não mais precisar parar o seu processo produtivo por variações imprevistas da temperatura. É com o objetivo de evitar todos os prejuízos anteriormente citados, que a XENOR precisa de um processo de medição automatizado da temperatura durante a seção B do seu processo de fabricação de OPC. Método esse que necessita de um novo projeto, envolvendo desde soluções para os problemas mecânicos, de sensoriamento e de *firmwares* – *softwares* embarcados nos microcontroladores com fins específicos, a uma nova solução em *hardware* – Projeto e simulação.

1.3. Objetivo

Esse trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e validação por simulação de um projeto de *hardware* aplicado. Ele é necessário para compor juntamente com a Solução mecânica e de Sensoriamento e o Desenvolvimento dos *Firmwares* o projeto de um dispositivo de medição de temperatura automatizado para a planta de fabricação do OPC da XENOR.

Os objetivos específicos são:

- ✓ Definir a tecnologia dos componentes eletrônicos a serem usados no projeto;
- ✓ Especificar o dispositivo controlador do sistema e a memória externa ao mesmo, caso necessária;
- ✓ Projetar os circuitos eletrônicos de captação e condicionamento de dados dos sensores eletromagneticamente compatível;
- ✓ Projetar os circuitos eletrônicos de configuração do dispositivo de processamento e de comunicação e gerenciamento de dados eletromagneticamente compatível;
- ✓ Projetar os circuitos eletrônicos de atuação eletromagneticamente compatível;
- ✓ Estudar e definir das ferramentas para simulação;
- ✓ Validar os circuitos projetados via simulação.

1.4. Metodologia

A metodologia utilizada para desenvolvimento do trabalho é própria, porém bastante fundamentada no modelo TheoPrax. A metodologia TheoPrax foi criada na Alemanha com o objetivo de auxiliar alunos no gerenciamento de projetos voltados para as indústrias, fazendo com que esse deixasse de ser um impedimento entre a ligação das soluções geradas nos centros acadêmicos e o mercado produtivo.

Na metodologia proposta, objetivos gerais e específicos compõem um plano estrutural, ferramenta utilizada pela metodologia TheoPrax, que muito se aproxima à um planejamento estratégico. Assim como um planejamento estratégico (PE), que segundo (OLIVEIRA, 1998) é um processo gerencial que visa estabelecer e alcançar um rumo, o plano estrutural tem a função de organizar de forma simples e de fácil entendimento os objetivos, metas e ações que se deve tomar para alcançar o planejado, com um diferencial de ser uma ferramenta já direcionada para desenvolvimento de projetos voltados para a indústria.

Após a construção do plano estrutural do projeto, adota-se como parte da metodologia uma etapa de Projeto Informacional. Essa fase do desenvolvimento do projeto é voltada para a pesquisa e entendimento das reais necessidades do cliente e dos requisitos e restrições do projeto. Ela é desenvolvida com base em reuniões com o cliente e análise das informações geradas dessas conversas.

Além do Projeto Informacional, adotou-se também uma etapa de construção da fundamentação teórica. Chamada também de etapa de pesquisa básica, nesse momento do trabalho são realizadas todas as pesquisas sobre as teorias necessárias para um bom embasamento das soluções propostas.

Ainda como etapas macro da metodologia utilizada, têm-se a construção do Projeto conceitual do sistema e a sua execução. Durante a etapa de Projeto conceitual, gera-se toda a concepção do sistema, listando suas competências e partes, enquanto que na fase de execução, constrói-se desde o projeto detalhado dos sistemas, gerando os circuitos eletrônicos, como especifica os seus componentes, faz os devidos orçamentos e simulação para validação da solução.

2. O projeto - Subsistemas

Todo o projeto de desenvolvimento desse dispositivo de medição de temperatura automatizado envolve três grandes partes: A solução mecânica e de sensoriamento; O desenvolvimento dos *Firmwares*; e o Projeto e Simulação do *Hardware*.

2.1. Solução mecânica e de sensoriamento

Na solução mecânica e de sensoriamento serão desenvolvidos todos os aspectos de medição em si da temperatura. Por ser um ambiente com risco de explosão, essa etapa do projeto possui diversas restrições principalmente na hora da definição do tipo de sensor a ser utilizado e na forma de acionamento do dispositivo de medição. Essa parte do desenvolvimento do projeto é de fundamental importância para o mesmo, pois as definições e soluções geradas nessa parte serão base para as implementações das outras partes.

Um dos principais requisitos para o projeto da solução mecânica e de sensoriamento é o aproveitamento de um curso de acionamento já existente, no acionamento do *chuck*, para posicionar o elemento sensor. Aliado ainda ao fato de não poder utilizar acionamentos elétricos sem as devidas proteções, para não gerar fontes de ignição para o ambiente explosivo, a solução mecânica desenvolvida envolve elementos da mecânica de precisão, que devem ser minuciosamente projetados para evitar altos níveis de manutenção futuras.

2.2. Desenvolvimento dos *Firmwares*

Na etapa de desenvolvimento dos *firmwares* será construída toda a lógica que controlará os dispositivos de hardware e as ferramentas de comunicação com o usuário. Essa parte do projeto é de fundamental importância, pois é ela que traduzirá para os engenheiros do processo os valores medidos de temperatura durante o processo.

Na sua parte de controle dos dispositivos de *hardware*, o(s) *firmware(s)* desenvolvido(s) deverá(ão) ser processado(s) em algum(ns) dispositivo(s) microcontrolado(s). Essa lógica de funcionamento deve ser capaz de aceitar os dados de temperatura, identificá-los, armazená-los e por fim enviá-los para a

interface do projeto com o usuário, no caso os engenheiros. Já a interface com o usuário, supervisor, também produto do desenvolvimento dos *firmwares*, é o responsável por transformar os valores lidos pelos sensores em gráficos de tendência, curvas, ou tabelas, que poderão ser facilmente interpretados posteriormente.

2.3. Projeto e Simulação do *Hardware*

A parte de Projeto e Simulação do *Hardware*, objetivo desse trabalho, é o terceiro e último pilar do projeto. Ela envolve os elementos físicos eletrônicos que viabilizam o dispositivo.

O *hardware* do dispositivo é o responsável pela conexão de todo o sistema, desde a leitura da temperatura no sensor, até a chegada das informações ao supervisor. É nessa etapa do projeto que são definidas as estratégias para leitura de todos os sensores, para condicionamento dos sinais gerados pelos mesmos, para a forma de armazenar as informações já recebidas e a sua comunicação com a interface. Essa etapa do projeto é desenvolvida baseada na solução mecânica e de sensoriamento e base para o desenvolvimento dos *Firmwares*.

3. Automação do processo de medição de temperatura da superfície do OPC

A automação da medição da temperatura da superfície do OPC exige um denso conhecimento sobre o processo de fabricação do produto, sobre o processo de medição existente atualmente e sobre as principais restrições que o projeto impõe. Esses conhecimentos são fundamentais para poder-se visualizar quais os detalhes do processo, as suas limitações e até aonde as soluções geradas podem avançar.

3.1. O processo de fabricação do OPC

O processo de fabricação dos cilindros OPC é dividido em três grandes etapas, chamadas de seções A, B e C. Quase todo o processo produtivo desse componente é automatizado, sendo a sua planta de produção na XENOR, uma das mais automatizadas do pólo industrial da região metropolitana da cidade do Salvador. Respectivamente, as seções representam basicamente a preparação do cilindro em alumínio; o tratamento que garante a sua funcionalidade; e inspeções de qualidade e acabamentos finais.

Durante a seção A de processo de produção dos OPC's, a Xerox realiza todas as etapas de tratamento superficial para preparar os cilindros para receberem os banhos. Nessa etapa, eles passam por processos de jateamento de partículas bem finas, para tornarem-se opacos a etapas de limpeza e desengraxe.

Já durante a seção C, os cilindros já praticamente finalizados passam por inspeções automatizadas de conformidade e espessura. Uma vez reprovados, eles são encaminhados para testes mais minuciosos realizados por homens ao invés de máquinas. Também nessa etapa os cilindros recebem os seus componentes de fixação e há uma última etapa de avaliação humana, para todos os OPC's, os quais são embalados.

A principal etapa do processo de fabricação desses componentes é a segunda, ou seção B. Também cenário para o projeto que esse trabalho propõe, ela é a seção de tratamento superficial do produto. Os cilindros levam em média 3 horas e meia durante todo o processo entre banhos de recobrimento químico, fornos, etapas de secagem e câmaras de passagem.

A etapa começa quando um robô carrega o transportador, o *carrier*, com os cilindros de alumínio (32 cilindros). Esses cilindros são fixados ao transportador utilizando os *chucks*, que são dispositivo de fixação com atuação totalmente mecânica (Figura 2).



Figura 2 - Carrier com os 32 chucks (Transportador e fixadores dos OPC's durante a seção B)

Então os OPC's entram em uma espécie de túnel, uma sala extensa de aproximadamente 10 metros de comprimento separada do ambiente externo por espessas paredes de metal e dividida internamente em diversas câmaras (Figura 3). Durante esse período, os cilindros ficam expostos a temperaturas que variam de aproximadamente 16°C a 160°C e solventes em suspensão como o Xileno, Tolueno, THF, N-butilacetato e o Monoclorobenzeno.



Figura 3 - Câmaras da seção B

Ao final da passagem pelas câmaras, os OPC's, já com os seus recobrimentos químicos que lhe garantem a sua funcionalidade, são

descarregados novamente por um robô e colocados em um outro tipo de carregador que os levará para a seção C do processo. Já os transportadores, retornam por uma esteira automatizada para uma fila de espera (figura 4), aonde ele vai esperar para receber novos cilindros vindo da seção A e recomeçar o processo da seção B. A velocidade de produção, ou velocidade de saída dos transportadores do processo é, em funcionamento normal da planta, aproximadamente um *carrier* a cada quarto minutos.



Figura 4 - Fila de retorno dos transportadores ao início do processo

3.2. O processo de medição atual

Para realizar a medição de temperatura da superfície dos cilindros, a empresa utiliza atualmente um método que pode ser classificado como semi-automatizado, pois utiliza alguns artifícios da automação mais ainda é muito dependente da atuação humana de forma direta. Sem um devido nome ou qualquer documentação explicativa, esse método foi desenvolvido pelos membros da empresa devido à constatação da necessidade de uma forma de mensurar a temperatura do produto em questão.

Esse método, o qual será considerado sempre nesse trabalho como método atual, tem hoje uma utilidade e importância inquestionável para a produção dos cilindros OPC na planta da XENOR. Sem o mesmo, os engenheiros de produção da empresa não teriam como diagnosticar a temperatura da superfície do produto como causa de problemas na qualidade e produção dos mesmos. Porém, mesmo com a sua utilidade e importância para o processo em si, o método atual de medição utilizado possui algumas características que o fazem inconsistente.

Para realizar a medição da temperatura da superfície dos cilindros, o método atual utiliza uma ferramenta chamada de "Mole" (figura 5). Essa ferramenta nada mais é do que um transportador de cilindros – *carrier* utilizado durante a seção B com algumas modificações. Essas modificações capacitam o *carrier*, agora "Mole", à realizar a leitura e armazenamento dos dados de temperatura durante a sua passagem no túnel de tratamento superficial.



Figura 5- Dispositivo utilizado para medir a temperatura atualmente – "Mole"

O "Mole" possui 24 cilindros já previamente encaixados, e embora seja montado sobre o mesmo transportador utilizado na produção, não tem capacidade para os 32 cilindros. Isso acontece, porque nessa ferramenta existe a presença de uma caixa metálica fechada que fica localizada no centro do transportador, ocupando o espaço desses 8 cilindros. Essa caixa é responsável por armazenar o *datalogger*, dispositivo eletrônico de armazenamento de dados e pela proteção térmica desse dispositivo, feita por tijolos refratários. Essa proteção térmica é necessária pois o mole fica submetido a temperatura de até 160 °C, que seria bastante prejudicial à eletrônica do módulo *datalogger*.

Essa memória ou *datalogger* (figura 6) é necessária ao sistema para que os dados de temperatura lidos pelos sensores possam ser armazenados durante a passagem dessa ferramenta pelo processo de produção. Essa memória é um produto da Omega, empresa de atuação internacional especializada em produtos de automação que vão desde sensores e multímetros a placas de aquisição de dados e controladores lógicos programáveis.



Figura 6 - Datalogger – Dispositivo de armazenamento dos dados coletados pelos sensores dentro de uma caixa refratária

Além dos 24 OPC's e da caixa de armazenamento e proteção do *datalogger*, o "Mole" também possui 6 sensores de temperatura. Responsáveis pela coleta da informação, esses sensores, termopar do tipo K, ficam conectados a memória por extensos fios que são presos na parede externa dos cilindros, com fitas adesivas (figura 7). É importante ressaltar que um deles não fica preso a superfície do produto, pois é destinado à medição da temperatura do ambiente.



Figura 7 – Detalhe da fixação externa dos sensores feita com fita isolante

O método atual é utilizado quando um número fora dos limites de OPC's começa a ser perdido por falta de conformidade na produção. Toma-se essa atitude, pois além de significar perda de produto e dinheiro, a falta de conformidade do produto também significa que algum parâmetro de produção está errado, podendo o mesmo ser a temperatura da superfície do OPC. O início desse ciclo de medição ocorre quando o dispositivo, mole, é colocado dentro da primeira câmara interna da seção B e só terminará quando o mesmo for retirado ao final da seção, na última câmara.

