

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA – ITEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EDSON FARIAS DE OLIVEIRA

OTIMIZAÇÃO DO TEMPO DE TESTE FUNCIONAL
DE PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO MONTADA
PARA COMPUTADOR PESSOAL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

BELÉM - PA
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA – ITEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA

OTIMIZAÇÃO DO TEMPO DE TESTE FUNCIONAL
DE PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO MONTADA
PARA COMPUTADOR PESSOAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica com ênfase em Processos Industriais.

EDSON FARIAS DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: PROF. CLAUDIO JOSÉ CAVALCANTE BLANCO, Ph.D.

BELÉM - PA
2012

O46o Oliveira, Edson Farias de

Otimização do tempo de teste funcional de placa de circuito impresso montada para computador pessoal / Edson Farias de Oliveira; orientador, Cláudio José Cavalcante Blanco.-2011.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2011.

1. Circuitos impressos – testes. 2. Controle de processo – custos. 3. Logística empresarial. 4. Controle de processo – automação.I. orientador. II. título.

CDD 22. ed. 621.381531

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA – ITEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EDSON FARIAS DE OLIVEIRA

Título: Otimização do tempo de teste funcional de placa de circuito impresso montada para computador pessoal

DEFESA DE MESTRADO

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Elétrica na área de concentração em Processos industriais do programa de pós-graduação Strictu Sensu em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará – ITEC - UFPA**

Belém – PA, 13 de janeiro de 2012

Prof. Dr. José Antônio da Silva Souza – UFPA
Coordenador do CMPPI

BANCA EXAMINADORA

Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D. – UFPA
Orientador

Prof. Dr. José Antônio da Silva Souza – UFPA
Membro

Prof. Dr. Roberto Célio Limão de Oliveira – UFPA
Membro

DEDICATÓRIA

A DEUS, Inteligência Suprema e Causa Primária de todas as coisas.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Pará – UFPA

O Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM

Ao Instituto de Tecnologia José Rocha Sérgio Cardoso – ITJC

Aos professores Dr. Claudio José Cavalcante Blanco e M.Sc. Jandecy Cabral
Leite,
pela orientação e condução durante todo o curso

Aos amigos Carlos Freitas, Haroldo Melo e João Carlos,
pelo incentivo para conclusão do curso.

Aos colegas do ITJC que contribuíram para esse trabalho.

Aos colegas e todos os professores que contribuíram com o curso

À minha mãe Maria Auxiliadora Farias de Oliveira,
que sempre me incentivou.

À minha querida esposa Lucilene e minhas filhas Luciana e Ellen,
pelo amor, apoio e compreensão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Diagrama funcional de um computador digital	24
Figura 2-	Placa de Circuito Impresso Montada para Computador Pessoal	26
Figura 3-	Processo de Montagem em Superfície SMT	27
Figura 4-	Processo de aplicação de pasta de solda	28
Figura 5-	Componente SMD montado e soldado	28
Figura 6-	Perfil Térmico do forno de refusão	29
Figura 7-	Componente PTH (adaptado de FUSE Network)	30
Figura 8-	Processo de Montagem Manual	31
Figura 9-	Máquina de Solda em Onda (SMD-ON-LINE)	32
Figura 10-	Custos da Qualidade	34
Figura 11-	Custo de Diagnóstico e Reparo (TERADYNE Test Strategies)	36
Figura 12-	Estudo sobre a subjetividade na inspeção manual (cortesia AT&T)	38
Figura 13-	Equipamentos de Teste usados no Processo Produtivo	40
Figura 14-	Inspeções e testes	42
Figura 15-	Algumas alternativas de teste (ASSET in Board Test Strategies)	42
Figura 16-	Cama de prego e Equipamento MDA	43
Figura 17-	Jig Aparelho e Rack PXI	46
Figura 18-	Emulador Micro Master (ASSET in Boards Test Strategies)	46
Figura 19-	Cobertura de Teste	48
Figura 20-	Fluxograma do método convencional de cronoanálise	57

Figura 21-	Dispositivo de teste individual	59
Figura 22-	Postos de testes funcionais separados	60
Figura 23-	Postos de testes funcionais unificados	61
Figura 24-	Fluxo de informações do CapMov	62
Figura 25-	Tela Inicial do Sistema de Captura de Movimentos	63
Figura 26-	Gráfico gerado pelo sistema de captura de imagens	64
Figura 27-	Dispositivo para teste em duas placas independentemente	67
Figura 28-	Teste com duas placas avaliado pelo sistema de captura de imagens	68
Figura 29-	Estrutura do Sistema de Rastreabilidade (SRP)	69
Figura 30-	Fluxograma da aplicação de teste em Linux	70
Figura 31-	Conexão através de Agulhas de Teste	71
Figura 32-	Vistas frontal e traseira do jig de teste	72
Figura 33-	Vista lateral traseira do jig de teste	72
Figura 34-	Dispositivo eletro-pneumático	73
Figura 35-	Quadro resumo com os tempos em cada proposta	74
Figura 36-	Quadro resumo com evolução da produção e postos	74
Figura 37-	Quadro do custo anual com o teste	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Comparativo entre os métodos convencional e com sistema de captura	65
Tabela 2-	Tempo de teste individual com SO Windows	66
Tabela 3-	Levantamento dos tempos para teste com Linux	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PIM	Pólo Industrial de Manaus
MB	Mother Board (Placa Mãe)
PC	Personal Computer (Computador Pessoal)
IBL	Instituto Brasil Legal
FIERGS	Federação das Indústrias do Rio Grande do Sul
ITEGAM	Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia
ITJC	Instituto de Tecnologia José Rocha Sérgio Cardoso
UFPA	Universidade Federal do Pará
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
SUFRAMA	Superintendência da Zona Franca de Manaus
ZFM	Zona Franca de Manaus
PPB	Processo Produtivo Básico
SMT	Tecnologia de Montagem em Superfície
PCI	Placa de Circuito Impresso
PTH	Pino Através do Furo
SMD	Dispositivo de Montagem em Superfície
BGA	Componente com terminais em forma de bolas alinhadas em grade
LGA	Componente com muitos terminais em forma de bolas alinhadas em grade
BST	Tecnologia de Teste Boundary Scan

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo	15
1.1.1	Objetivos específicos	15
1.2	Motivação	15
1.3	Metodologia científica	17
1.3.1	Caracterização da pesquisa	17
1.4	Estrutura da dissertação	19
2	PROCESSO PRODUTIVO BÁSICO	21
2.1	Zona Franca de Manaus (ZFM)	21
2.2	Processo Produtivo Básico (PPB)	22
2.3	Placa de Circuito Impresso Montadas para computadores pessoais.....	23
2.3.1	Placa Mãe Montada	25
2.4	PPB para Placas de Circuito Impresso Montadas para computadores pessoais	26
2.4.1	Processo com Tecnologia de Montagem em Superfície (SMT)	26
2.4.2	Processo com Tecnologia de Inserção em Furo (PTH)	30
3	SISTEMA DE INSPEÇÃO E TESTE	33
3.1	Custos da Qualidade	33
3.2	Inspeção	37
3.2.1	Inspeção Visual Manual (IVM)	37
3.2.2	Inspeção Ótica Automática (IOA)	39
3.2.3	Inspeção de Raio- X Automática (IRXA).....	41
3.3	Teste	41
3.3.1	Teste Estrutural com ADM	43
3.3.2	Teste Estrutural com TNC.....	44

3.3.3	Teste Estrutura com BST	45
3.3.4	Teste Funcional	45
3.3.5	Teste Funcional com Emulação via CPU	46
4	OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO	49
4.1	Tempos e Métodos	50
4.2	Cronoanálise	51
4.3	Cronometragem	51
4.3.1	Crítérios para cronometragem	52
4.3.2	Terminologia na cronometragem	52
4.3.3	Equipamentos para o estudo de tempos	56
4.3.4	Método convencional de cronoanálise	57
4.4	Produtividade	58
4.4.1	Como Melhorar a Produtividade	58
5	ESTUDO DE CASO	59
5.1	Situação Inicial	59
5.2	Primeira Otimização – Unificação dos testes	61
5.3	Sistema de Captura de Imagens	62
5.3.1	Método através do Sistema de Captura de Imagens	62
5.3.2	Comparativo	65
5.4	Segunda Otimização – Testes duplos	66
5.5	Terceira Otimização – Sistema de Teste em Linux	68
5.6	Quarta Otimização – Sistema semi-automático	71
5.7	Resultados	73
5.7.1	Evolução da produção e dos postos	74
5.7.2	Impacto nos custos	75
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
6.1	Conclusões	77
6.2	Proposta para trabalhos futuros	77
	REFERÊNCIAS	79

RESUMO

O aumento da competitividade entre as empresas do mesmo segmento, tem tornado cada vez mais importante a constante otimização dos processos para em consequência reduzir os custos de fabricação. O objetivo deste trabalho é avaliar os tempos envolvidos na fase de testes funcionais de placas MBs produzidas em uma empresa do Pólo Industrial de Manaus e propor melhorias que levem a otimização dessa fase. As ações desenvolvidas com relação às otimizações proporcionaram o desenvolvimento de um sistema para captura de imagens para melhoria da análise dos tempos ociosos e o desenvolvimento de dispositivos para os testes, bem como o sistema de teste proprietário com base em sistema Linux em substituição ao sistema anterior que dependia dos parceiros estrangeiros. Os ganhos percentuais com o projeto foram apresentados em quatro propostas de otimização, sendo a primeira com a unificação dos testes, a segunda com o teste sendo realizada em duas placas independentemente, a terceira com a substituição do sistema de teste anterior pelo sistema proprietário e por fim a automação do dispositivo de teste, onde foi demonstrado ganho em cada uma das propostas apresentado. Os resultados obtidos após a aplicação de cada proposta foram positivos e reforçam a necessidade da aplicação de metodologias científicas aliadas à criatividade para se obter a otimização em qualquer fase do processo produtivo e fecha-se o trabalho, sugerindo idéias para futuros aperfeiçoamento do sistema já otimizado.

Palavras-chave: otimização, teste funcional, processo produtivo, Pólo Industrial de Manaus

ABSTRACT

Increased competitiveness among the peer group has become increasingly important to the constant optimization of processes to consequently reduce manufacturing costs. The objective of this study is to assess the time involved in the functional testing phase of MBs produced in a company of the Industrial Pole of Manaus and propose improvements that lead to optimization of this phase. The actions taken with respect to optimizations led to the development system for capturing images to improve the analysis of downtimes and development of devices for testing, as well as the proprietary test system based on Linux to replace the previous system which relied of foreign partners. The percentage gains in the project was presented in four optimization proposals, the first being with the unification of the tests, the second with the test being performed on two board, the third with the replacement of the previous test by the system owner and end automation of the test device, which was demonstrated gains in each of the proposals. The results obtained after implementation of each proposal were positive and reinforce the need to apply scientific methods combined with creativity to achieve the optimization at any stage of the production process and closes the work suggesting ideas for future improvement of the system already optimized.

Keywords: optimization, functional testing, production process, the Industrial Pole of Manaus

1 INTRODUÇÃO

Os últimos acontecimentos e a globalização da economia têm feito com que empresas no mundo todo, e especialmente no Brasil, procurem de todas as formas a redução de custos seja no produto seja no processo. Esse cenário tem proporcionado uma competitividade entre as empresas para que as mesmas coloquem no mercado produtos com preços cada vez menores e com qualidade cada vez maior.