Uma das principais falhas desse método fica evidente desde o início da sua aplicação. Com a colocação do "Mole" já carregado com os cilindros pela primeira câmara, além de não estar reproduzindo a produção como de fato ela acontece – *carrier* carregado com os 32 OPCs pelo robô, modifica-se a temperatura desse compartimento. Apenas o fato de abrir a porta do compartimento para introduzir o dispositivo já é o suficiente para que o mesmo troque calor com o ambiente e perca as suas características reais de produção. Da mesma forma, ao se retirar o mole, perde-se também a fidedignidade dos dados coletados na última câmara do túnel.

Além das temperaturas da superfície do produto na entrada e saída do processo de produção da seção B, o método atual não permite a medição da variável enquanto os cilindros passam pelos banhos. Por possuir os sensores de temperatura fixados nas paredes externas, o "Mole" não pode participar das etapas de banho da produção e essas informações não podem ser captadas pelo sistema. Dessa forma, ao se passar por essas etapas com o dispositivo do método atual, mede-se novamente uma temperatura que não condiz com a realidade.

Ainda no seu funcionamento, o método atual também falha por possibilitar a leitura de apenas cinco pontos da superfície dos cilindros e ainda adicionar características que possam alterar os valores reais, como por exemplo, a presença da caixa de armazenamento e proteção da memória. Fora das características de funcionamento, medir a temperatura da superfície dos cilindros com o mole exige que a produção seja interrompida para a colocação e retirada do mesmo, já que os cilindros utilizados não são os que chegam diretamente da seção A e não participam das etapas de recobrimento químico, ou banho.

Apesar de todos esses tópicos que tornam o método de medição atual inconsistente, ele também possui características positivas. A placa de armazenamento de dados possui uma saída para comunicação serial o que facilita bastante a transferência de dados, apesar dela não acontecer de forma automatizada. Além disso, o sistema possui um *software* proprietário que possibilita aos engenheiros de produção a visualização da temperatura em escalas de tempo e de uma forma quase contínua, já que a frequência de amostragem do sinal da temperatura é aproximadamente 15 segundos.

3.3. Atmosferas explosivas

A seção B do processo de produção do OPC, como já visto no capítulo introdutório desse documento, é quase toda realizada sob uma atmosfera explosiva. A constante presença de solventes, substâncias inflamáveis, em suspensão – estado gasoso, faz com que o ar das câmaras internas dessa etapa do processo esteja altamente contaminado e propenso a explosões. Atmosferas explosivas, como a da XEROX, são grandes fontes de restrições para projetos e uma vez desconsideradas, podem ocasionar grandes desastres.

Uma atmosfera é explosiva toda vez que se haja uma quantidade de gás, vapor ou pó misturado ao ar tal que uma fonte de ignição consiga provocar uma explosão. Para se provocar uma explosão qualquer são necessários três elementos: o combustível, o comburente e a fonte de ignição. Para essas atmosferas em sua maioria, o comburente é o próprio oxigênio presente no ar, e os combustíveis e a fonte de ignição variam de acordo com o processo.



Figura 8 – Componentes de uma explosão

A energia necessária para provocar a inflamação de uma atmosfera explosiva é muito pequena. Sempre necessária para que haja a explosão, essa energia é proveniente de uma fonte de ignição, que pode ser causada por um centelhamento ou por uma alta temperatura. Os centelhamentos são normalmente decorrentes da abertura e fechamento de contatos de equipamentos elétricos como chaves ou motores; e altas temperaturas podem ser ocasionadas por características do processo – atuadores e por falhas em dimensionamentos, que resultam em altas correntes.

Para ciência das características da atmosfera dos locais de um processo produtivo, as mesmas são classificadas dentro de zonas e classes. A

classificação de áreas representa, (JORDÃO, 2007) uma avaliação do grau de risco da presença de misturas inflamáveis de uma unidade industrial. Ela deve conter informações a respeito de itens como o tipo de substância inflamável que pode estar presente no local; com que probabilidade essa substância pode estar presente no meio externo; e ainda em que extensão essa probabilidade é esperada, ou seja, quais os limites da área com risco de presença de mistura explosiva. Essa classificação se baseia na análise e identificação de diversas características desses espaços como:

- ✓ Características ambientais – ventilação, temperatura, umidade, presença de agentes corrosivos;
- ✓ Tipos e características dos equipamentos que se encontram atuando nas mesmas – bombas, compressores, tanques, etc;
- ✓ As substâncias inflamáveis presente nas mesmas – Xileno, Tolueno, Benzeno;
- ✓ Características dessas substâncias – ponto de fulgor, energia mínima para ignição, etc.

Existem dois grandes padrões de classificação de áreas no mundo: o americano e o chamado internacional. Os padrões americanos foram desenvolvidos baseados em documentações como o seu código elétrico nacional, o NEC – *National Electric Code* e publicações do Instituto americano de petróleo, o API – *American Petroleum Institute* e foram os mais utilizados no Brasil até a década de 80. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) implementou as normas brasileiras sobre instalações de equipamentos elétricos em atmosferas explosivas nesse mesmo período, e por utilizar como principal fonte as normas internacionais, da comissão internacional de eletrotécnica, a *International Electrotechnical Commission* (IEC), acabou fazendo com que as empresas brasileiras tomassem um caminho para a divisão internacional. A maioria das diferenças entre os dois padrões são de nomenclaturas e formas de divisões, como pode-se facilmente perceber na tabela 1, abrangendo ambos mesmas possibilidades de aplicações.

NORMAS \ GASES	GRUPO DO ACETILENO	GRUPO DO HIDROGÊNIO	GRUPO DO ETENO	GRUPO DO PROPANO
ABNT/IEC	Grupo IIC	Grupo IIC	Grupo IIB	Grupo IIA
API/NEC	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D

Tabela 1– Tabela que relaciona os padrões Americano e Internacional com os elementos em suspensão (JORDÃO, 2007)

A maior utilização do padrão americano nas décadas iniciais do século XX ocorreu principalmente pela força e respeito que o NEC possuía. O NEC é um documento que teve sua primeira versão desenvolvida em 1897 nos Estados Unidos, com versões atualizadas e revisadas a cada dois anos. Além disso, a partir da sua nona versão, do ano de 1911, esse documento passou a integrar os conhecimentos da NFPA – *National Fire Protection Association*. Hoje, esse documento apesar de ter um caráter de ensinamento, é adotado pela ANSI – *American National Standards Institute* e pode ser utilizado como lei se infringido.

O padrão americano sugere que os ambientes explosivos podem ser classificados de acordo com a forma com que o comburente está presente. A classe I representa elementos suspensos em forma de gases e vapores, enquanto que a classe II consiste nos elementos em forma de poeira e a classe III, em forma de fibras. Além dessa primeira divisão em classes, existe uma subdivisão das primeira e segunda classes em grupos.

Na classe I, existem quatro subdivisões que vão de grupo A até o grupo D, (tabela 2), enquanto na classe II são três subgrupos que vão de grupo E até o grupo G (tabela 3).

CLASSE I	GRUPO A	Acetileno
	GRUPO B	Butadieno, óxido de Etileno, Acroleína, Hidrogênio (ou gases e vapores de risco equivalente ao do Hidrogênio, tais como certos gases manufaturados).
	GRUPO C	Ciclopropano, Eter Etilico, Etileno, Sulfeto de Hidrogênio, ou gases e vapores de risco equivalente.
	GRUPO D	Acetona, Álcool, Amônia, Benzeno, Benzol, Butano, Gasolina, Hexano, Metano, Nafta, Gás Natural, Propano, vapores de vernizes, ou gases e vapores de risco equivalente.

Tabela 2 – Divisão da Classe I conforme padrão americano (JORDÃO, 2007)

CLASSE II	GRUPO E	Pós metálicos combustíveis, incluindo alumínio, magnésio, e suas ligas comerciais ou outros pós combustíveis, cujo tamanho de suas partículas, abrasividade e condutividade apresentem risco similar quanto ao uso de equipamentos elétricos.
	GRUPO F	Pós carbonáceos combustíveis, tendo mais do que 8% no total de materiais voláteis ou tenham reagido com outros materiais e apresentem risco de explosão. Pós de carvão, de grafite, e pós de coque são exemplos de pós carbonáceos.
	GRUPO G	Pós combustíveis que não se enquadrem nos Grupos E e F, incluindo pós de cereais, de grãos, de plásticos, de madeiras e de produtos químicos. Exemplos: açúcar, ovo em pó, farinha de trigo, goma-arábica, celulose, vitamina B1, vitamina C, aspirina, algumas resinas termoplásticas, etc.

Tabela 3 – Divisão da Classe II conforme padrão americano (JORDÃO, 2007)

Considerando a classificação baseada nas normas brasileiras, as três zonas que dividem as áreas de risco são: Zona 0, Zona 1, Zona 2 e área não classificada. Para ser dita Zona 0 (zona zero) o espaço deve conter sempre uma atmosfera explosiva; já para a Zona 1, a probabilidade de se encontrar uma atmosfera explosiva é grande. Para se classificar uma área como Zona 2, a mesma deve possuir características tais que o aparecimento de uma atmosfera explosiva seja improvável, podendo essa situação ocorrer em horários de manutenção ou funcionamento errôneo do processo.

Para o padrão internacional, assim como as áreas de risco, os equipamentos elétricos também são classificados quanto aos seus riscos, porém em dois grupos. O grupo I compreende aqueles equipamentos fabricados para operar em minerações subterrâneas, enquanto que o grupo II, subdividido em IIA, IIB e IIC, envolve equipamentos fabricados para operar nas demais indústrias, divididos de acordo com os seus elementos combustíveis (tabela 4).

Grupo	Substâncias
II A	Propano, Etano, Butano, Benzeno, Pentano, Heptano, Acetano, Metil, Etil, Álcool metílico, Álcool etílico.
II B	Etileno, Etil éter, Ciclopropano, Butadieno 1-2.
II C	Acetileno, Hidrogênio.

Tabela 4 – Classificação dos elementos combustíveis de acordo com o IEC e a ABNT

Além da normalização técnica, existem também diversas documentações sobre como proceder para realizar instalações, manutenções e projeto de equipamentos para locais com atmosferas explosivas. Esses documentos são gerados em sua extensa maioria por empresas do ramo que se preocupam com o assunto, devido à ciência do real grau de importância que o mesmo possui, e a sua maioria é embasada nas normas brasileiras.

4. Tecnologias utilizadas

Nesse capítulo, é apresentado um pouco do embasamento teórico necessário para a realização do projeto.

4.1. Tecnologias existentes para montagem de circuitos eletrônicos

Para compreender as tecnologias existentes para a montagem dos circuitos eletrônicos, é preciso primeiramente entender alguns conceitos, como os de componentes e circuitos eletrônicos, e o da eletrônica propriamente dita.

A eletrônica é uma ciência muito rica e ampla que estuda o comportamento de propriedades e variáveis como a corrente e tensão para se atingir objetivos determinados. Os componentes eletrônicos são dispositivos elétricos de formatos construtivos e objetivos diferentes que transmitem a passagem de uma corrente elétrica através de um condutor (figura 9).

Já os circuitos eletrônicos são aqueles dispositivos que integram os componentes eletrônicos em um só sistema. Esses dispositivos também possuem determinadas funções obtidas pela conexão de componentes eletrônicos por meio de trilhas condutoras de eletricidade.



Figura 9 - Resistores, transistores, entre outros componentes eletrônicos

As formas e tecnologias para montagem dos circuitos eletrônicos se modificaram bastante com o passar do tempo. Devido principalmente aos avanços tecnológicos que foram possibilitando componentes menores, atualmente nem se cogita montar uma PCI – placa de circuito impresso – *Printed circuit board* (PCB) como se fazia alguns anos atrás. Antigamente, a montagem dos circuitos era feita sobre grandes placas chamadas de chassis,

os componentes eram aparafusados na mesma e as conexões elétricas eram feitas por fios, que eram soldados aos terminais dos componentes.

Com a constante necessidade de menores placas de circuitos, novas plataformas tiveram que ser desenvolvidas para substituir o antigo chassis. Dentre as primeiras soluções encontradas, já muito próximo do utilizado na atualidade, foram as placas com furos. Essas plataformas já foram desenvolvidas para a montagem de componentes PTH (*Planted through hole*). Nesse tipo de montagem, as placas devem ser constituídas de matérias isolantes e os componentes devem ter os seus terminais atravessados pelos furos da placa para que possam ser soldados aos fios do circuito na outra face (figura 10). Esse processo de montagem das placas de circuito é um processo bastante simples, e ainda aconselhado hoje para montagens de pequenos dispositivos, com poucos componentes e conexões.

A nova técnica desenvolvida para resolver a lacuna gerada pelo método das placas com os furos é a tecnologia de circuitos impressos. O desenvolvimento dessa tecnologia possibilitou produções em grandes escalas comerciais de circuitos eletrônicos e foi bastante importante para o crescimento do desenvolvimento dos equipamentos eletro-eletrônicos existentes. Com o surgimento desse novo método, a placa continuou a ser constituída de materiais isolantes, porém com uma fina camada de um material condutor, a presença de fios conectores passou a ser mínima e os componentes passaram a ser soldados diretamente a placa.

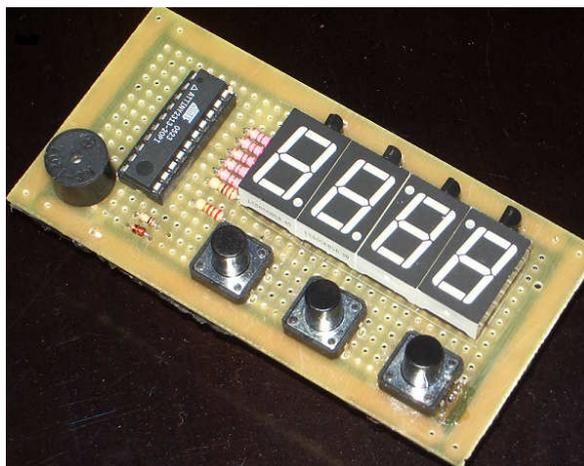


Figura 10– Circuito eletrônico montado em placa isolante

A construção de placas de circuitos impresso é baseada no *layout* desenvolvido pelo projetista para o circuito. Desse *layout*, que pode ser

construído ou manualmente ou via *software*, é gerado um documento de impressão. Nesse documento estão desenhadas as trilhas e conexões entre os componentes do circuito. Essa impressão é importante para marcar na placa condutora quais as suas áreas que deverão ser condutoras e quais não deveram, separando dessa forma as conexões. Para a retirada desse material condutor, normalmente cobre, utiliza-se um processo químico que corroí o mesmo, e como esse agente não consegue atingir as regiões que foram demarcadas pela impressão, apenas as regiões que não foram impressas são corroídas, dando origem às placas de circuito impresso (Figura 11).

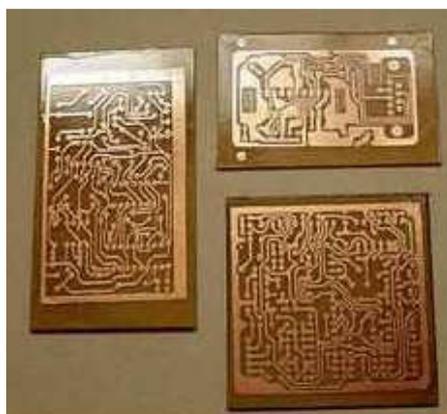


Figura 11– Placa de circuito impresso depois de corroída

As duas principais tecnologias de montagem de placas de circuitos eletrônicos por impressão existentes atualmente são a PTH (*Planted Through Hole*) e a SMT (*Surface Mounting Technology*). Apesar de ambas se basearem no princípio de montagem por circuito impresso elas possuem diversas características que as diferenciam, e as tornam apropriadas para determinados casos. O uso de uma tecnologia não restringe a utilização da outra em um mesmo dispositivo, existindo aplicações em que as duas tecnologias são utilizadas em uma mesma PCI.

4.1.1. PTH – *Planted Through Hole*

O *Planted through hole* é, como já citado anteriormente, um dos processos de montagem de PCIs mais utilizados no mundo. Como um dos seus principais pontos fortes, esse método possui a característica de poder ser aplicado de forma automatizada ao não. E isso, faz com que ele seja o

processo mais difundido entre os estudantes e amadores da eletrônica para montagem de seus experimentos e dispositivos.

Como um processo manual de montagem de placas de circuito eletrônico o PTH é bastante eficiente. Os seus componentes são de fácil manuseio, possuem tamanhos reduzidos e preços acessíveis. A sua montagem não exige muita experiência no processo em si para os desenvolvedores de dispositivos eletrônicos que a utiliza, pois é um processo simples e de fácil aprendizado. Existem diversos fóruns e metodologias expostas na *Internet* que discutem o assunto e auxiliam o desenvolvedor na hora de fabricar a sua placa de circuito impresso utilizando a metodologia PTH de forma não automatizada.

Também chamados de TH – *Through Hole*, os componentes utilizados nessa tecnologia podem ser classificados em dois grupos principais. Essa divisão ocorre de acordo com a sua característica física posição dos condutores. Como pode ser visto na figura 12, os componentes podem ser axiais e radiais. Os componentes axiais são aqueles que os conectores ficam no mesmo sentido dos seus corpos, como por exemplo os resistores e diodos. E os de classificação radiais, são aqueles cujos conectores pertencem a um plano ortogonal ao plano que contém a sua maior face, por exemplo capacitores, circuitos integrados e geradores de *clock*. Alguns outros componentes TH podem ser vistos na figura 9, na seção de Tecnologias de montagem de PCI.

Para processos automatizados, essa tecnologia está cada vez menos sendo utilizada. Com o desenvolvimento da tecnologia SMT, os componentes utilizados nessa metodologia, os TH, tornaram-se muito grandes e caros quando comparados aos SMD - *Surface Mounting Device*. De forma que, além de encarecer processos de produção em altas escalas, eles também não permitem o desenvolvimento cada vez mais reduzido das placas.

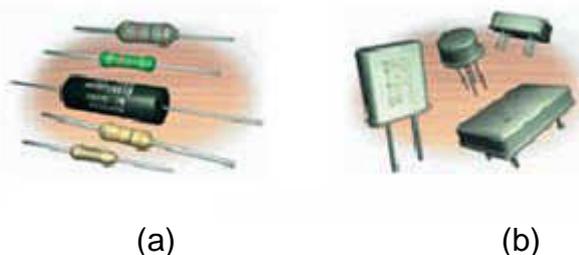


Figura 12– Componentes TH – (a) Axiais (b) Radiais

Embora mais caro e maiores, os componentes TH possuem uma excelente vantagem frente aos SMD. Nem todos os seus componentes podem ser substituídos por algum outro da nova tecnologia. Por diversas características, como corrente suportada, por exemplo, existem diversos componentes TH para aplicações mais robustas que não podem ser substituídos por outros SMD. O que garante por enquanto, a sobrevivência dessa tecnologia em processos de produção automatizados e de alta escala de produção.

Para montagem de uma placa de circuito impresso utilizando a metodologia PTH precisa-se seguir basicamente quatro etapas. A primeira etapa é uma etapa de ordenação dos componentes, fase executada por uma máquina chamada de seqüenciador de componentes TH (Figura 13). Essa parte do processo é muito importante para garantir que a segunda etapa ocorra da forma planejada. As máquinas sequenciadoras de componentes existem em duas versões: uma para os componentes radiais e outra para os componentes axiais.

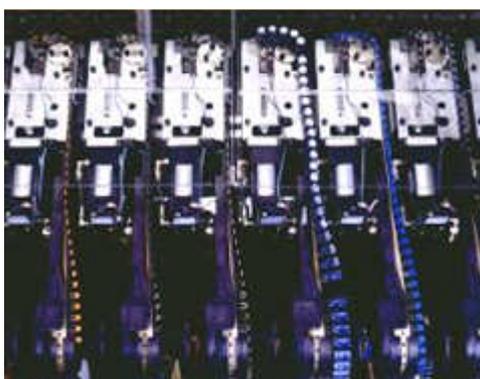


Figura 13 – Seqüenciador de componentes TH

Após organizados os componentes, eles passam por um processo de preparação ou processo de pré-formagem. Nessa etapa do processo, os componentes são cortados, dobrados e preparados para que possam ser montados na PCI. Assim como na etapa de organização dos componentes, também existe uma máquina específica para a realização desse trabalho, com as versões para componentes radiais e axiais.

Uma vez organizados e preparados, os componentes são inseridos nas placas. Esse processo de inserção automática é muito importante para a garantia da funcionalidade do circuito. Para placas muito grandes, são

utilizados diversos tipos de componentes e em altas quantidades, o que dificultaria bastante o trabalho eficiente de um operador. Uma máquina de inserção automática pode ser vista na figura 14, e igualmente as demais máquinas específicas para esse processo, as inseroras também são diferenciadas para os componentes axiais e radiais.

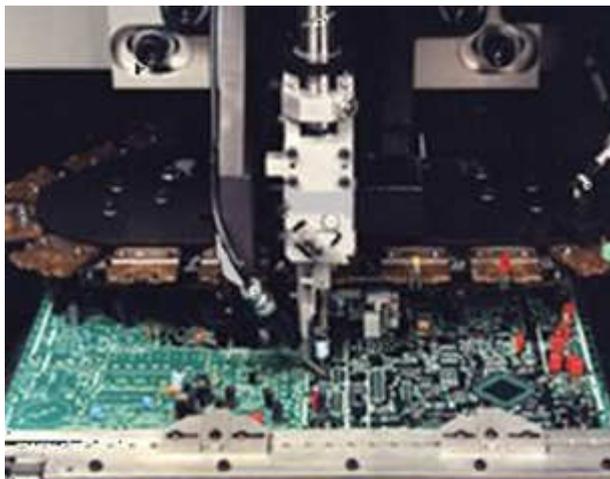


Figura 14 – Máquina inserora de componentes TH

A última etapa do processo de produção de uma PCI pela tecnologia PTH é a soldagem dos componentes já colocados na placa com as trilhas. Para essa etapa a máquina de soldagem utilizada tem seu nome baseado na sua metodologia utilizada para realizar a tarefa – *wave solder* (Figura 15). Essa soldagem ocorre através do contato físico entre os terminais condutores dos componentes e a onda de solda. Diferentemente das outras máquinas do processo automatizado, a *wave solder* é única para o processo, já que todos os componentes já se encontram colocados em suas posições na placa.



Figura 15 - Wave Solder – Máquina de soldagem utilizada para montagem de PCI

4.1.2. SMT – *Surface Mounting Technology*

A SMT é a tecnologia de montagem de PCI que mais cresce em utilização pelas indústrias de eletrônica no mundo. Segundo (RABAK, 1999), desde o final do século XX já existe um forte movimento das indústrias do ramo pela utilização dessa tecnologia nas suas linhas de produção. Isso ocorre devido a constante necessidade de se produzir sistemas e dispositivos de desempenho no mínimo equivalente aos já existentes, porém com dimensões cada vez menores.

O grande ponto forte dessa tecnologia são as características dos seus componentes. Os *Surface Mounted Devices* SMDs são dispositivos com o mesmo rendimento, mas com dimensões muito menores aos TH. Eles possuem seus terminais formados por minúsculas plataformas de material condutor rente à sua parte inferior que são chamados de *pads*. A existência desses *pads* extingue desses novos dispositivos a necessidade dos seus contatos serem feitos por fios rígidos de material condutor, como nos THs, que exigem esforços como os de corte e dobra para serem montados às PCIs.

Como pode ser visto na figura 16, a placa de circuito impresso para essa tecnologia não necessita de furos para encaixe dos componentes. Essa característica também é bastante importante quando se pensa na automação do processo de montagem das mesmas. Agora, ao invés dos furos necessários para montagens PTH, existem ilhas do condutor. Essa ilhas são o meio de comunicação entre o circuito da placa e o componente SMD, pois esses dispositivos são soldadas às essas ilhas pelos seus terminais condutivos – *pads*.

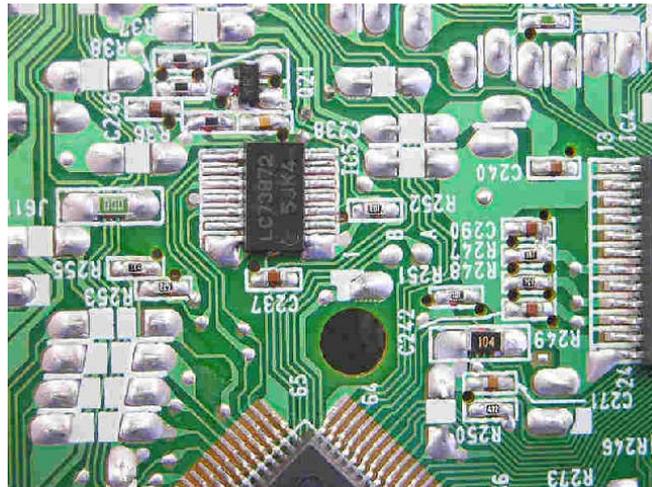


Figura 16– Placa de circuito impresso SMT

Assim como os TH, os dispositivos SMD também possuem classificações quando ao posicionamento dos seus terminais. Para o caso dessa segunda classe de componentes, existem variadas maneiras de posicionamento dos *pads* que podem ter desde formados curvados, como por exemplo as classes J, L, I e a *Flat Lead* (Figura 17) a formatos que os fazem parecer quase inexistente como os *Chips* e os *Melfs* (figura 18).

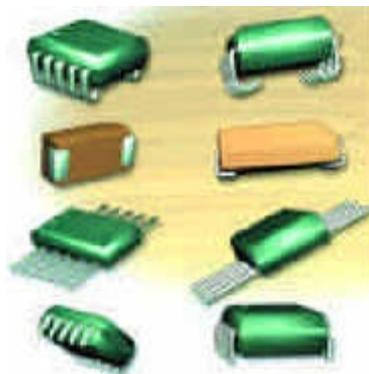


Figura 17 – Componentes SMD com os *pads* em formatos *J-lead*, *L-lead*, *Flat-lead* e *I-lead* respectivamente



Figura 18 – Componentes SMD *Chips* e *Melfs* respectivamente

O processo de montagem de componentes SMD tem evoluído muito nos últimos anos (ARANHA NETO, 2006). Essa evolução vem no sentido de acompanhar a constante diminuição das dimensões desses dispositivos.

Atualmente, PCIs que utilizam SMT assim como as que utilizam PTH, já podem ter os seus processos de montagem totalmente automatizados. Em geral, o processo de montagem de um dispositivo que utilize a tecnologia de montagem superficial possui três etapas:

- ✓ Aplicação de uma pasta adesiva ou pasta de solda;
- ✓ Inserção dos componentes;
- ✓ Cura da pasta adesiva ou pasta de solda.

O processo de aplicação da pasta é realizado por uma máquina chamada *printer*. O princípio básico de aplicação dessa pasta é semelhante ao utilizado em processos de serigrafia, aonde uma tinta é vazada pela pressão de um rodo ou puxador através de uma tela preparada. Para isso, o processo precisa do *stencil* e do *squeegee*. O primeiro tem o papel da tela na serigrafia, como um gabarito para a pasta, constituído de uma placa metálica composta por furos que ficam alinhados aos *pads* da placa. Já o *squeegee* é do que o rodo que passará a pasta para ocupar os furos presentes no *stencil*. Não existem características rígidas para o projeto de um *stencil*, sendo cada um específico para a sua aplicação, variando desde tamanho a material dependendo da qualidade final exigida ao processo de montagem da PCI.