Quando se analisa essa situação tendo como foco as indústrias instaladas no Pólo Industrial de Manaus (PIM), essa redução e competitividade são traduzidas em aumento de eficiência, redução de tempo, automação e otimização de processos.

Se forem feitas restrições a produtos de informática, essas exigências são ainda mais importantes. A indústria de informática possui dois vetores fundamentais responsáveis pela sua evolução, sendo o primeiro o aumento de processamento dos produtos e o segundo o custo reduzido a cada nova geração de produto. O primeiro caso será desconsiderado, pois não é o objetivo desse trabalho e, além disso, depende do desenvolvedor dos produtos e estes na maioria dos casos estão fora do PIM, no entanto, no segundo vetor, onde a indústria local é bastante desenvolvida e o foco de seus profissionais está voltado para a melhoria do processo produtivo, com certeza será preciso trabalhar no processo para conseguir essa redução.

Nesse trabalho foi estudado um caso de uma indústria de produtos de informática, onde se teve como foco, a otimização do processo de teste funcional de uma placa de circuito impresso montada para computadores pessoais (PC). Será considerada a situação atual dos testes funcionais realizados, serão estudados e avaliados os tempos e serão propostas melhorias para se chegar à otimização.

1.1 Objetivo

O objetivo geral desse trabalho foi otimizar a atividade do teste funcional de placas de circuito impresso montada para computadores pessoais, a partir de melhorias tendo como base observações no processo de realização dos testes.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Identificar onde estão os tempos improdutivo;
- Reduzir ou eliminar os tempos improdutivo;
- Identificar atividades manuais que possam ser substituídas por atividades mecânicas automáticas ou semi-automáticas;
- Substituir o sistema atual de teste por outro mais rápido sem reduzir a cobertura de teste;
- Desenvolver um dispositivo de teste funcional com conexões mecânicas em substituição ao sistema atual que utiliza atividades manuais;
- Propor a implementação de processo de atividades de testes funcionais a partir da de estudos dos elementos de cada operação;

1.2 Motivação

A indústria de informática tem sido de fundamental importância para o desenvolvimento do país, principalmente no que se refere o aumento de inclusão digital, no entanto segundo DEZEM (2009), o Instituto Brasil Legal (IBL) apesar de apontar o decréscimo da quantidade de produtos de informática contrabandeadas entre 2004 (74%) e 2007 (30%), mostra que em 2008 houve um aumento de 5% nesse nível passando para 35%.

Justifica-se o decréscimo desses índices de produtos contrabandeados com a iniciativa do governo federal de reduzir impostos para produtos de informática através do programa “Computador Para Todos”, além da entrada de indústrias brasileiras nesse mercado em particular. Para o retorno desse aumento, é necessário concordar com o diretor do IT Data, Ivair Rodrigues

citado por DEZEM (2009), que afirma que “com a crise e a alta do dólar, os produtos de informática ficaram mais caros, tanto para os fabricantes, quanto para os importadores. Isto, é claro, estimula o comércio ilegal”.

Com a visão desses problemas relacionados com o encarecimento dos produtos de informática e o aumento do comércio ilegal, é que foi proposta essa dissertação de mestrado. Visando à otimização da fase de teste funcional de placas de circuito impresso montada, o que consequentemente levará a um custo menor desse tipo de produto.

Além dessa preocupação com o aumento de produtos de informática de forma ilegal, infelizmente ainda existem opiniões de setores industriais como as do Grupo Temático de Informática/COINFRA da Federação da Indústria do Rio Grande do Sul (FIERGS) que afirma que “em Manaus, as empresas são meras montadoras, não investem em desenvolvimento”, o que não correspondem com a realidade das indústrias instaladas no PIM, pois muitas melhorias são implementadas pelas empresas de forma individual e também com parcerias com institutos de pesquisas e universidades, como o ITEGAM, ITJC e a UFPA, que trabalham com projetos de P&D e estão preocupados em fomentar o conhecimento tecnológico na Amazônia.

O Processo produtivo de placas de informática é dividido em várias fases. Dentre essas, existe a fase de testes funcionais onde o tempo-padrão é grande devido à quantidade de testes, tempos improdutivos e muitas atividades manuais como as conexões de placas e conectores.

Através de um levantamento prévio dos tempos, métodos e características dos testes realizados, acredita-se que se pode propor e implementar melhorias para redução dos tempos improdutivos e elaborar dispositivos mecânicos e eletro-pneumáticos, que possibilitem a otimização dos testes. Para isso será necessário expandir conhecimentos já existentes e adquirir novos sobre tempos e métodos, características técnicas e funcionais de placas mães e sistemas de testes, e buscar novas soluções para fases do processo que já funcionam atualmente. O suporte da UFPA, ITEGAM e do ITJC através de seus especialistas, mestre e doutores serão de fundamental importância nesse processo.

1.3 Metodologia científica

Para BAFFI (2011), uma das preocupações básicas dos pesquisadores, relacionada com as questões metodológicas de suas pesquisas, é a explicação sobre as características específicas dos procedimentos adequados, para a realização da pesquisa proposta. A palavra pesquisa, segundo PRESTES (2008), em sentido amplo designa o conjunto de atividades que visam descobrir novos conhecimentos independentes da área ou nível que for.

Nessa seção serão apresentados os procedimentos metodológicos adequados utilizados na presente pesquisa para se atingir os objetivos anteriormente citados.

1.3.1 Caracterização da pesquisa

Para a realização deste trabalho buscou-se base em SILVA & MENEZES (2001), que classificam as pesquisas do ponto de vista: da sua natureza, da forma de abordagem do problema, de seus objetivos e dos procedimentos técnicos.

Sob o ponto de vista da sua natureza, a presente pesquisa se caracteriza como aplicada, pois segundo SILVA & MENEZES (2001) objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Já para VERGARA (2010), a “pesquisa aplicada é fundamentalmente motivada pela necessidade de resolver problemas concretos, mais imediatos, ou não. Tem, portanto, finalidade prática, ao contrário da pesquisa pura, motivada basicamente pela curiosidade intelectual do pesquisador e situada, sobretudo no nível da especulação”. Tendo como base esses conceitos, o presente trabalho analisou a possibilidade de otimizar uma parte do processo produtivo de placas de circuito impresso montadas, ou seja, a fase de testes funcionais.

Esse trabalho, sob a ótica da forma de abordagem foi um misto de pesquisa quantitativa e qualitativa.

Quantitativa, segundo SILVA & MENEZES (2001), considera tudo que pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Nesse aspecto serão abordados

comparativamente os tempos normais e após propostas de otimização, chegando-se a demonstrar o ganho em termos numéricos.

Segundo SANTOS, ROSSI & JARDILINO (2000), a pesquisa qualitativa se preocupa fundamentalmente com a compreensão e interpretação do fenômeno, tendo como principal objetivo compreender, explorar e especificar um fenômeno que pressupõe a influência das crenças, percepções, sentimentos e valores nos dados coletados.

Do ponto de vista dos seus objetivos e procedimentos técnicos, GIL (2002) afirma que a pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assume, em geral, as formas de Pesquisas Bibliográficas e Estudos de Caso.

No presente trabalho na fase exploratória, inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema da pesquisa, a fim de verificar os trabalhos existentes na área e reunir material disponível sobre o tema. Identificou-se o contexto que gerou a necessidade das melhorias de processo produtivo de montagem de placas de circuito impressos para computador pessoal, e juntamente com os gestores da empresa, foi definido atuar na fase de testes funcionais, pois se apresentava como passível de ser otimizada e que representava um gargalo para o processo.

Foram identificadas diversas alternativas para implementação de melhorias através do conhecimento de literatura e experiência prévia dos pesquisadores e professores envolvidos no trabalho. Foram também enumeradas algumas alternativas de melhoria nas operações e processos. As melhores alternativas foram selecionadas, e foram planejadas as implementações das melhorias. Para tal, foi feita uma análise de tempo disponível, custo e benefício para auxiliar na decisão da escolha das melhores alternativas. O planejamento das melhorias foi baseado em cronograma conjuntamente fixado, observando prazos de todos os envolvidos para o bom andamento do projeto. A execução das melhorias foi realizada de forma

responsável e organizada, relatando resultados e buscando soluções para os eventuais problemas.

Após toda a análise e planejamento, procurou-se implementar as melhores sugestões de melhoria, onde se necessitou fazer alguns ajustes e mudanças com base nas avaliações dos resultados analisados nos postos de testes funcionais.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é composta de seis capítulos, estruturados conforme descrição a seguir.

No primeiro capítulo são apresentados o tema e a motivação, os objetivos a serem alcançados e o método para alcançar os objetivos. Este capítulo visa evidenciar os conceitos tratados neste trabalho.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o processo produtivo básico e o seu contexto com as indústrias implantadas no Pólo Industrial de Manaus, apresenta-se a placa de circuito impresso montada que será objeto do referido trabalho, todas as fases do processo desde a montagem dos componentes em máquinas, a montagem manual, os equipamentos envolvidos e as características de cada fase, envolvendo inclusive a fase de testes funcionais que é o foco principal desse trabalho.

No terceiro capítulo, apresenta-se a revisão bibliografia com referência aos variados tipos de inspeção e teste que podem envolver o processo produtivo de placas de circuito impresso montadas com ênfase em placas principais. Nesse capítulo, além de informações de autores consagrados que abordam o assunto, buscaram-se informações com fornecedores de equipamentos e na vivência da tecnologia utilizada na empresa em estudo.

No quarto capítulo, apresentam-se as bases técnicas relacionadas ao trabalho de otimização do processo.

No quinto capítulo, é finalmente apresentado o local onde o trabalho foi realizado, bem como as fases, análises e apresentações das melhorias sugeridas e implementadas.

No sexto capítulo, são apresentadas as conclusões sobre o referido trabalho indicando os resultados, as limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2 PROCESSO PRODUTIVO BÁSICO

Nesse capítulo é abordada a criação do modelo Zona Franca de Manaus, bem como o seu Pólo Industrial, de tal forma que o estudo de caso apresentado nesse trabalho fique claramente situado. Com o objetivo de entender a especificidade do trabalho foi apresentada detalhadamente cada fase do Processo Produtivo Básico para Placa de Circuito Impresso Montada.

2.1 Zona Franca de Manaus (ZFM)

Nas informações disponíveis sobre o surgimento da Zona Franca de Manaus, SUFRAMA (2011) menciona que a Zona Franca de Manaus (ZFM) foi idealizada pelo Deputado Federal Francisco Pereira da Silva e criada em 1957 como Porto Livre pela Lei Nº 3.173 de 06 de junho. Esse modelo segundo BOTELHO (2011) estava dentro do pensamento político “Integrar para não entregar” do governo militar brasileiro da época.

Ainda segundo BOTELHO (2011), nessa época, as atividades econômicas da região amazônica se concentravam em Belém, capital do Pará, a mais importante cidade da Amazônia à época. Sendo demonstrado, através de dados da extinta Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), que o Pará em 1964 recebeu 97,6% dos investimentos da região, enquanto o Amazonas recebeu apenas 2,4%.