A determinação da utilização da pasta de solda ou adesiva é dada pela presença ou não de componentes da tecnologia TH na placa que está sendo montada. Geralmente, para dispositivos que utilizam os dois tipos de dispositivos, usa-se a pasta adesiva, enquanto que em casos da utilização apenas dos componentes de montagem por superfície, usa-se a pasta de solda.

Pode-se afirmar que o processo realizado pela *Printer* possui um padrão lógico de acontecimentos que são:

- ✓ Posicionamento da placa;
- ✓ Posicionamento do *stencil*;
- ✓ Aplicação da pasta com o auxílio do *squeegee*;
- ✓ Retirada e limpeza do *stencil*;
- ✓ Saída da placa.

Após a etapa de colocação da pasta na placa, a PCI recebe os seus componentes. Nessa etapa, utiliza-se as máquinas inseroras de componentes, que podem ser de dois tipos. Esses dispositivos são responsáveis por pegar os componentes no seus alimentadores, posicioná-los e inseri-los de forma correta na placa do circuito. Existem dois tipos de máquinas inserora de componentes SMD: *Turret Head* e *Pick & Place*.

Entre as duas classes de máquinas, a principal diferença está na forma em que elas deslocam os componentes do alimentador até a PCI. Na primeira classe, a máquina apenas rotaciona sua garra para pegar do alimentador, que é móvel e colocar na placa, que também se movimenta. Enquanto que no segundo grupo, a máquina pega os componentes de um *buffer* fixo e deposita na posição correta na placa que também fica fixa. De vantagem da primeira classe frente a segunda, tem-se a velocidade de inserção dos componentes, que é superior.

Existem nas placas pequenas marcações que representam a correta localização do componente na mesma, chamadas de fiduciais. Esses fiduciais são marcações de cobre que são lidos pelas máquinas inseroras ao depositar o componente e são fundamentais para a colocação dos mesmos nos seus locais corretos. Assim como essas marcações, a realização de um bom processo de aplicação da pasta é indispensável para uma boa qualidade de uma placa de circuito impresso.

Assim como o processo realizado pela máquina *Printer*, o processo das máquinas inseroras também possui uma seqüência lógica de acontecimentos que ocorrem de forma cíclica até a sua finalização, que são:

- ✓ Posicionamento da placa;
- ✓ Pega do componente no alimentador;
- ✓ Leitura da posição correta do componente na placa;
- ✓ Inserção do mesmo;
- ✓ Retorna para pega de um novo componente.

Finalizada a etapa de inserção dos componentes, inicia-se a última etapa de montagem de placas com a utilização de dispositivos de montagem superficial que é a etapa de cura da pasta inserida no começo do processo.

Nessa etapa aplica-se calor nas ilhas de adesivo ou solda para fazer com que eles derretam e se solidifiquem logo após unindo os componentes à placa do circuito. As máquinas térmicas utilizadas nessa etapa são os fornos de refusão.

Em geral, o processo de cura é feito com a temperatura da placa variando de forma não muito brusca. Dentre os mais utilizados fornos de refusão existentes, está o por convecção forçada. Na figura 19, pode-se verificar que nesse equipamento a placa percorre-o em uma esteira e vai passando por ambientes de variadas temperaturas, que vão aumentando até o ponto de cura da pasta. Além do aquecimento até a temperatura de refusão da solda, nessa etapa do processo as placas também são resfriadas até a temperatura ambiente, que é quando está finalizado o processo de montagem dos componentes nas mesmas.

O processo de montagem de placas de circuito impresso utilizando dispositivos de montagem por superfície é um processo bastante detalhado e preciso. Essas características são inerentes ao sistema devido principalmente aos tamanhos dos componentes utilizados nessa tecnologia e a tolerância mínima esperada pelos consumidores, expressada em forma de qualidade do produto gerado.



Figura 19– Forno de refusão por convecção forçada

4.2. Resistência térmica dos componentes eletrônicos

A maioria dos componentes eletrônicos não foi projetada para suportar altas temperaturas. Quando expostos a elas, eles perdem bastante em confiabilidade e qualidade chegando a casos extremos, a até perder permanentemente a sua função.

Dentre os dispositivos fabricados pelas indústrias de eletrônica, existem basicamente três classes de componentes. Aqueles componentes que chegam até os estudantes, desenvolvedores de dispositivos próprios, são a pior classe dos componentes eletrônicos. Esses são todos aqueles que não adquiriram qualidade suficiente para serem encaminhados às outras duas classes e por isso acabam sendo vendidos ao público interessado. Dentre as três classes de componentes, os componentes civis são os de mais baixa qualidade e menor resistência a altas temperaturas.

Em uma classe melhor estão os componentes industriais. Com características mais robustas e de melhor qualidade, que também envolve uma maior resistência a exposição em altas temperaturas, esses componentes são destinados a aplicações industriais, como por exemplo, da eletrônica embarcada em veículos.

A melhor classe de componentes eletrônicos são os militares. Extremamente mais robustos, confiáveis e seguros, esses dispositivos são muito mais caros e qualificados. A eletrônica militar pode chegar a agüentar a exposição de até mais de 180 °C sem que haja alguma perturbação no seu funcionamento. Os componentes civis mantêm o seu rendimento até temperaturas próximas dos 70 °C, que é muito baixa para diversas aplicações.

4.3. Microcontroladores

Os microcontroladores são dispositivos eletrônicos de processamento de dados que possuem dentro de um mesmo chip o processador e outros componentes como memórias, conversores, *timers*, etc. Esses elementos da eletrônica são bastante úteis, pois possibilitam o controle de diversas aplicações, já que possuem além de comunicação com o meio externo – entradas e saídas, a capacidade de serem programados.

Segundo (OLIVEIRA, ANDRADE, 2006), os microcontroladores são dispositivos amplamente utilizados nos projetos de automação, mesmo possuindo um menor desempenho que os microprocessadores, eles são largamente utilizados por demandarem menos tempo para montagem dos seus circuitos, serem de baixo custo e ainda possuírem pequenas dimensões. Por serem de diversos tipos, esses dispositivos são classificados de acordo com

algumas das suas características, como por exemplo, a capacidade de suas memórias, a sua velocidade de processamento, número de entradas e saídas, etc (FARIA, 2006).

4.4. Memória de armazenamento de dados

As memórias de armazenamento são dispositivos digitais com a habilidade de armazenar dados por até períodos indeterminados de tempo. Dispositivo fundamental para todo e qualquer sistema que envolva processamento digital de dados, as memórias são responsáveis diretas pela funcionalidade desses sistemas, cabendo às mesmas a tarefa de armazenar todos os dados e informações que o dispositivo precisa.

Segundo (TOCCI, WIDMER, 2005), o conceito de memória de armazenamento de dados envolve outros importantes conceitos como os de célula de memória, palavra de memória e capacidade de uma memória. A célula de memória é um único bit capaz de armazenar informação, diferenciada pelo seu estado, ou zero ou um. Já a palavra de memória é o conjunto de bits que juntos são capazes de armazenar maiores informações, proporcionais a sua quantidade de bits. Um registrador, ou memória com oito bits – palavra de memória de 8 bits, tem a possibilidade de armazenar 256 informações diferentes. E por fim, a capacidade de uma memória é a quantidade máxima de bits que ela consegue armazenar. O conceito de capacidade de uma memória é bastante importante na hora de dimensionar esse elemento para as suas aplicações.

As memórias possuem diversos espaços para armazenamento de dados. O local em que uma informação está guardada dentro de uma memória é definido pelo seu endereço. De forma que, ao especificar a capacidade de armazenamento de uma memória, usualmente fala-se primeiro o número de endereços que ela possui e depois o tamanho de cada palavra de armazenamento, como por exemplo no caso de uma memória de 4K x 20. Nesse exemplo, o dispositivo possui 4096 endereços de 20 bits cada. A disposição básica de uma memória é ilustrada na figura 20 que indica cada palavra de armazenamento com seu respectivo endereço.

Endereços	
000	Palavra 0
001	Palavra 1
010	Palavra 2
011	Palavra 3
100	Palavra 4
101	Palavra 5
110	Palavra 6
111	Palavra 7

**Figura 20 – Disposição das palavras em uma memória
(TOCCI,WIDMER, 2005)**

Dentre as principais características desses dispositivos, elas devem permitir operações de escrita e leitura com um determinado tempo de acesso. As operações de leitura de informações nas memórias são nada mais do que uma busca do dado no endereço indicado. Semelhante ao processo de leitura, o processo de escrita é uma operação em que uma determinada informação é salva em seu endereço correto. Já o tempo de acesso desse dispositivo é determinado pelo intervalo de tempo no qual ele recebe a informação do endereço que se quer buscar a palavra e a disponibilização da mesma na sua saída.

Sobre a arquitetura básica de uma memória, ele deve conter no mínimo quatro tipos de interface com o seu circuito, além da sua habilitação. Para o seu funcionamento na fase de leitura, os dispositivos precisam de um barramento de saída dos dados, com o tamanho da palavra de armazenamento, e o barramento de seleção da palavra, ou pinos de endereço. Já para o funcionamento em processo de armazenamento de informações, esses dispositivos precisam de um outro barramento com o tamanho da palavra para ser a entrada desses dados, e utilizam o mesmo seletor de endereço. Há ainda a necessidade de um bit de entrada para o dispositivo que seleciona se a operação a ser realizada é a busca ou armazenamento de informação.

4.4.1. Classificação das memórias

As memórias podem ser classificadas de diversas formas. Entre as mais usuais, estão duas divisões que facilitam bastante na hora de se especificar

uma memória. A primeira maneira de se classificar uma memória é sobre a sua capacidade de escrita. Se o dispositivo não for capaz de receber as informações mais de uma vez, ou então a razão entre as vezes que ele lê essas informações sobre as que ele escreve é tão grande, ele é classificado como memória ROM – *Read only memory*. Já aqueles dispositivos de armazenamento de dados que possui uma mesma facilidade ou semelhantes quantidades de leitura e gravação de informações, é classificado segundo esse primeiro critério como uma memória RWM – *Read write memory*, ou para o comum caso de memórias semicondutoras, memória RAM – *Random Access Memory*. (TOCCI, WIDMER, 2005)

A segunda forma de se classificar uma memória é sobre sua capacidade ou não de manter a informação mesmo quando desenergizada. Esse tipo de classificação separa as memórias entre os grupos das memórias voláteis e o grupo das memórias não voláteis (BALCH, 2003).

4.4.2. Tipos de memórias

Existem alguns tipos de memórias ROM e RAM que se diferenciam por capacidades e características distintas entre si. As ROMs são memórias não voláteis que variam com a sua capacidade de ser apagada e reescrita. Entre os tipos de ROMs existentes, tem-se as:

PROM - *Programmable read only memory*. Memória capaz de ser programada uma única vez quer seja quando fabricada quer seja pelo usuário. Esse tipo de dispositivo exige a criação de uma máscara para ser programada, que o torna caro e justificável apenas em casos que se desejem amplas quantidades de uma mesma memória com um determinado programa. As PROMs são indicadas para casos em que se deseja armazenar dados como de tabelas, por exemplo.

EPROM – *Erasable-programmable read only memory* (Figura 21). Desenvolvidas no final de década de sessenta, esse tipo de memória tomou conta do mercado durante mais de vinte anos. O domínio desse mercado e sua presença no mesmo de forma considerável ainda hoje, mais de quarenta anos depois do seu desenvolvimento, se devem a sua simplicidade e baixo custo

(BALCH, 2003). As EPROM são memórias capazes de serem apagadas e reprogramadas pelo usuário quantas vezes ele desejar. A ação de apagar as informações desse chip é realizada expondo o mesmo à radiações ultra violeta durante um período aproximado de trinta minutos.



Figura 21– EPROM – Espaço para penetração da radiação UV

EEPROM – *Electrically erasable programmable read only memory*. Da mesma forma que as apagadas pela exposição à raios UV, esses dispositivos também são apagáveis e reprogramáveis. O grande diferencial desse tipo de memória é o fato dela poder ser apagada eletricamente, apenas aplicando-se uma tensão de 21 volts nos terminais determinados. Outra vantagem desse dispositivo frente às EPROM é a sua capacidade de apagar apenas algumas informações, não sendo ao se desejar reprogramar o artefato, ter que reprogramá-lo completo novamente. A grande desvantagem comparativa de uma EEPROM está no seu custo e sua capacidade, que são respectivamente muito maior e menor também frente às EPROMs.

FLASH. As memórias *flash* surgiram com o objetivo de tentar conciliar o melhor das memórias EEPROMs e EPROM em um dispositivo de armazenamento de dados não volátil. O desenvolvimento desse tipo de memória foi um grande desafio para os engenheiros de semicondutores e o resultado já é bastante satisfatório. Mesmo não tendo um preço tão mais baixo como os das EPROMS, as memórias Flash possuem um valor muito menor do que as eletricamente apagáveis. Os dispositivos Flash possuem também a capacidade de apagar eletricamente apenas parte do código, mantém uma boa velocidade de acesso e ainda uma boa capacidade de informações.

A figura 22, retirada de (TOCCI, WIDMER, 2005, Página 586) relaciona os tipos de memórias ROMs quanto às suas complexidades e custo. Nessa figura, utiliza-se uma diferente nomenclatura para as memórias PROM, que são diferenciadas entre PROM e MROM, que representam respectivamente aquelas memórias que são programadas pelo usuário uma única vez e as que já vem programadas da fábrica.

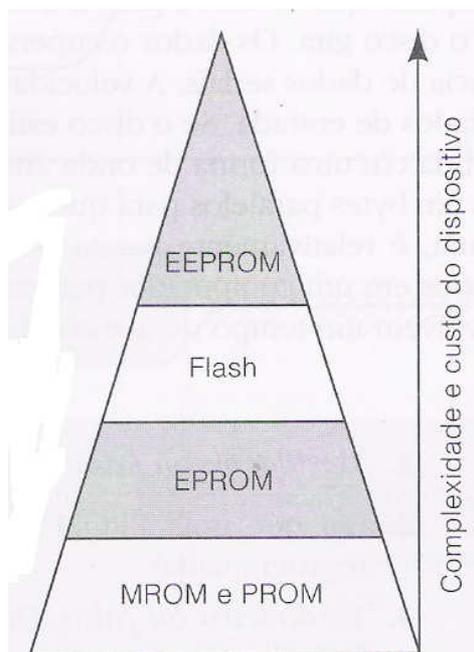


Figura 22 – Comparativo dos tipos de memória ROM

Já os dispositivos de acesso aleatório, as RAMs são memórias voláteis, ou seja, memórias que precisam da alimentação para manter os dados. Elas se diferem entre si apenas pelo seu tipo de armazenamento do dado, sendo elas:

SRAM – *Static random access memory*. As memórias RAMs estáticas podem armazenar os dados de forma contínua desde que a sua alimentação não seja interrompida. Ela pode ser constituída das tecnologias bipolar, MOS e BiCMOS.

DRAM – *Dinamic random access memory*. As RAMs dinâmicas são fabricadas utilizando a tecnologia CMOS. Elas se destacam frente às estáticas devido à suas altas capacidades, baixo consumo e velocidades moderadas de operação. Como nesses dispositivos os dados são armazenados em capacitores, com o tempo esses componentes vão se descarregando e a memória vai perdendo os seus dados armazenados. Para o caso de utilização

desse tipo de memória por um tempo maior que o de descarga do capacitor necessário para o dado ser perdido, precisa-se sempre renovar o valor da informação no endereço da memória. Essas recargas periódicas das informações são chamadas de refresh, que ocorrem nos chips mais modernos normalmente a cada 2, 4 ou 8 ms.

4.5. Interferência eletromagnética em PCI

Ao se projetar uma PCI tem-se que atentar-se bastante para um dos mais comuns problemas que elas apresentam: a falta de compatibilidade eletromagnética com a aplicação. A compatibilidade eletromagnética, também representada pela sigla EMC – *Eletromagnetic compatibility*, é segundo (ANSI apud MONTROSE, 2000) a capacidade de sistemas, equipamentos ou dispositivos elétricos e eletrônicos de operarem nos ambientes em que eles foram propostos para operar com eficiência, dentro de uma margem de segurança previamente estabelecida e sem sofrer ou causar interferências eletromagnéticas.

Já a interferência eletromagnética ocorre justamente quando há uma falta de EMC na aplicação. Uma EMI – *Eletromagnetic interference* é o resultado de um processo no qual energia eletromagnética é transferida de um dispositivo eletrônico para outro por radiação, condução – por cabos, por exemplo, ou por ambos. (MONTROSE, 2000) Essa interferência é a ocorrência de um fenômeno não desejado que prejudica o desempenho desses sistemas, no caso das placas de circuito, do circuito projetado chegando até a possibilidade de degradar-los. Na maioria dos dispositivos, essas incompatibilidades eletromagnéticas são geradas por sinais de RF.

Ao se projetar o *layout* de uma PCI, desde o processo de montagem até o de definição das trilhas, devem ser desenvolvidos sobre observações para não gerar incompatibilidades. Segundo (BALL, BURDOCK, 2000) entre os principais requerimentos para o desenvolvimento de uma placa compatível eletromagneticamente, estão o uso de técnicas específicas para determinação do design dos planos e trilhas presentes na PCI.

4.5.1. Componentes formadores de uma EMI

Para entender melhor a formação de uma EMI, precisa-se saber como elas são compostas. Baseado em (MONTROSE, 2000) uma fonte de uma EMI possui no mínimo três elementos:

- ✓ Uma fonte de energia;
- ✓ Um receptor para esse energia;
- ✓ Um caminho para que haja essa transferência de energia.

Se um desses três elementos for retirado do processo não existe mais a presença de uma fonte de incompatibilidade. Nas figura 23, são descritos respectivamente os tipos de fonte de energia, de meios de propagação desses sinais e os receptores dos mesmos, todas baseadas em (MONTROSE, 2000).

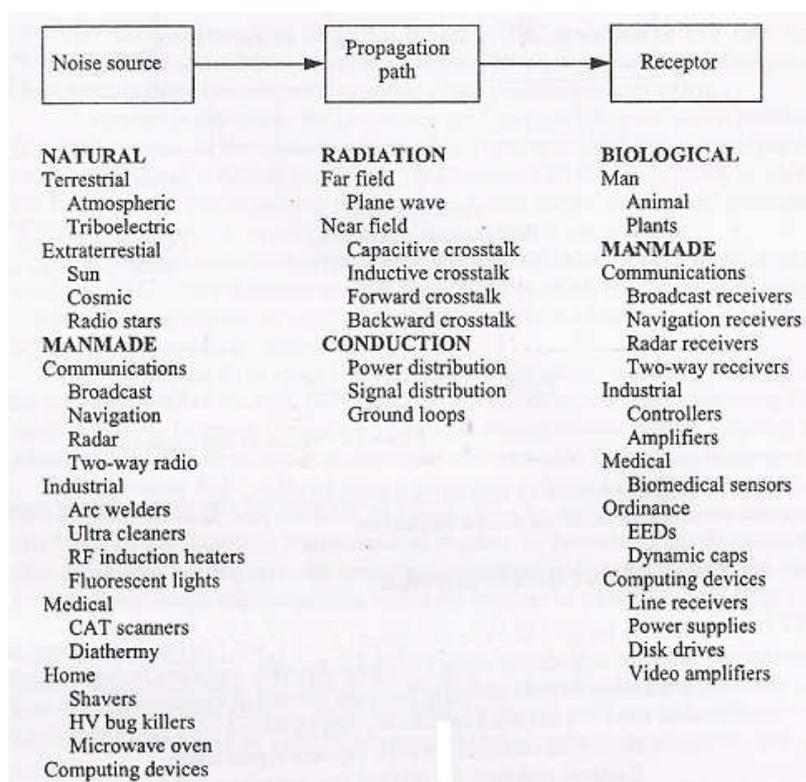


Figura 23 – Componentes de uma EMI - Tipos

As fontes desses sinais indesejáveis podem ser circuitos geradores de frequência, uma fonte de radiação já presente ao dispositivo sem que a mesma esteja protegida e/ ou correntes geradas pelo mau desenvolvimento das PCs. Enquanto que, os receptores desses sinais, são os dispositivos de baixa resistência a interferências.

4.5.2. A importância do layout de uma PCI

Existem algumas formas de se gerar uma interferência eletromagnética por problemas com o layout da PCI. Dentre os principais distúrbios estão os de chaveamentos em altas velocidades, as altas impedâncias do plano terra, o *crosstalk*, os efeitos de linha de transmissão e as descargas eletrostáticas.

Os distúrbios de chaveamento ocorrem toda vez que se necessita uma demanda de corrente que ocorre com um tempo muito rápido. Se nesse chaveamento, o projeto exigir que a fonte esteja estabilizada durante a descarga da energia sobre a carga, então uma baixa impedância de terra é necessária. E ainda, essa fonte deve atuar sem que gere pulsos rápidos de corrente, que se deslocaram pelas vias da placa induzindo campos magnéticos e podendo gerar o *crosstalk*, que é o acoplamento magnético entre essas vias. A solução para evitar esse acoplamento magnético é o projeto de um circuito de desacoplamento, composto basicamente por um capacitor colocado próximo à entrada da chave, capaz de suprir a demanda necessária de corrente.

Outro problema gerado pelo layout dos circuitos é a não preocupação com as baixas impedâncias do plano de terra e das trilhas nas placas. Incluir impedâncias desnecessárias ao plano terra causa quedas de tensões do sinal, que podem terminar na instabilidade do mesmo. Uma solução para essa redução é a utilização de um plano contínuo de terra, que possui significativas reduções frente as trilhas largamente utilizadas. As baixas resistências e indutâncias desse plano reduzem também a impedância da fonte reduzindo a geração dos ruídos associados aos *loops* no plano terra.

Também fonte de interferências, os efeitos da linha de transmissão ocorre quando o tempo de propagação de um sinal por uma trilha da placa é muito próximo do tempo de transição de um dispositivo de um estado para outro. Para tratar esse fenômeno de geração de distúrbios, a prática mais correta é separar por zonas na placa os dispositivos que operem em velocidades parecidas, e os conectá-los ao referencial negativo separadamente. A utilização de trilhas de terra independente para circuitos, como por exemplo, digitais de alta velocidade e os de potência é uma opção bastante relevante para gerar essa proteção.

Um último exemplo de problemas que podem ser corrigidos com ações no projeto do layout da PCI é o de descargas eletrostáticas geradas pelo próprio corpo humano. Isso ocorre, pois o corpo humano é uma das fontes mais comuns de eletricidade estática. O correto manuseio das placas, não entrando em contato com os condutores é a opção mais correta. Porém, como ilustrado na figura 24, para evitar possíveis danos aos componentes, coloca-se um trilha mais externa na PCI de referência negativa, uma trilha de terra, chamada também de anel de terra.

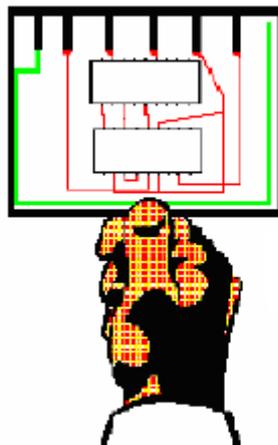


Figura 24 – Projeto de uma PCI com anel de terra – Proteção contra descargas eletrostáticas

Garantir que não haja meios de transmissão e receptores para os ruídos geradores de distúrbios nas placas de circuito impresso é muito difícil. Portanto, as ações para se obter um dispositivo compatível devem ser focadas na redução de fontes geradoras desses sinais indesejáveis. E, sendo assim, atuar no projeto de uma PCI ciente da importância que o seu layout tem para o bom funcionamento do circuito é fundamental para garantir a compatibilidade eletromagnética do dispositivo.

5. Modelo Proposto

O modelo proposto para o *hardware* do projeto do sistema envolve diversas tecnologias e concepções novas. Ele é composto de duas partes: O projeto do *carrier* e o projeto da estação. A proposta é ter um *carrier* especial para medição da temperatura dos OPCs automatizado. Esse dispositivo possui sensores em todos os OPCs, 32 sensores, que irão medir a variável pela superfície interna do cilindro. Como o mesmo é de alumínio, excelente material condutor, a proposta é fazer apenas uma medição por produto e em uma posição mais acima do mesmo, que facilita o desenvolvimento da solução de medição.

Nesse sistema, ao passar pela seção B do processo, o dispositivo fará a leitura da variável temperatura a uma freqüência bastante alta e armazenará esses valores no seu próprio *hardware* embarcado (figura 25). Ao final do processo, o *hardware* do *carrier* estará liberado para transferir esses dados armazenados para a estação externa via comunicação *wireless*. Não será adotada a atualização on-line dos valores da variável devido à espessura da parede metálica que compõe o túnel, podendo gerar uma região incapaz de transferir energia – Gaiola de *Faraday*, e também pelo trabalho ser desenvolvido em uma atmosfera explosiva.

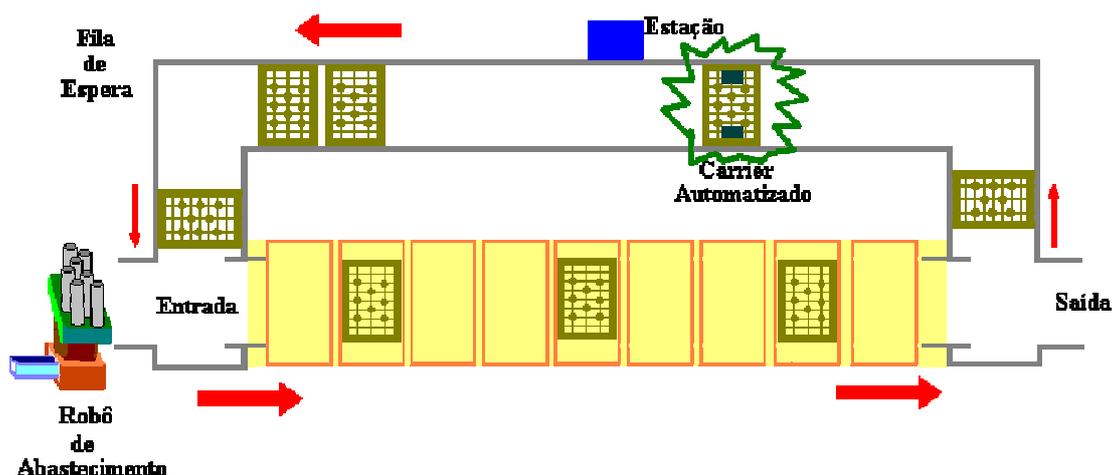


Figura 25– Visão geral para o modelo proposto

Como já citado anteriormente, o projeto específico desse trabalho estará dividido em duas partes: o *hardware* do transportador e o *hardware* da estação. Para o projeto, a tecnologia para montagem das PCI será , na grande maioria

dos componentes, a SMT. A escolha dessa tecnologia se deve às vantagens que ela proporciona a um projeto, como a possibilidade de se realizar placas de dimensões menores, que é uma restrição muito importante do processo, mantendo a qualidade e eficiência da placa. Como já visto também no embasamento teórico sobre o assunto, subseção 4.1.2, essa tecnologia está sendo amplamente utilizada pelo mundo e possibilita uma reprodução em escala do projeto com uma maior facilidade.