Para tentar equilibrar essa situação e com a justificativa de cobiça internacional pela região amazônica, o governo federal através do decreto-lei 288/67 cria a Zona Franca de Manaus em 28 de fevereiro de 1967, estabelecendo incentivos fiscais por 30 anos para implantação de um pólo industrial, comercial e agropecuário na Amazônia. Foi instituído, assim, o atual modelo de desenvolvimento, que engloba uma área física de 10 mil km², tendo como centro a cidade de Manaus, estando baseado em Incentivos Fiscais e

Extrafiscais, instituídos com objetivo de reduzir desvantagens locacionais e propiciar condições de alavancagem do processo de desenvolvimento da área incentivada conforme informações da SUFRAMA (2011).

O modelo ZFM passou por cinco fases desde sua criação até os dias atuais. A primeira fase de 1967 a 1975, onde a política industrial caracterizava-se pela substituição de importações de bens finais e formação de mercado interno. A segunda fase que começa em 1975 e vai até 1990 tinha como ponto fundamental a fomentação da indústria de componentes no país, ou seja, a nacionalização dos componentes através do Índice Mínimo de Nacionalização. Na terceira fase que compreendeu o período de 1991 até 1996, teve como principal mudança a abertura da economia brasileira, cujas principais consequências foram o aumento de qualidade e eficiência das indústrias instaladas na ZFM, e substituição do Índice Mínimo de Nacionalização pelo Processo Produtivo Básico (PPB). A quarta fase que compreende os anos de 1996 a 2002, teve como principais características a introdução da exportação e criação de centros tecnológicos em busca da ampliação de competitividade tecnológica e de biotecnologia. A quinta fase corresponde o período de 2002 até os dias atuais e tem como pontos fundamentais o aumento da formação bruta de capital fixo, maior dispêndio do setor privado em pesquisa e desenvolvimento (P&D), e ampliação das exportações brasileiras, em especial, das micro e pequenas empresas.

Atualmente o Pólo Industrial de Manaus possui mais de 550 indústrias de alta tecnologia, gerando mais de meio milhão de empregos, diretos e indiretos. O Pólo Agropecuário abriga projetos voltados às atividades de produção de alimentos, agroindústria, piscicultura, turismo, beneficiamento de madeira, entre outros.

2.2 Processo Produtivo Básico (PPB)

Conforme Lei nº 8.387, de 30 de dezembro de 1991, o índice Mínimo de Nacionalização é substituído pelo Processo Produtivo Básico (PPB), que representa o conjunto mínimo de operações, no estabelecimento fabril, que caracteriza a efetiva industrialização de determinado produto.

O artigo 7º do Decreto-Lei n.º 288, de 28 de fevereiro de 1967, que regulamentou a Zona Franca de Manaus (ZFM), incorporou essa definição após a sua publicação. No entanto, somente em 1993 foram fixados os primeiros PPBs para diversos segmentos das indústrias da ZFM, através do Decreto nº 783, de 25 de março de 1993, que estabeleceu vários grupos de produtos através de quinze anexos dentre os quais: Relógios, Placas de Circuito Impresso Montadas, Produtos de Plástico e Isopor, Bens de Informática, Aparelhos de áudio e de vídeo, Veículos Automotores para Transporte de Mercadorias, Jipes, Bicicletas, Ciclomotores, Motocicletas e Motonetas.

A partir da publicação do Decreto n.º 783/93, os Processos Produtivos Básicos passaram a ser estabelecidos por meio de Portarias Interministeriais, atualmente assinadas pelos Ministros do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e da Ciência e Tecnologia (MCT), conforme disposição da Lei nº 10.176, de 11 de janeiro de 2001.

A Portaria Interministerial n.º 205, de 3 de dezembro de 2002, estabeleceu, através do artigo 1º, o Processo Produtivo Básico para PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO MONTADAS contendo as seguintes fases:

I – montagem e soldagem, ou processo equivalente, de todos os componentes nas placas de circuito impresso; e

II – configuração, gravação de programas de computador, quando aplicável, e teste.

2.3 Placa de Circuito Impresso Montadas para computadores pessoais

Segundo TOCCI (2003), um computador digital é uma combinação de dispositivos e circuitos digitais que podem realizar uma sequência programada de operações com mínima intervenção humana. Para os dispositivos e circuitos digitais, chama-se hardware, que para BRAGA (2010), é todo o equipamento, suas peças, ou seja, tudo o que "pode ser tocado". O software é a sequência programada, isto é, os programas e o sistema operacional.

Pode-se representar um computador digital por unidades funcionais que de acordo com TOCCI (2003) podem ser: unidade de entrada, unidade de

memória, unidade de controle, unidade lógica/aritmética e unidade de saída (Figura 1).

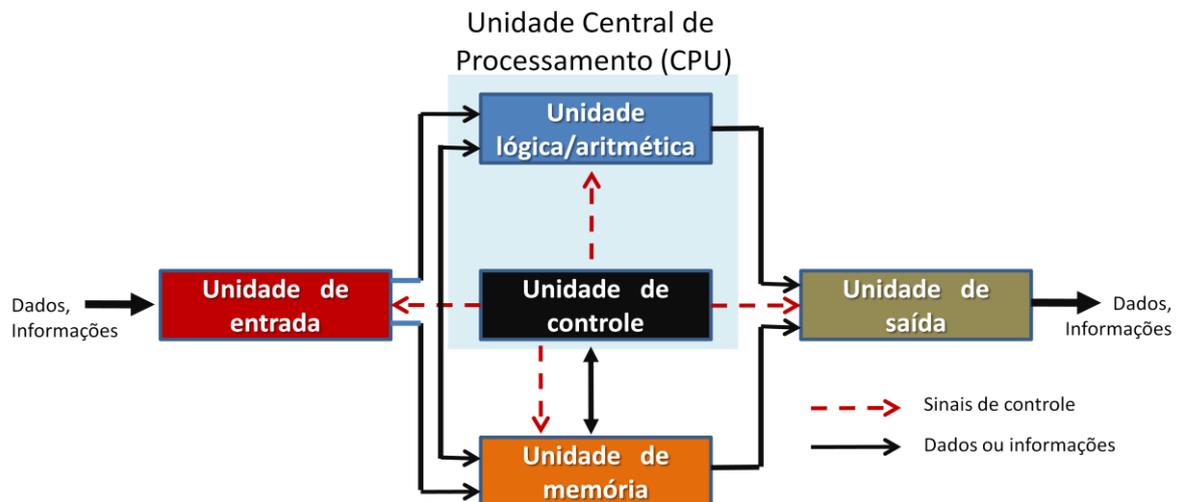


Figura 1 - Diagrama funcional de um computador digital

As principais funções de cada unidade são:

- **Unidade de entrada.** Por meio dessa unidade, um conjunto completo de instruções e dados são introduzidos na unidade de memória do sistema computacional para ser armazenado até o momento de serem utilizados. Uma informação entra pela unidade de entrada por um teclado, mouse ou por um disco.
- **Unidade de memória.** A memória armazena as instruções e os dados recebidos da unidade de entrada. Ela armazena o resultado de operações aritméticas recebidas da unidade aritmética e também fornece informações para a unidade de saída.
- **Unidade de controle.** Essa unidade busca, uma de cada vez, as instruções na unidade de memória para interpreta-las. Então, envia sinais apropriados para outras unidades de acordo com uma instrução específica a ser executada.
- **Unidade lógica/aritmética.** Todos os cálculos aritméticos e as decisões lógicas são realizados nessa unidade, que pode enviar resultados para serem armazenados na unidade de memória.

- **Unidade de saída.** Essa unidade recebe os dados da unidade de memória e imprime, exibe ou apresenta de qualquer outra maneira as informações ao operador (ou processa, no caso de um computador de controle de processo).

A placa de circuito impresso montada, da qual esse projeto faz referência, é a placa mãe de um computador pessoal do tipo desktop. Nesse capítulo serão apresentados os elementos que fazem parte desse tipo de produto, tendo em vista que para o desenvolvimento do referido projeto é fundamental compreender o funcionamento de cada elemento.

2.3.1 Placa Mãe Montada

Para BRAGA (2010), essa peça também pode ser interpretada como a "espinha dorsal" do computador, afinal, é ela que interliga todos os dispositivos do equipamento. Para isso, a placa-mãe (ou, em inglês, motherboard) possui vários tipos de conectores como se pode ver na Figura 2.

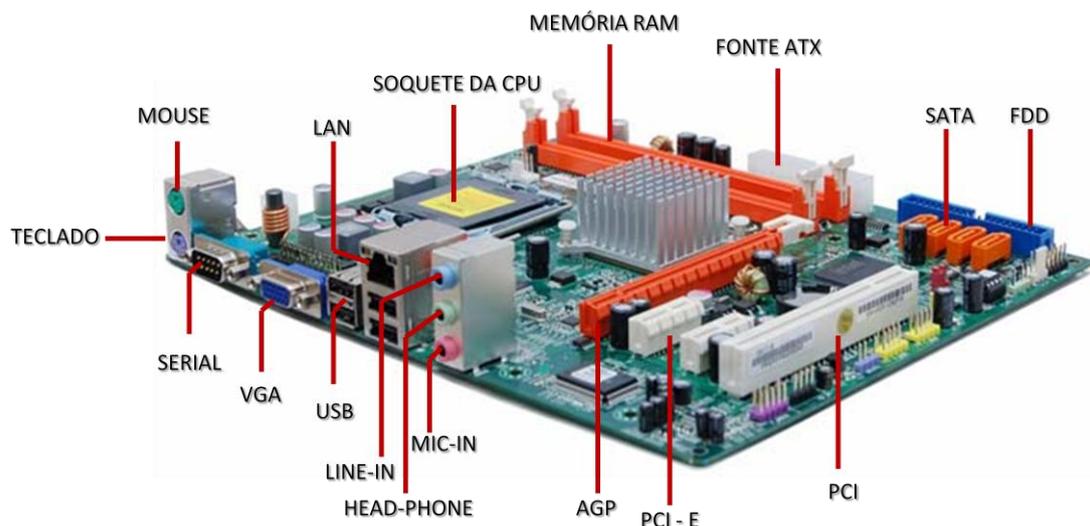


Figura 2 - Placa Circuito Impresso Montada para Computador Pessoal

O processador é instalado em seu soquete, o HD é ligado nas portas IDE ou SATA, a placa de vídeo pode ser conectada nos slots AGP 8x ou PCI-Express 16x e as outras placas (placa de som, placa de rede, etc) podem ser encaixadas nos slots PCI ou, mais recentemente, em entradas PCI Express (essa tecnologia não serve apenas para conectar placas de vídeo). Ainda há o conector da fonte, os encaixes das memórias, e as entradas e saídas dos periféricos como o mouse, teclado, serial, monitor VGA, LAN e USB.

2.4 PPB para Placas de Circuito Impresso Montadas para computadores pessoais

No referido trabalho foi observado o PPB para Placas de Circuito Impresso Montadas para computadores pessoais, onde essas fases se desdobram nas seguintes etapas.

2.4.1 Processo com Tecnologia de Montagem em Superfície (SMT)

Essa etapa do PPB corresponde à montagem e soldagem dos componentes com tecnologia de montagem em superfície, bem como as inspeções e testes estruturais.