5.1. Projeto do *Hardware* do *Carrier*

O projeto do *hardware* do *carrier* foi desenvolvido para suportar as principais restrições ao projeto. Todos os seus componentes eletrônicos não devem em nenhuma hipótese gerar qualquer centelha ou ponto de calor durante a sua atuação, já que, essa parte do projeto está inserida na região com altos teores de solventes em suspensão, ou seja, sob uma atmosfera altamente explosiva. Além disso, os mesmos também ao participar do processo produtivo acompanhando o *carrier*, estão expostos à temperaturas de até 160 °C, o que inviabilizaria os seus funcionamentos. Para essa restrição, a solução foi o encapsulamento dessa placa em uma caixa forrada com uma camada de manta fibro cerâmica, capaz de resistir à essas temperaturas e promover um gradiente de temperatura, garantindo um ambiente propício para o funcionamento dos componentes eletrônicos.

Ainda sobre o mesmo, utilizou-se como tecnologia base para o seu desenvolvimento a de montagem por superfície (SMT), o que proporcionou ao mesmo uma sensível redução de tamanho e profissionalismo, como já citado no capítulo de fundamentação teórica Tecnologias utilizadas.

Melhor entendo-o em forma de diagrama de blocos (figura 26), este *hardware* possui a capacidade e função de ler os sinais dos sensores de temperatura, condicioná-los para as restrições de entrada do microcontrolador, armazená-los internamente, e enviá-los quando finalizado o processo de fabricação daquele *batch* via RF para o *hardware* da estação.

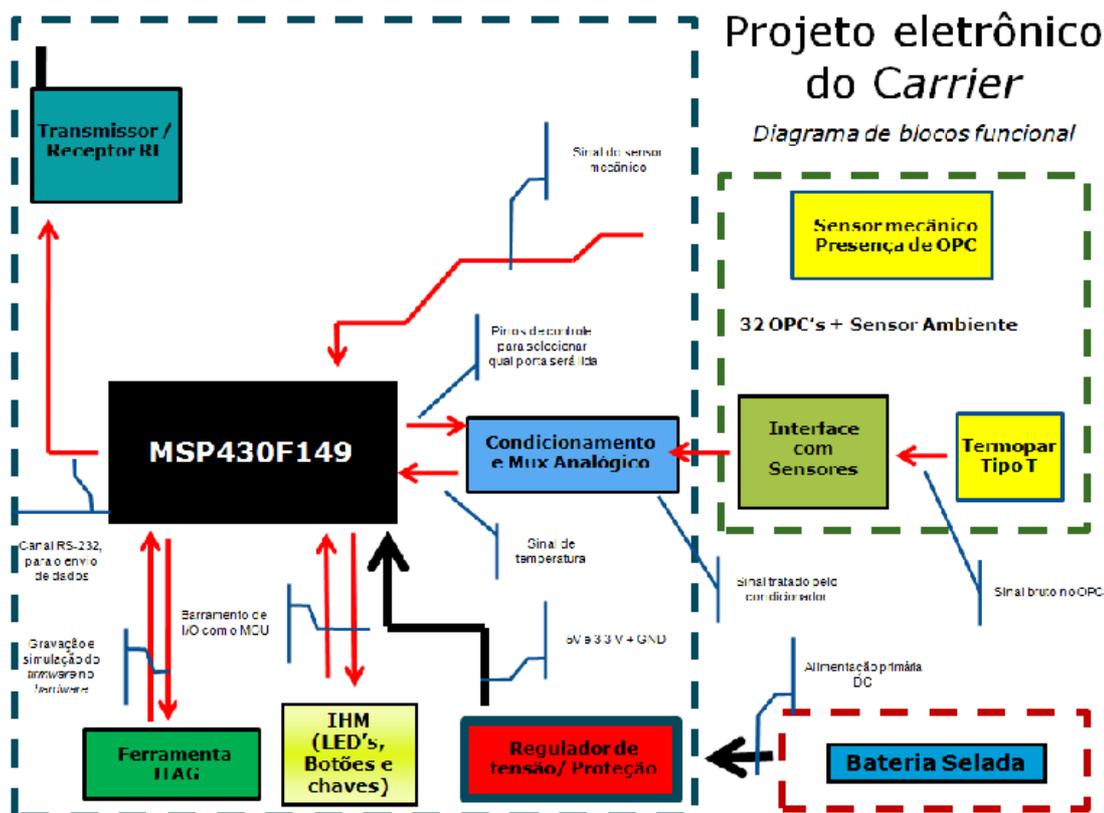


Figura 26 – Diagrama de blocos do *hardware do carrier*

Para melhor explicar o conteúdo desse *hardware*, os seus componentes e circuitos serão apresentados de forma separadas nas subseções abaixo.

5.1.1. Microcontrolador MSP430F149

O microcontrolador escolhido para gerenciar as duas placas do projeto foi a MSP430F149. Conhecidos principalmente pelos seus baixíssimos níveis de consumo de energia, possibilitados pelos diversos modos de funcionamento da CPU (da ordem de $0,1 \mu\text{A}$ para retenção dos dados na RAM, $0,8 \mu\text{A}$ para funcionamento no modo de relógio de tempo real e cerca de $250 \mu\text{A/MIPS}$ em funcionamento normal) esse microcontrolador se atingiu todas as necessidades para o projeto (PEREIRA, 2005).

Além de econômico no quesito energia, a escolha deste controlador se deve também devido à sua larga utilização em projetos microcontrolados e seu baixo custo. Quanto à sua larga escala de aplicação, ajudou principalmente nos momentos de encontrar bibliografias e materiais de estudo sobre o componente, fundamental para o seu entendimento.

memória. Assim, não há diferença entre a memória de programa e a memória de dados.

5.1.2. Interface: Engenharia X *Hardware* do *carrier*

Para facilitar o entendimento por parte dos engenheiros sobre o estado de funcionamento em que se encontra a placa do *Carrier*, foi-se colocado alguns diodos emissores de luz (LEDs) na mesma. O primeiro LED inserido nesta placa possui a função de informar ao engenheiro de que a placa está energizada com 5 V (Volts), tensão de alimentação do microcontrolador, encontrada logo após do regulador de tensão de 5 V; e o segundo luminoso possui a função de informar que o microcontrolador está trabalhando conforme programado. Ou seja, para que se possa observar o acendimento deste LED, há a necessidade de inserir nas linhas de programação do controlador a ação de setar a porta destinada fisicamente para esse LED.

Além da certeza de estar com a alimentação física do *hardware* e com o programa funcionando, os responsáveis pelo processo devem possuir a informação do nível da bateria que alimenta a placa. A informação no status da bateria é de fundamental importância para que não ocorra a inicialização de um processo de medição e o mesmo não seja finalizado, perdendo-se os valores coletados. Para essa interface, foi implementado um divisor de tensão. Esse circuito indica analogicamente para o microcontrolador o valor de 30% da tensão da bateria em uso, devido à restrições da tensão de entrada analógica do dispositivo, e logo, conforme vai caindo a tensão que a mesma consegue proporcionar ao circuito, também vai-se reduzindo a coleta pelo controlador, até atingir-se o limite mínimo de tensão para o circuito. Assim, o engenheiro vai sempre saber a hora exata de recarregar a bateria do *hardware* do transportador, aproveitando o máximo de energia que ela pode disponibilizar.

Existe também dois *switches* na placa que permitem à engenharia resetar o microcontrolador e ainda desligar a alimentação da placa, e conseqüentemente, desligando o dispositivo. Esta segunda chave é bastante importante, pois para momentos em que não se deseje utilizar a medição de temperatura pode-se utilizar normalmente o transportador automatizado sem ter que retirá-lo da fila do processo.

5.1.3. Leitura e condicionamento do sinal do sensor de temperatura

O sensor utilizado para a obtenção dos valores de temperatura da superfície do OPC é o Termopar tipo T. Esse sensor promove uma variação de tensão nos seus terminais de acordo com a temperatura na qual a sua ponta está exposta. Para uma variação de 0 °C até 204,8 °C, o termopar varia a tensão entre seus terminais de forma aproximadamente linear entre 0 Volts (V) até 3,3 (V).

Sabendo-se então que as entradas analógicas do microcontrolador são de 16 bits, tem-se então como diferenciar 4096 pontos distintos de temperatura, número de pontos possíveis. Esse número de informações distintas nos permite discretizar a variação de temperatura em intervalos de 0,05 °C. Para maior segurança e otimização dos pontos, no projeto serão considerados apenas 4000 pontos distintos, excluindo as 48 primeiras e as 48 últimas combinações de bits possíveis. Em valores de temperatura, esses 4000 dados representam uma variação de 2,4 °C até 202,4 °C, variando em meio décimo de grau. Esses valores contemplam com folga às necessidades do processo, que varia de 16 °C à 160 °C (Tabela 5).

Formato do sinal medido				
°C	V (Term.)	V (MCU)	Bit	
0,00	0,0000E+00	0,0000E+00	0	Valores descartados
0,05	2,2676E-06	8,0564E-04	1	
0,10	4,5352E-06	1,6113E-03	2	
0,15	6,8027E-06	2,4169E-03	3	
0,20	9,0703E-06	3,2226E-03	4	
0,25	1,1338E-05	4,0282E-03	5	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
2,30	1,0431E-04	3,7059E-02	46	
2,35	1,0658E-04	3,7865E-02	47	
Formato do sinal medido				
°C	V (Term.)	V (MCU)	Bit	
2,40	1,0884E-04	3,8671E-02	48	Valores válidos
2,45	1,1111E-04	3,9476E-02	49	
2,50	1,1338E-04	4,0282E-02	50	
2,55	1,1565E-04	4,1088E-02	51	
2,60	1,1791E-04	4,1893E-02	52	
2,65	1,2018E-04	4,2699E-02	53	
2,70	1,2245E-04	4,3505E-02	54	
2,75	1,2472E-04	4,4310E-02	55	
2,80	1,2698E-04	4,5116E-02	56	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
202,45	9,1814E-03	3,2620E+00	4049	
202,50	9,1837E-03	3,2628E+00	4050	
202,55	9,1860E-03	3,2636E+00	4051	
202,60	9,1882E-03	3,2645E+00	4052	
202,65	9,1905E-03	3,2653E+00	4053	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
204,60	9,2789E-03	3,2967E+00	4092	
204,65	9,2812E-03	3,2975E+00	4093	
204,70	9,2835E-03	3,2983E+00	4094	
204,75	9,2857E-03	3,2991E+00	4095	
204,80	9,2880E-03	3,2999E+00	4096	
202,15	9,1678E-03	3,2572E+00	4043	
202,20	9,1701E-03	3,2580E+00	4044	
202,25	9,1724E-03	3,2588E+00	4045	
202,30	9,1746E-03	3,2596E+00	4046	
202,35	9,1769E-03	3,2604E+00	4047	
202,40	9,1792E-03	3,2612E+00	4048	

Tabela 5 – Equivalência entre os valores de temperatura, tensão nos terminais do termopar, tensão na entrada do microcontrolador e combinação binária representante.

Desta forma, o circuito de condicionamento dos valores obtidos pelo termopar precisa elevar esses valores em aproximadamente 355,3 vezes, valor este que corresponde à razão entre os valores de saída dos termopares e os limites de entrada do microcontrolador, respectivamente 9,288 mV e 3,3 V (Tabela 11).

Variável	mín.	máx.	Uni.	Varição/pontos	Uni.
Temperatura Real	2,4	202,40	°C	0,05	°C
Tensão do sensor	0	9,288	mV	0,00227	uV/0,05°C
Tensão para o MCU	0	3,3	V	805,664	uV/0,05°C
Conversão Binária	0	4096	bit	1	bit
Ganho	355,30		-		
Nº de pontos	4096		pts.		

Tabela 6 – Cálculo da razão de ganho para o circuito condicionador do sinal do sensor

Assim, o circuito de condicionamento do sinal de temperatura deverá aplicar um ganho aproximado de 350 sobre a diferença de tensão gerada na saída do termopar.

A base eletrônica para construção desse circuito é o amplificador operacional. Esse componente eletrônico possui a capacidade de amplificar a diferença de tensão aplicada aos seus dois terminais de entrada de forma controlada pelo projetista, possuindo altíssimos limites para esse ganhos.

Para deixar o projeto mais robusto, optou-se por ao invés de gerar o circuito amplificador via elementos discretos simplesmente, utilizar um circuito integrado próprio para essa função, o INA129. Esse CI (circuito integrado) assim como o controlador utilizado também foi projetado para aplicações de baixo consumo, grande precisão e exatidão, e ainda consegue contemplar um grande *range* de valores. A configuração desta CI para o ganho de 350 necessário para essa aplicação se dá pela utilização de apenas uma resistência externa, posicionada entre os pinos 1 e 8 do componente, determinada pela equação de ganho do componente. (figura 28).

No *hardware* do *Carrier* foram utilizados 5 CIs de condicionamento de sinal, devido à estratégia adotada para multiplexação dos sinais de temperatura, necessária pelas limitações de portas analógicas no controlador.