A montagem em superfície possui duas tecnologias de montagem. A montagem utilizando adesivo, na qual a placa de circuito impresso precisará passar em equipamento de solda em onda e o processo usando pasta de solda onde o componente já é soldado através do derretimento da solda no forno de refusão conforme demonstra a Figura 3.

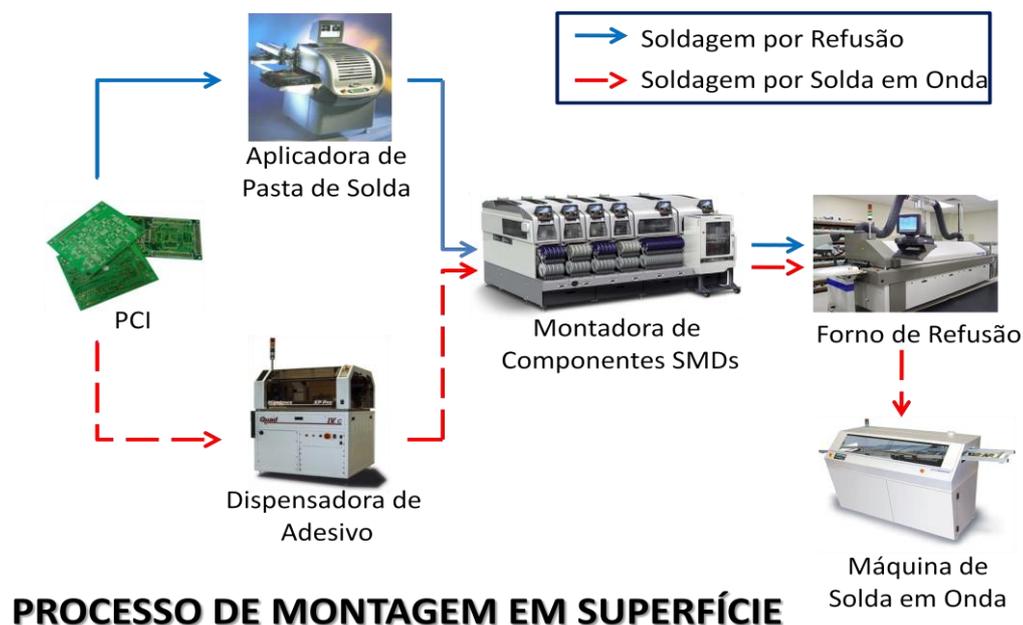


Figura 3 - Processo de Montagem em Superfície

Para o processo com pasta de solda, a PCI entra na Aplicadora de Pasta de Solda, onde um rodo empurra o estêncil para baixo e força a entrada da pasta de solda nas aberturas do mesmo conforme F1 da Figura 4, em seguida a pasta preenche todas as aberturas do estêncil e adere nas ilhas da

placa conforme F2 da Figura 4, para em seguida a máquina retirar o estêncil e liberar a placa para a próxima etapa conforme F3 da Figura 4.

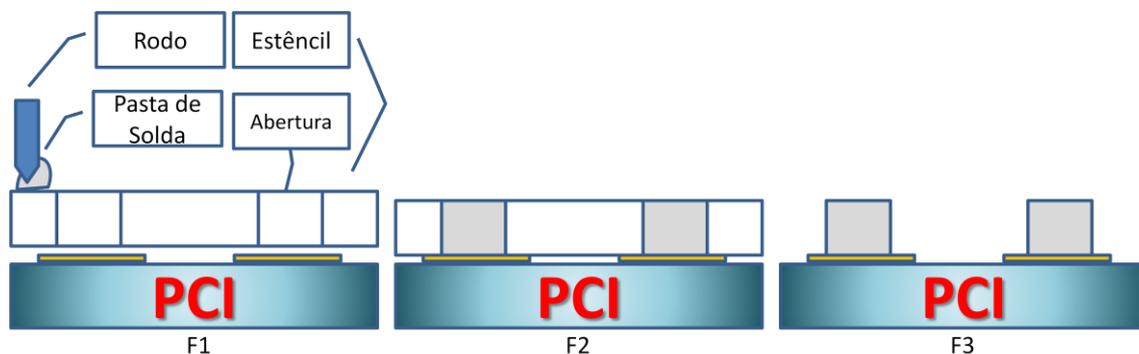


Figura 4 - Processo de aplicação de pasta de solda (F1,F2 e F3 respectivamente)

Após a fase de aplicação de pasta de solda, a placa já com a pasta depositada sobre as ilhas, vai para as máquinas de montagem dos componentes SMDs onde vários componentes são montados sobre a superfície da placa conforme a Figura 3 e atendendo ao que determina o PPB para esse tipo de produto.

A última etapa a ser realizada no processo SMT com pasta de solda é a soldagem entre o componente e a placa, através do processo de refusão da pasta de solda (Figura 5).

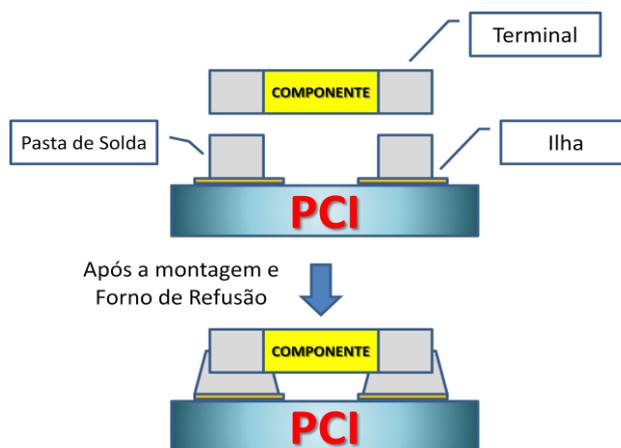


Figura 5 - Componente SMD montado e soldado

Normalmente esta etapa é realizada em um forno que aquece a placa por convecção forçada, denominado de forno de refusão. Uma esteira rolante

possibilita que a placa avance através do forno. O forno possui zonas com temperaturas diferenciadas ao longo do caminho percorrido pela placa.

A refusão da pasta de solda acontece através do “perfil térmico” do forno, isto é, a curva da temperatura da placa em função do tempo (Figura 6). Este perfil é formado de quatro fases distintas:

- **Pré-aquecimento** - nesta fase a temperatura ambiente é elevada até a evaporação dos solventes da pasta de solda.
- **Desgaseificação** - nesta fase a temperatura é elevada lentamente com o propósito de ativar o fluxo e igualar a temperatura na placa.
- **Refusão** - nesta fase a temperatura é elevada para que as esferas de solda se fundam, formando então a junta de solda.
- **Resfriamento** - a temperatura é reduzida gradativamente até a temperatura ambiente.

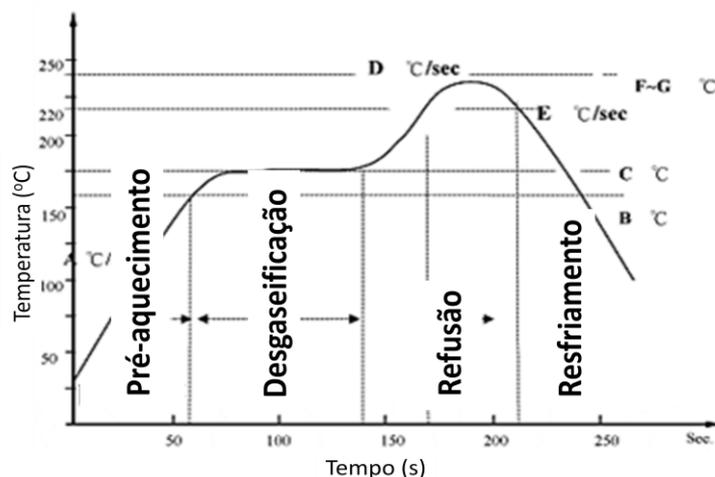


Figura 6 - Perfil Térmico do forno de refusão

Para o processo com adesivo, a PCI entra na dispensadora de adesivo ao invés da aplicadora de pasta de solda como mostra a Figura 3. Nessa fase gotas de adesivo são depositadas em locais específicos na PCI para em seguida o componente SMD ser montado conforme mostra a Figura 7 e em seguida vai para o forno de refusão, no entanto para esse tipo de montagem o perfil térmico do forno é diferente, pois a finalidade é curar o adesivo. Para esse tipo de montagem é necessário que a PCI passe pela máquina de solda em onda para que os componentes sejam soldados na PCI.

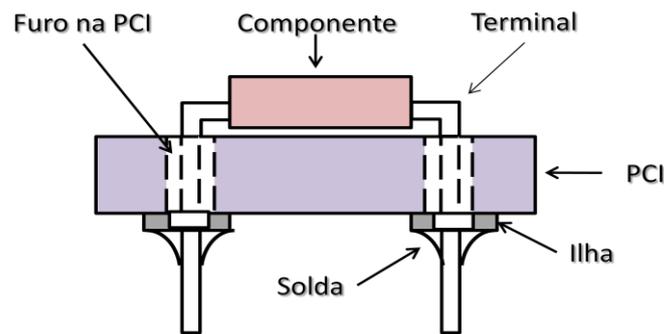


Figura 7. Componente PTH (adaptado de FUSE Network)

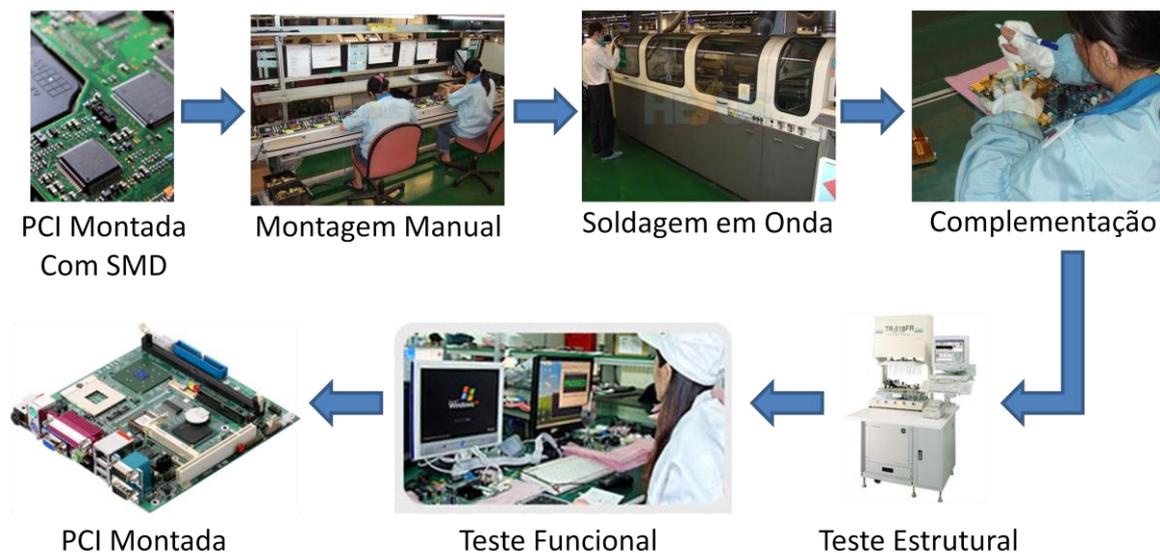
2.4.2 Processo com Tecnologia de Inserção em Furo (PTH)

Segundo FUSE (2011), na montagem através de furos (PTH), criada por volta de 1940, os componentes possuem terminais salientes e longos, e as placas possuem furos eletricamente conectados às trilhas de metal conforme Figura 5. Sistemas dessa natureza são fáceis para construir, testar e trabalhar, entretanto, em projetos muito complexos, o hardware é fisicamente grande e poderá ser eletricamente ruidoso para aplicações em média e alta frequência.

Para MORAES (2006), apesar do grande avanço tecnológico com o surgimento dos componentes SMDs, os designers de placas de circuito impresso não conseguiram se desfazer dos componentes PTHs, isso porque esses componentes conferem resistência mecânica tornando-a mais duradoura a vida útil do produto. Tendo isso em vista, técnicas de montagem através de furos são geralmente reservadas para componentes mais volumosos tais como capacitores eletrolíticos, conectores de diversos tamanhos, ou semicondutores em encapsulamentos maiores.

Esses tipos de componentes podem ser inseridos automaticamente ou manualmente de acordo com o projeto da placa. Para as placas principais de bens de informática, a construção da mesma não possibilita a utilização de equipamentos automáticos e a inserção dos componentes na placa é feita manualmente.

O processo de montagem de placas de circuito impresso para uso em computadores pessoais, obedece à sequência de montagem vista no item anterior para em seguida começar o processo de montagem manual conforme pode ser visto na Figura 8.



PROCESSO DE MONTAGEM MANUAL

Figura 8 – Processo de Montagem Manual

A placa de circuito impresso (PCI) montada com todos os componentes SMD entra na linha de montagem manual para receber os componentes com tecnologia de inserção através de furos, tais como capacitores eletrolíticos, jumpers e conectores. Uma vez inseridos esses componentes, a placa vai para uma máquina de soldagem em onda para que esses componentes e também os em superfície que estão colados com adesivo no lado inferior da placa sejam soldados na mesma.

A Soldagem por onda existe a, pelo menos, 50 anos e recebeu uma série extensa de aprimoramentos, mas a essência é a mesma. De acordo com TODD & ALLEN (1994), existem muitos tipos de máquinas de solda por onda, entretanto, os componentes básicos e os princípios destas máquinas são os mesmos. Uma máquina de solda por onda padrão consiste de três partes: fluxagem, pré-aquecimento e soldagem (Figura 9). Além das etapas principais, TUTORIAIS TÉCNICOS (2011) considera também as etapas auxiliares: carga de PCI's na máquina de solda, resfriamento da PCI após a soldagem e a descarga da PCI.

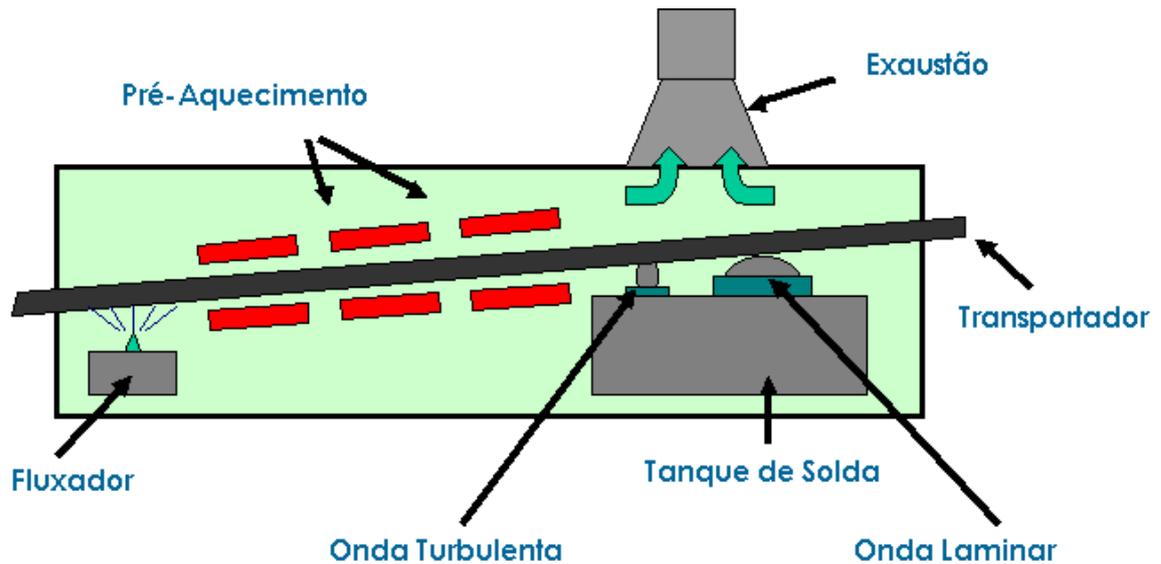


Figura 9 - Máquina de Solda em Onda (SMD-ON-LINE)

Componentes como baterias e dissipadores de calor não podem passar pela máquina de solda em onda devido à sua estrutura física. Esses componentes são montados na fase de complementação (Figura 8), que também possui atividades como a inspeção visual e a revisão de solda.

Após a fase de complementação, a placa de circuito impresso está completamente montada, mas ainda não foi testada. A fase de teste pode apresentar duas etapas: teste estrutural e teste funcional. Essa fase será mais bem explicada no próximo capítulo, pois é a área de interesse desse trabalho.

Após a placa de circuito impresso ser montada e aprovada nos testes a mesma está concluída e obedecendo o PPB para esse tipo de produto.

3 SISTEMA DE INSPEÇÃO E TESTE

Segundo FEIGENBAUM (1994) o custo da qualidade está classificado como prevenção, avaliação, falhas internas e falhas externas.

Os Custos de Avaliação são os gastos despendidos com atividades desenvolvidas na identificação de unidades ou componentes defeituosos antes da remessa para os clientes internos ou externos (GALLORO & STEPHANI, 1995). Os Custos da Avaliação abrangem custos de manutenção dos níveis de qualidade através de análises formais da qualidade do produto. (FEIGENBAUM, 1994). ROBLES (1994) os conceitua como os gastos com atividades desenvolvidas na identificação de unidades e componentes defeituosos antes da remessa para os clientes, que podem ser internos como externos. Trata-se, portanto, dos custos incorridos na determinação do grau de conformidade aos requisitos de qualidade, segundo JURAN & GRZYNA, 1991.

3.1 Custos da Qualidade

Segundo GARVIN (1992), “os custos da qualidade são definidos como quaisquer despesas de fabricação ou de serviço que ultrapassem as que teria havido se o produto tivesse sido feito ou o sido prestado com perfeição da primeira vez”.

De acordo com DORO (2004), as inspeções e os testes são usados na linha de produção para verificar se a placa de circuito impresso está conforme as especificações desejadas.

Foi discutido pela primeira vez o tema “CUSTOS DA QUALIDADE” por JURAN (1951) no seu livro *Quality Control Handbook*. Com a intenção de oferecer suporte às ações de melhorias e como forma de medir a qualidade

das empresas, surgiram os custos da qualidade a partir da literatura de controle da qualidade.

No seu livro Controle Total da Qualidade, FEIGENBAUM (1956) faz referência à classificação dos custos de qualidade dividindo este em quatro categorias conforme visualizado na Figura 10.



Figura 10 - Custos da Qualidade (Adaptado de Feigenbaum)

Custos de prevenção – são todos os custos incorridos para evitar que as falhas aconteçam. Tem como objetivo controlar a qualidade dos produtos, evitando os gastos derivados de erros no sistema produtivo. São considerados custos de prevenção:

- Planejamento da qualidade;
- Revisão de novos produtos;
- Controle de processos;
- Análise e aquisição de dados;
- Relatórios de qualidade;
- Planejamento e administração dos sistemas de qualidade;
- Controle do projeto;
- Obtenção das medidas de qualidade e controle de equipamento;
- Suporte aos recursos humanos;
- Manutenção do sistema de qualidade;
- Custos administrativos da qualidade;
- Gerenciamento da qualidade;
- Estudo de processos;
- Informação da qualidade; e
- Outros.

Custos de avaliação – são custos fundamentais para avaliar a qualidade do produto pela primeira vez de modo a detectar falhas antes que o produto seja colocado no mercado. Estes custos incluem:

- Inspeção de Matéria-prima;
- Inspeção e teste;
- Testes de equipamento;
- Material consumido nos testes;
- Avaliação de stocks;
- Custos de preparação para inspeção e teste;
- Custos de controle de compras;
- Operações de laboratório;
- Aprovações de órgãos externos como governo, seguro, laboratórios;
- Envio dos produtos testados para a produção;
- Demonstração de qualidade e relatórios de qualidade;
- Manutenção e setup;
- Testes de produção.

Custos com falhas internas – são todos os custos incorridos devido a algum erro do processo produtivo, seja falha mecânica ou humana. Neste caso, quanto mais cedo forem detectados os erros, menor os custos envolvidos para corrigi-los. Alguns exemplos de falhas internas:

- Refugos;
- Retrabalho;
- Paradas;
- Esperas;
- Falhas do fornecedor;
- Utilização de material rejeitado para outras finalidades;
- Ações corretivas derivadas de materiais e processos;
- Outros custos internos.

Custos com falhas externas – são custos resultantes de falhas no produto ou serviço quando este já está exposto no mercado ou já adquirido

pelo consumidor final. Estas falhas podem originar grandes perdas em custos intangíveis, como por exemplo, a credibilidade da empresa e destruição da imagem, sendo muitas vezes irreversíveis. Quanto mais tarde for detectado o erro, maior os custos envolvidos para corrigi-lo. Alguns exemplos de falhas externas:

- Atendimento a reclamações;
- Material devolvido;
- Custos com garantia;
- Custos de concessões dadas aos clientes, descontos;
- Custos com falhas externas, após garantia;
- Serviço de atendimento ao cliente.
- Outros custos externos.

De acordo com a Figura 11, retirada de um catálogo de um fornecedor de equipamento de teste, observa-se que à medida que se afasta da causa raiz, os custos de diagnóstico e reparo vão se elevando, ou seja, para falhas encontradas no início do processo através de inspeções com imagem ou através de testes estruturais são inferiores aos custos nos testes funcionais.

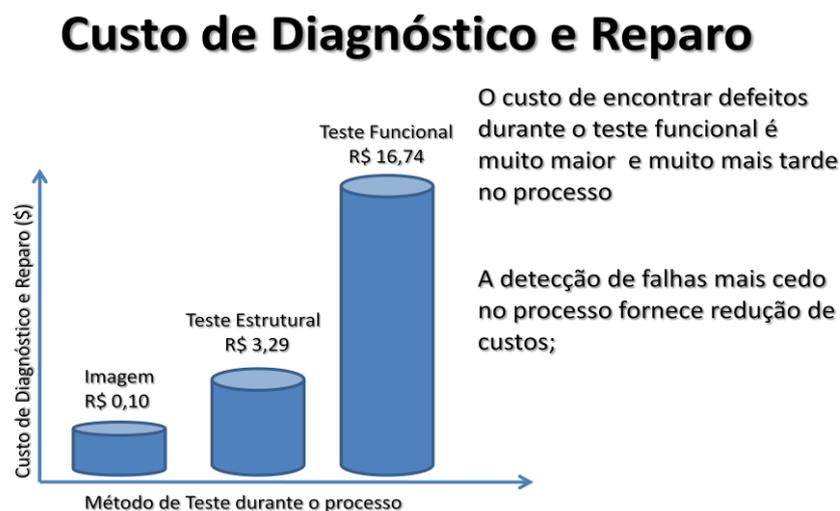


Figura 11 - Custo de Diagnóstico e Reparo (Adaptado de TERADYNE *Test Strategies*)

Em um processo de fabricação, algumas falhas de produto são inevitáveis devido a erros de montagem, componentes errados, design ruim, etc.