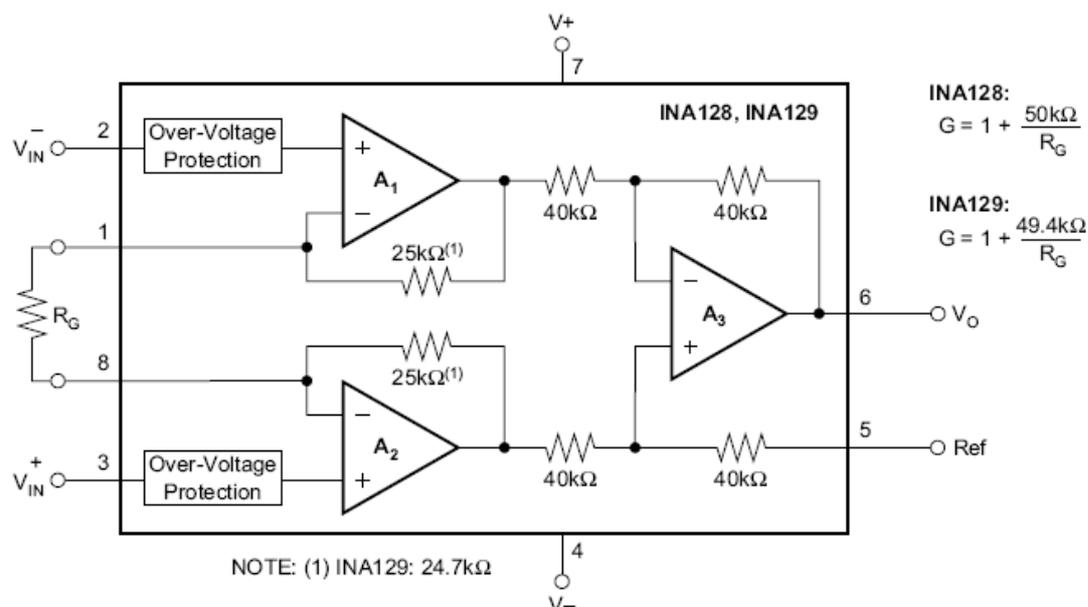


Figura 28 – Esquema interno do componente INA 129

5.1.4. Estratégia para multiplexação dos sinais de temperatura

Por ser capaz de monitorar 33 pontos distintos de temperatura, e possuir apenas 8 entradas analógicas, foi-se necessário implementar uma estratégia de multiplexação das entradas dos sensores de temperatura para o controlador. A estratégia utilizada pautou-se principalmente nos objetivos de redução de custo e tamanho da placa.

Uma característica negativa para a estratégia de multiplexação dos sinais foi o fato do número de canais serem 33, um canal a mais que 32 (número que nos dá um inteiro como resposta quando aplicado a um logaritmo na base 2: 5). Desta forma, optou-se por tratar o sensor de temperatura do ambiente, o trigésimo terceiro canal de forma independente dos demais. Ou seja, o sensor de temperatura ambiente implementado não passará pelo circuito de multiplexação dos canais, indo diretamente para o circuito de condicionamento, CI INA129, e conseqüentemente uma entrada analógica do microcontrolador.

Logo, como se utilizou-se uma porta analógica para a tensão da bateria e uma segunda para o sensor de temperatura ambiente, restaram apenas 6 entradas analógicas para os 32 perfis de temperatura restantes à se acompanhar. A solução encontrada foi a utilização de CI multiplexadores. Esses componentes tem a função de permitir entradas múltiplas de sinais e seguindo uma ordem binária de comando, selecionar qual dos canais de entrada deve ser espelhado na sua saída única. Para a aplicação, o elemento utilizado é o DG 485 que é um multiplexador de 8 canais analógicos independentes (figura 29).

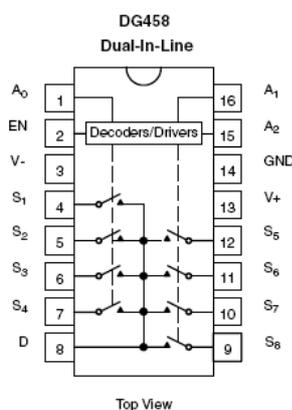


Figura 29 – Vista superior do componente multiplexador

Assim, pôde-se com a utilização de 4 CIs deste, compilar os 32 canais de temperatura das superfícies dos OPCs em 4, número compatível com a quantidade de portas analógicas disponíveis. Esta estratégia também foi a responsável pela utilização de apenas 5 circuitos integrados para condicionamento do sinal dos sensores de temperatura, já que caso contrário, seriam necessários o mesmo número de sensores.

Para comandar a seleção de qual canal deseja-se direcionar para a porta do dispositivo, foi-se necessário disponibilizar três portas do controlador. Essas saídas são comuns aos quatro multiplexadores.

5.1.5. Comunicação *wireless*

Para haver o completo fluxo das informações coletadas pelos sensores e armazenadas no *hardware* do transportador é necessário que exista um *link* entre as duas placas. Logo, como o *hardware* do *carrier* está em constante movimento, não se pôde utilizar fios como meio físico para essa comunicação. A solução então implementada foi a comunicação *wireless*.

A principal preocupação com este tipo de transmissão utilizada foi com o ambiente em que ela estará transmitindo os dados, já que, durante o processo, a placa do transportador está praticamente impossibilitada de se comunicar via o ar, devido à já comentada espessura do túnel de produção.

Como a comunicação se dá em duas vias, ou seja, ambas as placas necessitam enviar e receber informações da outra, foi-se necessário implementar módulos de RF com a configuração *full duplex*, ou seja, capazes de enviar e receber dados.

Há ainda, uma preocupação extra com a tensão de alimentação, envio e recepção deste módulo, uma vez que sua alimentação é de 5 V, superior aos 3,3 V do microcontrolador utilizado.

5.1.6. Alimentação do *hardware*

A alimentação do *hardware* do *carrier* é feita por uma bateria de 9 V. Comumente identificada como “pilha quadrada” essa bateria fica responsável

por suprir toda a demanda de energia da placa. A implementação desta bateria se deve pela não possibilidade de utilizar a alimentação da rede elétrica, uma vez que o *hardware* está em constante movimento embarcado no transportador.

Para à alimentação dos componentes (exceto o microcontrolador) da placa, que precisam de uma tensão de 5 V, foi-se utilizado o regulador de tensão 7805 que limita a tensão no seu pino de saída para os necessários 5 V. E, para alimentação do microcontrolador foi-se implementado um diodo zener para segurar a tensão em 3,3 V, tensão de alimentação e para entradas do mesmo.

Por não ser uma fonte de energia normalmente inesgotável, foi-se projetado, como já explicado anteriormente, um indicador de status da bateria, que é baseado em um divisor de tensão e à aplicação desta tensão compatível à tensão da bateria em uma porta analógica do MSP430F149.

5.1.7. Esquemático da placa do *carrier*

Na figura abaixo (figura 30) segue o esquema dos circuitos que compõem o *hardware* do transportador.

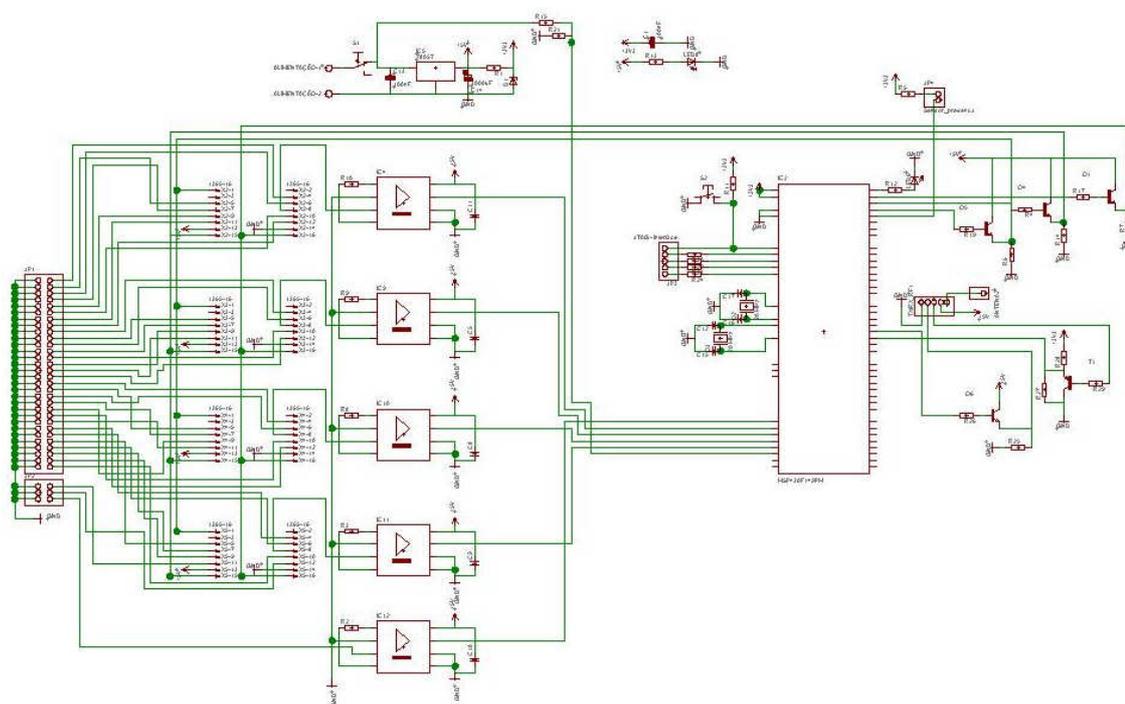


Figura 30 – Esquemático do *hardware* do *carrier*

5.2. Projeto do *Hardware* da estação

Muito parecido com o *hardware* do *carrier*, a placa da estação também foi desenvolvida com base na tecnologia SMT. Dentre outras das muitas relações entre os dois *hardwares*, há nesse projeto também a mesma preocupação em informar o status do mesmo para a engenharia e a foco na redução de custo e tamanho.

Diferentemente do primeiro projeto, a placa da estação não precisa estar protegida contra altas temperaturas, já que ela não está exposta ao processo dos fornos que a anterior está submetida. Ela ficará em uma posição fixa e não embarcada, à temperatura ambiente, próxima ao micro computador que acompanha o processo. Essa proximidade se dá, pois além da comunicação com o *hardware* embarcado, essa placa também tem uma ligação física com a porta paralela do computador, pela qual ela transferirá todas as informações recebidas via *wireless*.

O objetivo deste elemento do projeto é recepcionar os dados de temperatura de forma organizada e encaminhá-los para o *software* supervisor instalado no computador do processo. Sem o mesmo, todo o trabalho e energia gasta para medir e armazenar os dados de temperatura da primeira placa não teria sentido, pois não iria conseguir ser exposta no ambiente correto para ser interpretada pela engenharia da empresa.

Em forma de diagrama de blocos (figura 31), este *hardware* possui a função de receber os dados transmitidos via RF pela placa do *carrier* e encaminhá-los para o computador, isso possibilitado pelos seus circuitos de alimentação, interface e configuração dos seus dispositivos.

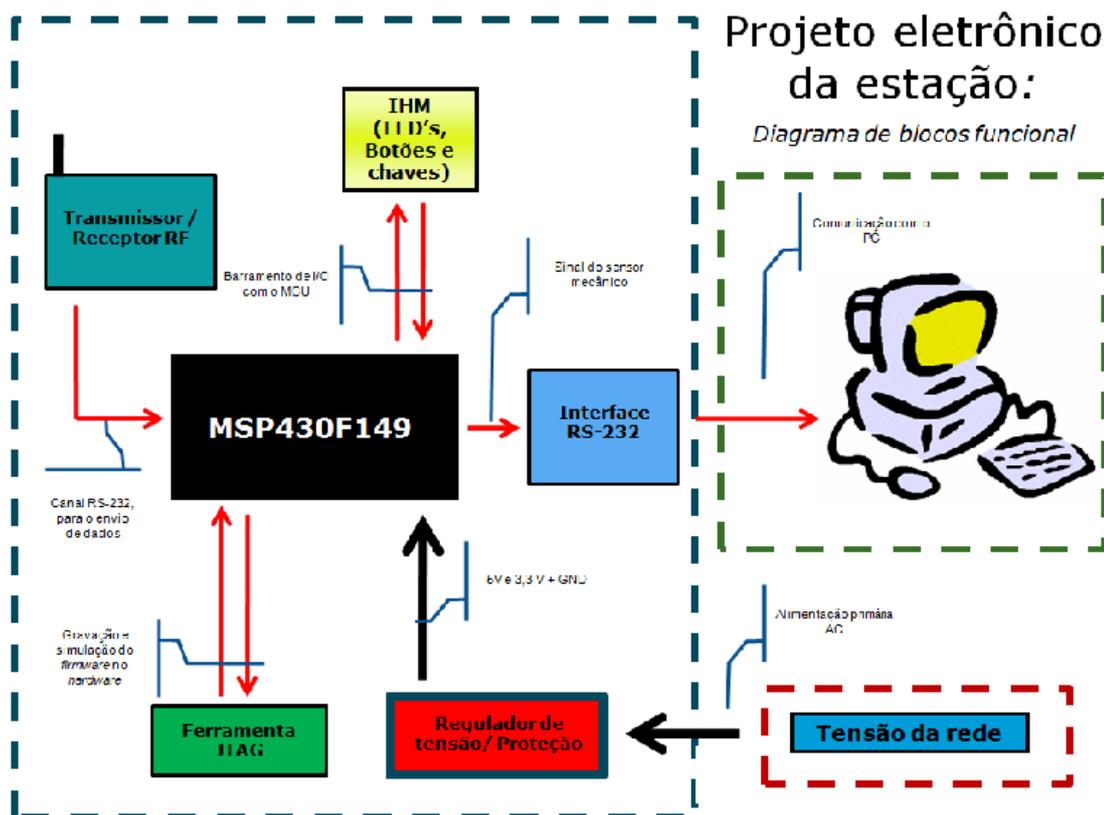


Figura 31 – Diagramas de blocos do *hardware* da estação

5.2.1. Interface: Engenharia X *Hardware* da estação

Assim como no projeto eletrônico do transportador, a placa do estação também possui interface de LEDs com o seu usuário, a engenharia da empresa. Da mesma forma, também foram implementados nessa placa o LED de alimentação – responsável por informar a correta alimentação do dispositivo, e o LED de programação – responsável por informar que o programa está funcionando conforme programado (para o correto funcionamento desta interface é necessário que haja a ação de ligar este dispositivo na programação do microcontrolador, conforme explicado na subseção de Interface do *hardware* do transportador).