Na segunda categoria avaliação apresentada por Feigenbaum, tem-se as inspeções e testes. São através das inspeções e testes que se pode avaliar a qualidade de um produto e assim trabalhar nas causas das falhas para a redução dos custos da qualidade.

3.2 Inspeção

A inspeção, em um processo produtivo, tem o propósito de determinar se o produto está conforme as especificações. Essas inspeções podem acontecer após cada fase do processo, por exemplo, para o processo de montagem em superfície pode-se ter inspeções após a aplicação de pasta de solda, após a montagem dos componentes SMDs e após a soldagem no forno de refusão e para o processo de montagem em superfície pode-se ter após a inserção manual dos componentes e após a soldagem.

3.2.1 Inspeção Visual Manual - IVM

A Inspeção Visual Manual é a mais barata das técnicas de inspeção, pois depende quase que exclusivamente do ser humano, que apesar da sua inteligência e flexibilidade para aprender e memorizar padrões comete erros, que conforme JURAN & BRYNA (1991), contribui significativamente para a geração de erros de inspeção. Esses erros de inspeção são de várias categorias: erros técnicos (falta de capacidade para o cargo, falta de treinamento), erros por inadvertência (distração, descuido, tédio) e erros conscientes (fraude). Pode-se citar também fatores que afetam o uso de IVM como a velocidade de inspeção, fadiga do operador, julgamento do operador, resolução do equipamento de inspeção, manipulação das partes, campo de visão e profundidade de campo. Em estudo recente sobre a subjetividade da inspeção visual manual apresentado em um fórum de tendência de teste, uma placa montada foi inspecionada 4 vezes, sendo que a primeira vez com um único inspetor, na segunda vez com 2 inspetores e assim sucessivamente. O resultado está demonstrado na Figura 12, onde pode-se concluir principalmente que a aprovação é subjetiva, pois depende do julgamento do ser humano e que varia entre seres humanos essa avaliação.

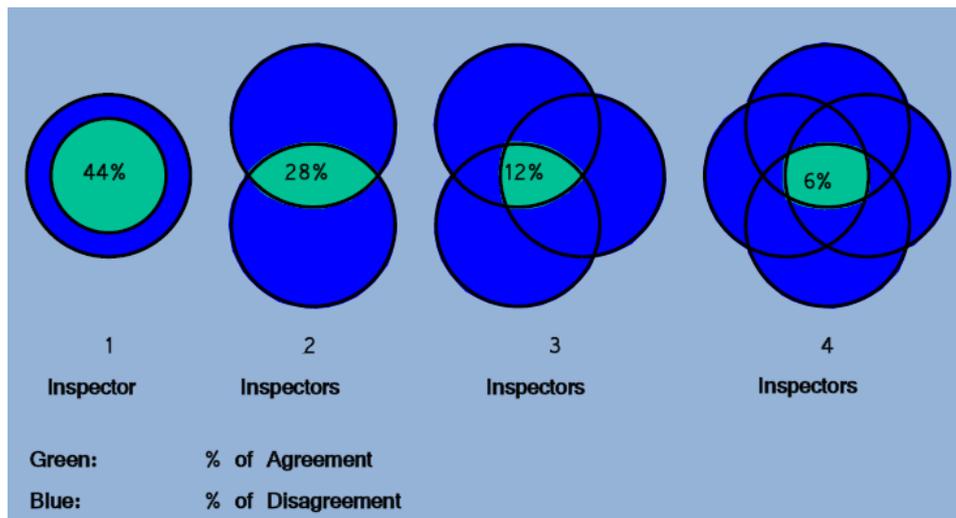


Figura 12 - Estudo sobre a subjetividade na inspeção manual (cortesia AT&T)

Para HUTCHINS (1997) pode-se minimizar os erros de inspeção com programas de treinamento e conscientização para os inspetores e a utilização de especificações de manufatura definindo-se padrões aceitáveis e não-aceitáveis. Pode-se, também, utilizar ferramentas que auxiliam na inspeção visual manual como uma simples lente de aumento até um microscópio de projeção.

Como o aumento da miniaturização dos componentes e o uso de componentes que possuem os terminais escondidos, a inspeção visual de componentes em determinados processos não é eficiente. Para esses casos, são necessários equipamentos automatizados para inspeção ótica como os Inspetores de Pasta de Solda - IPS e os Inspetores Ótico Automatizados - IOA e inspeção com raio-X como os Inspetores de Raio X Automatizados-IRXA.

3.2.2 Inspeção Ótica Automática - IOA

Somente o sistema IOA permite que uma linha com tecnologia de montagem em superfície opere na sua capacidade máxima enquanto se inspecionam os depósitos de pasta de solda, o posicionamento dos componentes, sua nomenclatura e a refusão das juntas de solda. Depósitos insuficientes, excessivos ou imprecisos, componentes faltantes ou mal alinhados, componentes errados ou com polaridade trocada, terminais dobrados, juntas de solda incompletas, pontes ou curtos circuitos também

podem ser determinados com velocidades de inspeção de 150.000 componentes por hora.

Os equipamentos de inspeção ótica automatizados podem ser utilizados em diferentes etapas do processo produtivo como após a aplicação de pasta de solda, após a montagem dos componentes SMDs e após o forno de refusão. Com o propósito de identificar um problema o mais próximo da origem, pode-se utilizar diferentes equipamentos de inspeção automatizados.

A pasta de solda é o principal insumo na montagem de uma placa de circuito impresso e o responsável pela maioria das falhas de processo. Segundo BURR (1976), a regra de 10X pode ser utilizada para estimar o custo de falhas e defeitos em cada fase do processo, ou seja, para falhas após a aplicadora de pasta temos x, para a falhas após o a montadora temos 10x, para falhas após o forno temos 100x e assim sucessivamente.

A impressão de pasta é reconhecidamente uma das primeiras originadora de defeitos na montagem de componentes SMD. Segundo informações do site www.smt-on-line.com, 64% dos problemas ocorridos em um processo SMD são causados por uma aplicação inadequada ou incorreta da pasta de solda. Uma das formas de melhorar o processo de aplicação da pasta é detectar o defeito imediatamente após a impressão de pasta e rejeitar as placas defeituosas antes da colocação dos componentes SMD. Isso permitirá que os fabricantes poupem tempo e dinheiro que seria gasto na reparação das placas defeituosas. Além disso, as informações colectadas pelo sistema de inspeção poderá otimizar e corrigir tendências da máquina de impressão de pasta antes de se tornarem críticas para o processo. Para que se identifiquem essas falhas, após a aplicadora de pasta de solda, é necessário a utilização de um equipamento de inspeção de pasta de solda (SPI) automatizado conforme se pode observar na Figura 13.

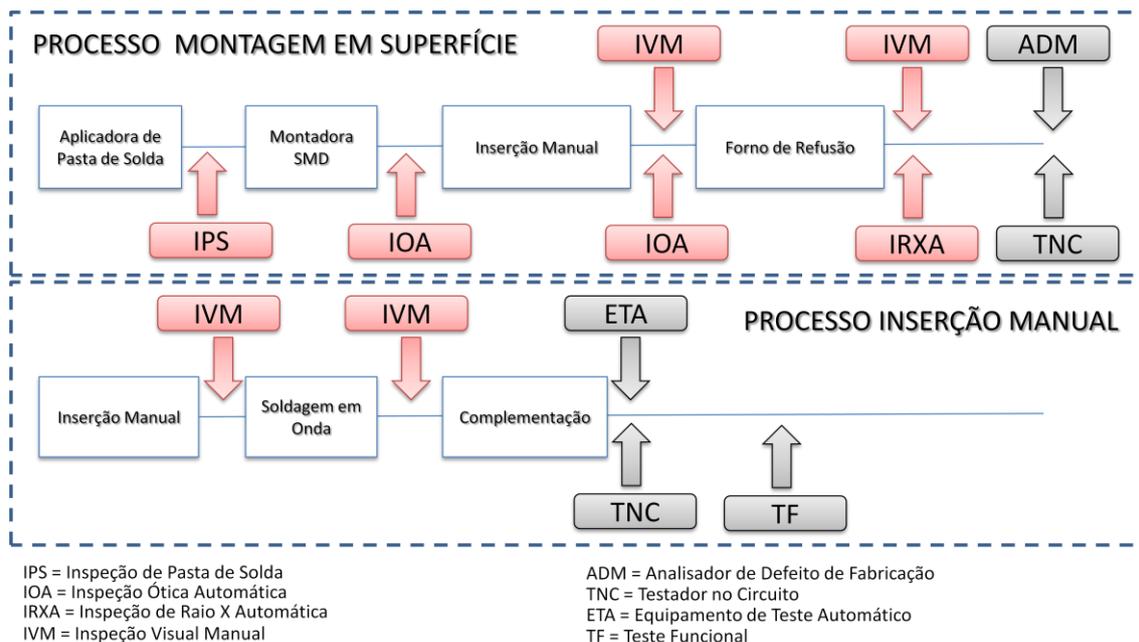


Figura 13 - Equipamentos de Testes usados no Processo Produtivos

Para manter o processo sobre controle e garantir que a placa não apresente problemas de montagem é necessário introduzir inspeções (IPS, IOA, IVM, IRXA) e testes (ADM, TNC, ETA, TF) no processo de montagem conforme consta na Figura 13.

A Figura 13 mostra um processo ideal de inspeção e teste, mas que apresenta um custo de aquisição e manutenção de equipamentos elevados e postos de inspeção e teste. Algumas empresas inserem alguns desses elementos de acordo com a categoria do produto final e algumas vezes, não estão convencidas da real necessidade desse tipo de procedimento.

Após a montagem dos componentes existe outra inspeção feita com um equipamento ótico automático para inspecionar a montagem dos componentes pelas máquinas SMTs. Essa inspeção é necessária, pois existem várias variáveis que podem influenciar na montagem, como a qualidade dos componentes, a alimentação do mesmo pelo operador, problema relacionado ao equipamento, etc.

Para a montagem de placas de notebook, existe ainda a montagem de componentes manuais antes do forno. Após essa montagem deveria ser feita outra inspeção, pois depende também da qualidade dos componentes e principalmente dos colaboradores que montam os mesmos.

3.2.3 Inspeção de Raio- X Automática - IRXA

Segundo a Teradyne, novas tecnologias estão forçando os fabricantes de Placas de Circuito Impresso a modificarem suas metodologias de inspeção e teste. A *Electronic Trend Publications* estimou que devido a utilização cada vez maior de componentes com terminais escondidos como os BGAs e LGAs, metade de todas as conexões de solda seriam invisíveis para equipamentos de inspeção ótica até 2007. Isso já é uma realidade para muitos produtos eletrônicos como celulares, tablets e notebooks. Além da complexidade desse tipo de produto, também a introdução de soldas sem chumbo, circuitos de RF que usam blindagens, além de utilização de frequências maiores e restrição para os testes elétricos. Com tudo isso, os fabricantes estão enfrentando o desafio de perda de acesso visual e elétrico para as inspeções e testes.

As inspeções com equipamentos de Inspeção de Raio-X automáticas (IRXA) está ganhando em popularidade como os seus similares IOA, porque são não-invasivos. Ao contrário dos IOAs, a imagem de Raio-X não é prejudicada por dispositivos BGA, componentes blindados, dissipadores e placas de dupla face. E quando integrado com equipamento de teste TNC, o equipamento IRXA pode incrementar a cobertura de falha para próximo a 100% para todas as classes de defeitos de processo e elétricos.

3.3 Teste

Falhas no campo refletem negativamente em fabricantes de produtos, onde falhas em produtos de baixo custo são aceitáveis pelos consumidores, porém falhas em produtos de médio a alto custo causam péssimas relações no melhor dos casos e processos judiciais no pior. Quanto mais cedo em um processo produtivo as falhas são identificadas, mais barato é corrigi-las.

As inspeções e testes em um processo produtivo podem ser representados através da Figura 14, onde após as etapas de montagem e soldagem, tem-se a inspeção e os testes. Esses testes, conforme ASSET (2011) podem ser classificados como estrutural, funcional e de sistema.



Figura 14 - Inspeções e testes (Adaptado de ASSET in *Board Test Strategies*)

No teste estrutural, verifica-se se o produto foi montado corretamente e procura-se por defeitos de manufatura. Para esse tipo de teste podem ser utilizados equipamentos de teste como o Analisador de Defeito de Manufatura-ADM, Testador No Circuito - TNC e Boundary Scan. O funcionamento da placa é verificado no teste funcional, sendo esse realizado através de dispositivos de testes convencionais, semi-automáticos e automáticos, podendo ser analógico, microprocessado, microcontrolado ou com base no produto final. Quando a placa é montada no produto final, então o teste realizado é o de sistema completo.

O projeto da placa, o custo disponível para o teste e taxa de falhas aceitáveis determinam, qual o método de teste deve ser escolhido como é mostrado na Figura 15, podendo ser tradicional, de complexidade aumentada, custo reduzido ou não-invasivo.

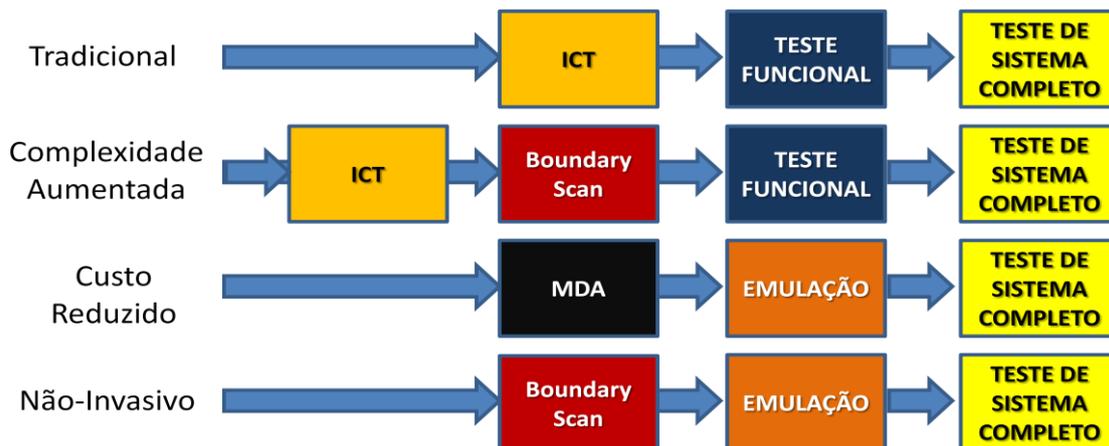


Figura 15 - Algumas alternativas de teste (Adaptado de ASSET in *Board Test Strategies*)

Na determinação da melhor estratégia de teste, deve-se considerar:

- A cobertura de teste;

- Índice de rendimento ou índice de defeito;
- Resolução de diagnóstico;
- Detectar os problemas o mais cedo possível;
- Tempo de teste;
- Tempo de desenvolvimento;
- Custo do equipamento de teste.

3.3.1 Teste Estrutural com ADM

O Analisador de Defeito de Manufatura - ADM é um equipamento utilizado para teste estrutural de placas conforme Figura 16. O ADM usa uma complexa cama de prego, conforme a Figura 16, para testar estruturalmente placas após o processo de montagem e soldagem.

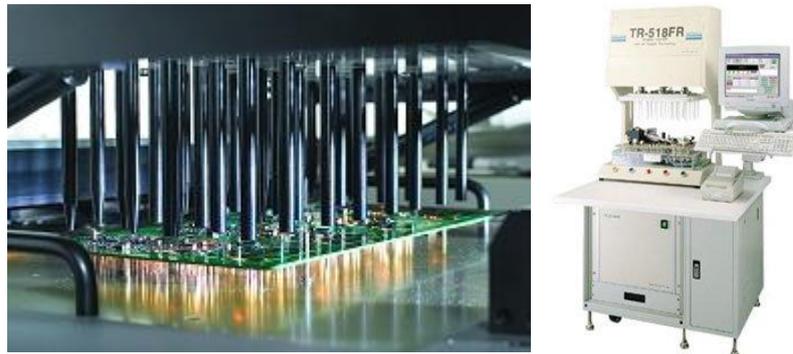


Figura 16– Cama de prego e Equipamento ADM (a e b respectivamente)

O ADM pode identificar curtos, abertos, componentes com valor errado, componentes montados incorretamente e a falta de componentes. Utiliza a medição de tensão e corrente através de componentes individuais para verificar se estão corretos. Essa tensão e corrente são fornecidas pelo equipamento, pois a placa sob teste não está energizada.

Entre as principais vantagens está o baixo custo em comparação com equipamentos TNCs, desenvolvimento de teste automatizado, tempo de teste muito rápido, excelente diagnóstico estrutural no nível de componente, verificação de falhas que poderiam ser destrutíveis se a placa fosse energizada.

Como desvantagens estão as coberturas incompletas em falhas estruturais de placas complexas, testes estruturais limitados para circuito integrado, teste estrutural sem energizar a placa, não realiza teste funcional e elevado número de pontas de teste ocasionando o estresse mecânico da placa.

3.3.2 Teste Estrutural com TNC

O Testador no Circuito - TNC é um equipamento similar ao ADM, sendo assim, também utiliza uma complexa cama de pregos para testar estruturalmente a placa após a montagem e soldagem. Assim como o ADM, o TNC também identifica curtos, abertos, componentes com valor errado, componentes montados incorretamente e componentes faltando, no entanto, também testa o mau funcionamento de componentes digitais.

O TNC é um equipamento similar ao ADM com acréscimo de outras funcionalidades. Dentre as principais vantagens estão o desenvolvimento de teste automatizado, o tempo de teste é muito rápido, excelente diagnóstico para falhas estruturais em nível de componente, descoberta de falhas que poderiam danificar o produto quando o mesmo fosse ligado pela primeira vez, teste estrutural de circuitos integrados (exemplo: teste com a tecnologia TestJet). Entre as desvantagens desse equipamento, estão alto custo inicial para aquisição do mesmo, teste estrutural com cobertura incompleta para placas complexas, testes funcionais impraticáveis em uma larga gama de circuitos integrados e o número muito grande pontas de teste (agulhas) que causam estresse mecânico da placa sob teste.

3.3.3 Teste Estrutural com BST

O teste com BST (*Boundary Scan Technology*) é um método para testar interconexões em placas de circuito impresso ou em sub-bloco dentro de um circuito integrado. O BST também é amplamente utilizado como método de depuração para análise de falhas.

O JTAG (*Joint Test Action Group*) desenvolveu uma especificação para o BST que foi padronizado em 1990 como padrão IEEE 1149.1-1990. Em 1994, um suplemento contendo uma descrição da BSDL (Linguagem de Descrição de *Boundary Scan*) foi adicionado ao padrão e descreve o conteúdo da lógica do

componente compatível com BST. Desde então, esse padrão tem sido adotado por empresas de equipamentos eletrônicos em todo o mundo. BST é quase sinônimo de JTAG.

O BST foi projetado para superar as dificuldades de acesso aos pontos de teste de componentes complexos como os BGAs e com tamanho reduzido. Ele também evita a necessidade de utilização de teste com cama de pregos por somente de 6 a 10 pontos de teste.

Como vantagens na utilização desse método cita-se o desenvolvimento do teste de forma semi-automatizada, tempo de teste rápido, bom diagnóstico em falhas estruturais. Como desvantagem encontra-se a cobertura de falhas incompleta em testes estruturais de componentes que não possuem BST habilitada e que os testes funcionais não podem ser realizados em grande quantidade de componentes.

3.3.4 Teste Funcional

O método de teste funcional tem o objetivo de determinar se uma placa está funcionando corretamente. Uma placa de circuito impressa montada pode passar nas inspeções e nos testes estruturais, porém pode apresentar problema durante o teste funcional.

Para se testar uma placa funcionalmente, utilizam-se diversos métodos como:

- Jig Aparelho, onde a placa sob teste é parte do aparelho final.
- Rack empilhados, onde o cliente usa equipamentos para gerar sinais de estímulo e respostas;
- PXI/VXI, são padrões de teste que utilizam racks empilhados;
- Teste embutido, onde os testes fazem parte do produto;
- Emulação com CPU.

A excelente cobertura de falhas, o baixo custo e a rapidez no desenvolvimento do dispositivo de teste são as principais vantagens dos jigs aparelhos (Figura 17) e como desvantagens tem-se o alto tempo de teste e o diagnóstico precário.

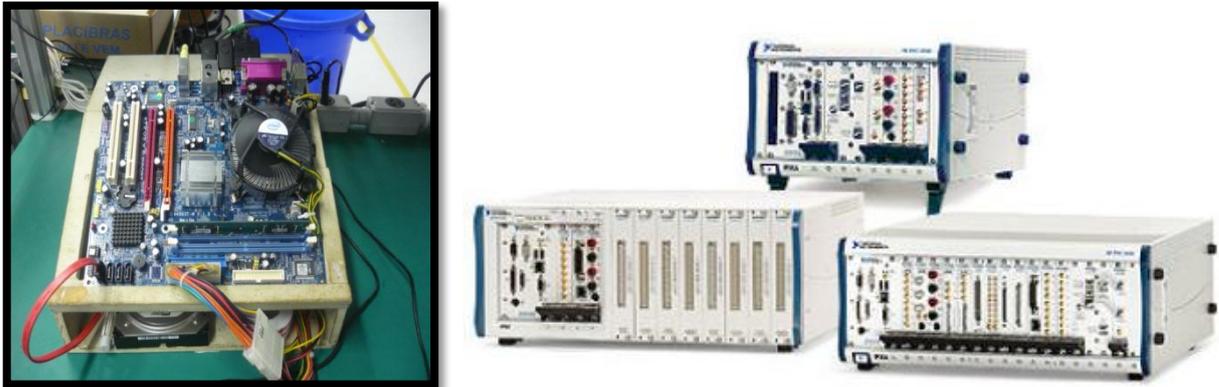


Figura 17 - Jig Aparelho e Rack PXI

Para os demais testes funcionais, também apresentam uma excelente cobertura como vantagens e alto tempo de teste como desvantagem, além do elevado custo para a aquisição e o grande esforço no seu desenvolvimento.