Como diferença de interfaces entre os dois componentes, o *hardware* da estação não necessita informar o seu status de bateria, uma vez que ele utiliza a própria alimentação da rede, não sendo autônomo.

5.2.2. Comunicação com o Supervisório

A comunicação com o computador do processo é o último estágio do caminho dos dados captados pelos sensores. A meio utilizado será a porta paralela do microcomputador, facilidade encontrada já que a placa da estação ficará fixa em uma única posição. Para essa comunicação, serão utilizados quatro canais de envio de dados da placa da estação, e dois canais para controle, sendo um entrada para o microcontrolador e o segundo saída do mesmo.

5.2.3. Comunicação *wireless*

Assim como na placa do transportador, o *hardware* da estação também possui o módulo para comunicação RF. Da mesma forma, esse módulo está configurado para receber na frequência de envio dos dados do módulo do *hardware* anterior e enviar na frequência de recepção.

5.2.4. Alimentação do *hardware*

A alimentação do hardware da estação diferentemente do embarcado se dará diretamente da rede de energia. Por estar fixa em seu local de trabalho, a placa não necessitará ser alimentada com baterias diminuindo a preocupação dos clientes do projeto com a sua reposição.

Ainda como outra vantagem, pode-se utilizar a placa nas tensões de 110 V ou 220 V, atentando-se para a configuração do transformador indicada no *plug* do *hardware* que deve ser colocado na tomada. Essa preocupação é extremamente vital para o funcionamento da placa na hora de energizá-la, caso contrário, podê-se ocorrer a queima dos seus componentes por serem expostos s tensões não esperadas.

Assim como o anterior, também existe os componentes que necessitam de 5 V e 3,3 V, e por isso, também foram implementado esses circuitos.

5.2.5. Esquemático da placa da estação

Na figura abaixo (figura 32) segue o esquema dos circuitos que compõem o hardware da estação.

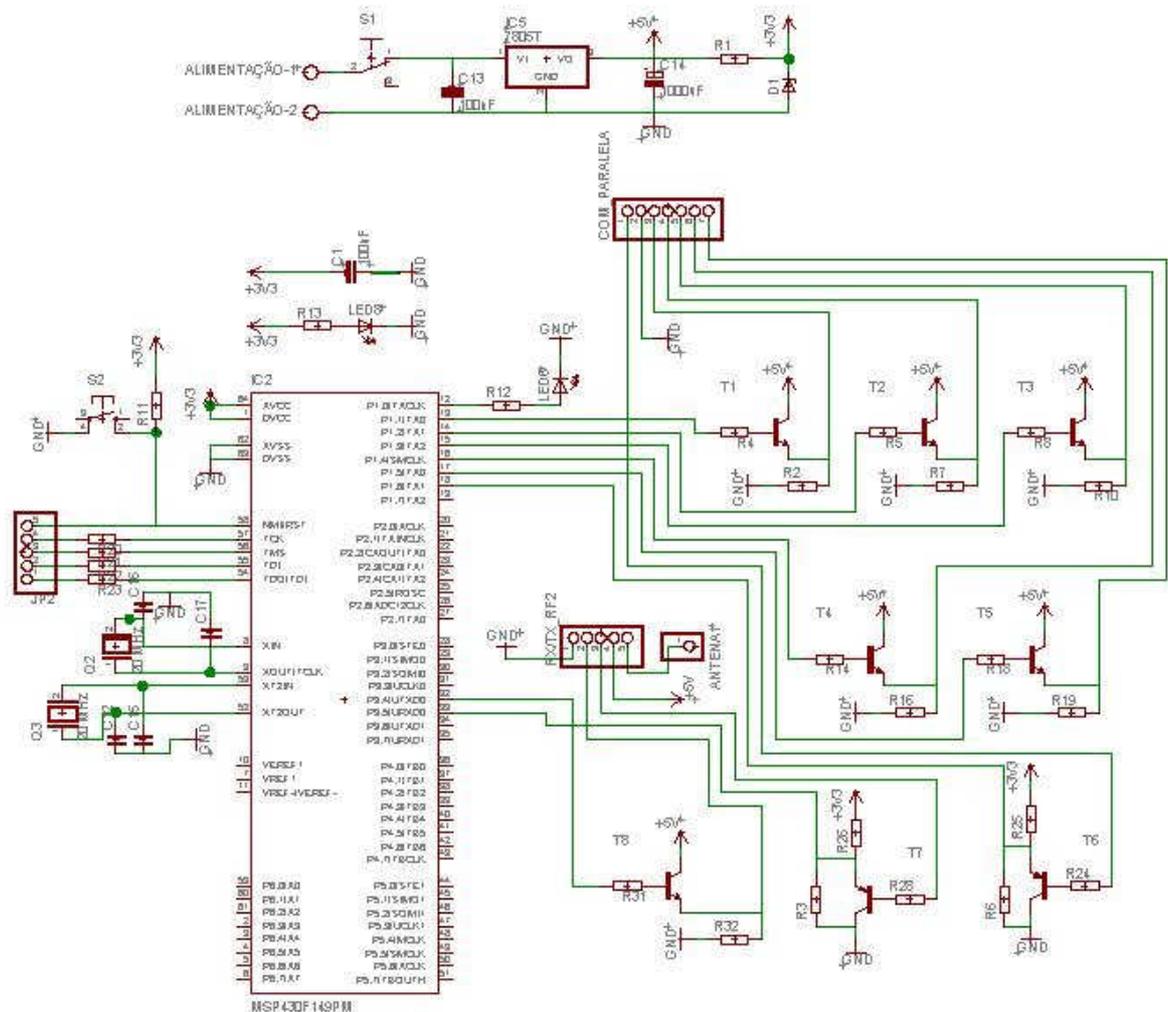


Figura 32 – Esquemático do hardware da estação

6. Conclusões

Impactos do projeto

Dentre os principais tipos de impactos que gerou-se e espera-se ainda gerar com esse trabalho estão os impactos tecnológicos, econômicos e sociais.

Impactos Tecnológicos

O projeto desenvolvido trará muitos impactos tecnológicos ao processo produtivo do OPC da XENOR. Dentre os principais, a empresa passará a poder ter acesso à lógica de funcionamento do seu dispositivo de armazenamento dos valores, deixando o mesmo de ser uma caixa preta para a empresa. Além disso, será então desnecessária a transferência dos dados de temperatura que é realizada com o auxílio do homem, estando os dados já disponíveis no supervisor para serem analisados. Os impactos tecnológicos são todos reflexos dos processos de automação do sistema de medição.

Impactos Econômicos

A adoção do projeto pela Xerox trará impactos econômicos como consequência da redução de perdas dos produtos e tempo na produção. Com o acesso mais preciso aos valores de temperatura da superfície dos OPCs, a empresa poderá ter um maior controle de qualidade na produção e terá menos perdas de produto. Isso se dará, pois com o sistema proposto além da medição poderá ocorrer durante os processos de banhos, não mais será necessário a abertura das câmaras para colocar o "Mole".

Já com a não mais necessidade de parar o processo para fazer a medição de temperatura, a produção consegue reduzir seu tempo de verificação de falhas. E, quanto menor o tempo em que não se está com a linha parada, maior a quantidade de produtos se consegue fabricar e logo, mais lucros.

Impactos Sociais

Já os impactos sociais são reflexo da aplicabilidade do sistema desenvolvido. Pois, uma vez que implementado na Xerox Nordeste e bem

sucedido, este projeto possui o potencial de ser também implementado nas demais linhas de produção de OPC da empresa espalhadas pelo mundo.

Assim, a solução terá sido capaz de promover a integração de diversas áreas do conhecimento da mecatrônica e ainda ser aplicável sob diversas culturas diferentes.

Premiação INOVA SENAI

Reflexo dos impactos gerados pelo projeto, o mesmo foi classificado como um dos principais Produtos Inovadores gerados por alunos do SENAI em todo o Brasil. Essa qualificação, o permitiu a participação na Mostra INOVA SENAI que foi realizada entre os dias 9 a 15 de Junho do ano de 2008 na cidade de Blumenau, SC – Brasil.

Para esse evento foram selecionados os 30 melhores Produtos ou Processos Inovadores desenvolvidos ou por alunos ou por docentes de todos os departamentos regionais do SENAI Brasil. Entre os principais itens avaliados que credenciaram os projetos para a Mostra estavam: Aplicabilidade, criatividade na solução, impactos do projeto e tecnologias utilizadas.

Limitações do projeto

Por ser um projeto desenvolvido para um fim específico, o mesmo apresenta um grande limitação na sua aplicabilidade. Visualizado de forma completa (Solução mecânica e de sensoriamento, mais o projeto e simulação do *hardware* e o desenvolvimento dos *firmwares*) o mesmo é aplicável apenas para as linhas de produção dos OPCs. Esta limitação é fruto do nascimento do projeto ter sido uma demanda industrial, partindo a idéia do cliente, e não dos desenvolvedores.

Por outro lado, o projeto aqui explicado (Projeto e simulação do *hardware*) pode ser utilizado para todas as aplicações que possuam a necessidade de captar e direcionar um grande número de informações de um sensor de temperatura.

Atividades futuras

Por já ter sido aprovado como projeto pela empresa que o demandou, os próximos passos para o trabalho é o desenvolvimento de protótipos para que possam ser testados e ajustados às condições não mais teóricas, porém reais do processo. Após a construção e validação do modelo, serão então realizadas a fabricação das partes mecânicas do projeto, a montagem das partes eletrônicas e a instalação dos softwares desenvolvidos nos dispositivos da empresa.

Espera-se com esse trabalho atingir todas as expectativas da Xerox referentes à parte de *hardware* que compõe o projeto de um dispositivo de medição de temperatura automatizado.

Referências

ARANHA NETO, E. A. C.. **Solda Estanho-Chumbo – Aplicações na Eletrônica**. UFPR – Universidade Federal do Paraná, Paraná 2006.

Arrow Brasil S/A – Comerciante de produtos eletrônicos (2007). Disponível em: http://www.arrowbrasil.com.br/txt_msp430.htm (Acesso em 20 de Dez. 2007).

BALCH, Mark. **Complete Digital Design – A Comprehensive Guide to Digital Electronics and Computer System Architecture**. The McGraw-Hill Companies, United States, 2003.

BALL, R., BURDOCK W. **Cost Effective EMC Design – Background Study**. Advanced Technology Centre, University of Warwick, UK – United Kingdom. 2000.

CARVALHO, Anderson A. M. **Projeto de um Dispositivo de Medição de Temperatura Automatizado aplicado à Estação de Tratamento Superficial da XEROX – Desenvolvimento dos Firmwares**. Faculdade de Tecnologia SENAI/CIMATEC, Bahia, 2008.

CUTRI, Rodrigo. **Técnicas de Projeto de Compatibilidade Eletromagnética (CEM) no desenvolvimento de Placas de Circuito Impresso**. Instituto Mauá de Tecnologia, São Paulo, 2005.

FARIA, Thiago H. D. de. **Introdução aos Microcontroladores**. Departamento de Sistemas Eletrônicos – PSI/EPUSP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

JORDÃO, Dácio de M., **Manual de Instalações Elétricas em Indústrias Químicas, Petroquímicas e de Petróleo – Atmosferas Explosivas**, 3ª edição, Qualitymark Editora, Rio de Janeiro, Brasil, 2007.

THEOPRAX (2005). Disponível em: <http://www.theoprax.com/> (Acesso em 14 de Out. 2007).

MONTROSE, Mark I. **Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance – A Handbook for Designers**, Wiley-Interscience-IEEE, 2ª Edição, United States of America, New York, 2000.

NFPA – National Fire Protection Association, **NEC – National Electrical Code 1981**, 41ª edição, Massachusetts, Estados Unidos da América, 1981.

Omega Automation Products – Dataloggers. Disponível em: www.omega.com (Acesso em 25 de Nov. 2007).

OLIVEIRA, A. S. de, ANDRADE, F. S. de. **Sistemas Embarcados – Hardware e Firmware na Prática**. Editora Érica 1ª Edição, São Paulo, 2006.

OLIVEIRA, Djalma de P. R., **Planejamento Estratégico – Conceitos, metodologias e práticas**. Editora Atlas S.A. 12ª Edição São Paulo, 1998.

PEREIRA, Fábio, **Microcontroladores MSP430 – Teoria e Prática**. Editora Érica Ltda 1ª Edição, São Paulo, 2005.

RABAK, Cesar Scarpini. **Otimização do processo de inserção automática de componentes eletrônicos empregando a técnica de times assíncronos**. Escola Politécnica da USP, São Paulo 1999.

SILVA, Matheus de O. **Projeto de um Dispositivo de Medição de Temperatura Automatizado aplicado à Estação de Tratamento Superficial da XEROX – Solução Mecânica e de Sensoriamento**. Faculdade de Tecnologia SENAI/CIMATEC, Bahia, 2008.

Texas Instruments – MSP430 (2007). Disponível em: http://www.ti.com/sc/brasil/ws_msp430.htm (Acesso em Dezembro, 2007)

TOCCI, Ronald J., WIDMER, Neal S. **Sistemas Digitais – Princípios e Aplicações**. Pearson Prentice Hall, 8ª Edição São Paulo, 2005.

Xerox do Brasil – Sobre a Xerox. Disponível em: <http://www.xerox.com> (Acesso em 14 de Out. 2007).