3.3.5 Teste Funcional com Emulação via CPU

O teste com emulação via CPU é um teste funcional rápido e não-invasivo e que é baseado em placas controladoras microprocessadas (somente de 6 a 10 pontos de teste) como visto na Figura 18.

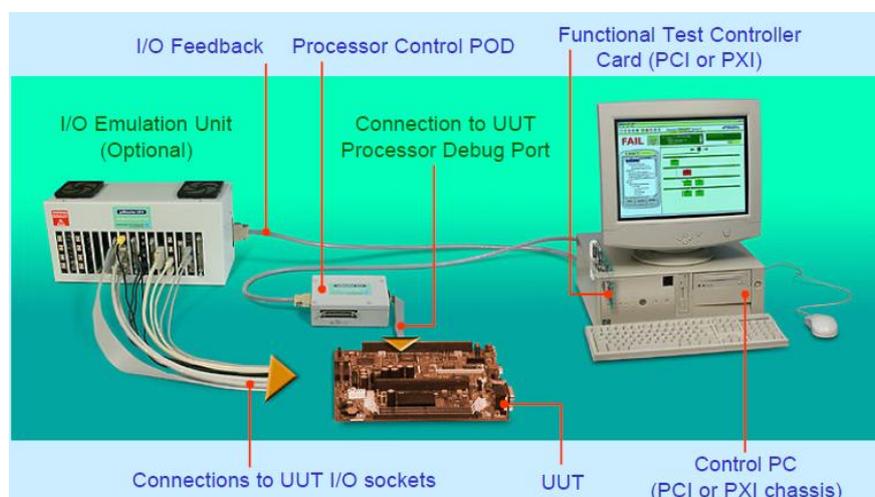


Figura 18 - Emulador Micro Master (ASSET in *Boards Test Strategies*)

Os emuladores enviam instruções para o processador da placa sob teste e desta forma controlam memórias, pontes, hubs e dispositivos de entrada e saída, permitindo que a placa seja testada com leitura, escritas e funcionamento. Vários processadores possuem portas de depuração (*debug port*) disponíveis para que o emulador adquira o controle durante o teste funcional (por exemplo, Intel®Pentium®, Intel Core™, XScale®, AMD®, Freescale Semiconductor™ / IBM® PowerPC ® e ™ processadores da famílias ARM). O teste é realizado na mesma velocidade do processador e o acesso à porta do processador é via pontos *Boundary Scan*. Entre as vantagens desse sistema de teste estão as altas coberturas de teste, o baixo tempo de teste, o diagnóstico excelente em comparação a outros métodos, diagnose sem necessidade de danificar a placa e custo relativamente baixo.

Como desvantagens encontram-se as dificuldades no desenvolvimento e o diagnóstico menos preciso que o método de teste estrutural.

Não existe teste que garanta 100% de cobertura da placa e sim uma interseção de testes conforme Figura 19, ou seja, um equipamento de teste complementa o outro e no final teremos o máximo de cobertura no teste. Pode-se ainda observar que o teste funcional é o único teste que garante a boa cobertura de teste para a confiabilidade funcional e que em decorrência disso ele deve ser sempre utilizado.

	IVM	IOA	IRXA	TNC	TF
Curto					
Ausência de solda					
Confiabilidade de solda					
Componente errado					
Componente faltando					
Componente danificado					
Componente invertido					
Confiabilidade funcional					

Legenda:

 **Baixa ou nenhuma cobertura de teste**

 **Média cobertura de teste**

 **Boa cobertura de teste**

Figura 19 - Cobertura de Teste
 Fonte: Adaptada de TERADYNE – Test Strategies

4 OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO

Pensando em otimização, Henry Ford dobrou os salários dos seus trabalhadores e cortou pela metade o custo do seu automóvel e isso mudou o mundo consideravelmente, pois, conforme, assinala SANTOS *et al.* (2009), atualmente, verifica-se as mesmas reduções nos custos dos equipamentos eletrônicos devido à aplicação de boas práticas de engenharia e do gerenciamento.

De forma ideal, otimizar é melhorar até o máximo, no entanto, na prática, significa ir até onde se pode ir. Para BENNATON (2001), melhorar só é possível se houver escolhas e se possível dentre várias alternativas. Se houver uma alternativa, capaz de introduzir alguma melhoria, deve-se ficar com ela. Caso contrário, o que se tem em mãos já é a escolha ótima.

De acordo com BENNATON (2001) não basta ter o desejo de otimizar, é necessários ter critérios de escolha e que a informação é fundamental para a decisão da melhor alternativa e que se traduza em números a escolha dos critérios escolhidos.

Obter informações reais sobre um processo modifica a forma de tratar a produtividade e a qualidade, o profissional inserido no tema qualidade deve trabalhar menos com a percepção ou estimativa, pois o estudo de tempos e métodos fornece meios para a obtenção de dados reais e com isso ter indicadores confiáveis. O Estudo de Tempos e Métodos usa a cronometragem como ferramenta para fazer medição do tempo real para indicação do tempo previsto, depois do tempo medido, é feita avaliação do ritmo do operador para ser avaliado estatisticamente o número de medições exigidas e o grau de confiabilidade para se obter um tempo puro. Segundo PEINADO & GRAEML (2007), o estudo de tempos, movimentos e métodos aborda técnicas que submetem a uma detalhada análise cada operação de uma dada tarefa, com o

objetivo de eliminar qualquer elemento desnecessário à operação e determinar o melhor e mais eficiente método para executá-la.

A Cronoanálise é uma ferramenta que define e documenta o processo, sendo um documento vivo que acompanha a evolução contínua deste. Segundo TOLEDO (2004), a Cronoanálise tem sua origem em Tempos e Métodos, ela define parâmetros tabulados de várias formas, coerentemente, culminam na racionalização industrial.

Já o Tempo Padrão determina um tempo de produção, em que o analista o utilizará na determinação de parâmetros relativos à produtividade e qualidade. Tempo Padrão é o dado fundamental em todo o planejamento de produção. PEINADO & GRAEML (2007) diz que o Tempo Padrão engloba a determinação da velocidade de trabalho do operador e aplica fatores de tolerância para atendimento às necessidades pessoais, alívio de fadiga e tempo de espera.

4.1 Tempos e Métodos

Taylor foi o precursor da gestão científica do trabalho e do estudo do tempo e do movimento, ou cronoanálise. Sua carreira teve início na companhia de aço *Midvale Steel Works* como operário, tornando-se mais tarde engenheiro-chefe. Depois foi consultor na *Bethlehem Steel Works* de Pittsburgh, onde realizou as suas famosas experiências. Fanático da avaliação dos métodos e seus tempos, acreditava que desse modo podia melhorar a eficiência produtiva, ANIS (Apud MAXIMIANO, 2004; Apud TOLEDO, 2004).

A decomposição de operações possibilita eliminar movimentos inúteis e ainda simplificar, racionalizar ou fundir os movimentos úteis, proporcionando economia de tempos e esforço do operário. A partir disso, determina-se o tempo para execução das tarefas mediante o uso de um cronômetro. ANIS (Apud MEYERS, 1999) diz que Taylor foi a primeira pessoa a usar o cronômetro para estudar o trabalho e, portanto, é chamado “Pai do Estudo do Tempo”.

PEINADO & GRAEML (2007) afirma que, a divisão de tarefas e cronometragem dos tempos padrão, apesar de ser um conceito bastante antigo, ainda é um método muito utilizado nas organizações industriais.

Para ANIS (Apud TOLEDO, 2004), o tempo padrão, por si só, de nada vale, como sabe-se é ato mecânico, onde o cronometrista, seguindo uma norma de ação, determina um tempo de produção em uma folha de papel que, sendo apenas arquivado, nenhum benefício terá.

4.2 Cronoanálise

Segundo PEINADO & GRAEML (2007), a cronoanálise ou o estudo de tempos é uma forma de medir o trabalho por meio de métodos estatísticos, permitindo calcular o tempo padrão que é utilizado para elaborar programas de produção, determinar a capacidade produtiva da empresa e o valor da mão-de-obra direta no cálculo do custo do produto vendido (CPV), dentre outras aplicações tais como: eliminar operação desnecessária, padronizar através de medições científicas a execução de um trabalho, reduzir o custo de fabricação, aperfeiçoar e padronizar métodos, aperfeiçoar as ferramentas, reduzir a fadiga, definir o layout da fábrica e determinar o tempo padrão.

Para se chegar à racionalização industrial, afirma TOLEDO (2007), que se deve ter a cronoanálise como base para definir os parâmetros tabulados de várias formas.

TOLEDO (2004) afirma que o tempo padrão é definido na cronometragem e, por si só, não tem valor e que a ação da cronometragem deve ser ferramenta para a cronoanálise. Afirma, ainda, que o cronoanalista é um profissional que de posse desse dado, no estudo de cronoanálise recriará o universo nela contido.

4.3 Cronometragem

A finalidade da cronometragem é a determinação dos tempos através de levantamentos geométricos, conforme afirma LIDÓRIO (2008). Através da cronometragem determina-se a quantidade de tempo necessário para se executar uma operação, medindo o tempo de trabalho gasto em suas operações elementares.

PEINADO & GRAEML (2007) afirma que a cronometragem das tarefas continua a ser largamente utilizada na maioria das empresas brasileiras, com o objetivo de medir e avaliar o desempenho do trabalho.

4.3.1 Critérios para cronometragem

Ao se propor cronometrar uma operação, deve o analista, antecipadamente, determinar os pontos de destaque, isto é, dividir os principais elementos das operações, analisando-os detidamente e, a seguir, cronometrá-los em quantidade que oscile entre 10 a 40 observações de acordo com o seguinte critério:

1. 10 à 20 observações para produção de pequena série;
2. 20 à 30 observações para produção em série;
3. 30 à 40 observações para produção em massa.

São três as regras básicas na cronometragem:

- a) Para se obter leitura exata do cronômetro, deve haver uma separação clara entre os elementos;
- b) Os tempos de máquinas devem ser separados dos tempos de todos os demais elementos;
- c) Os elementos com frequência constante devem ser separados dos elementos esporádicos.

4.3.2 Terminologia na cronometragem

TOLEDO (2004) afirma que a cronometragem como qualquer outra técnica ou ciência, possui uma terminologia especial e apresenta essas terminologias extraídas da padronização A.S.M.E. (*American Society of Mechanical Engineers*) como sendo: elemento, elemento constante, elemento variável, elemento cíclico, elemento não cíclico, elemento estranho, ciclo, tempo elementar normalizado, ritmo normal, tempo normalizado, avaliação do ritmo, hora-padrão, tempo padrão e tolerâncias.

4.3.2.1 Elemento

É uma subdivisão de um ciclo de trabalho composta de uma sequência de um ou vários movimentos fundamentais. Numa operação verificam-se,

geralmente, três elementos principais: preparar (ou carregar), fazer (ou processar) e descarregar.

Há várias razões para se proceder à subdivisão do ciclo de trabalho em elementos: obter a descrição detalhada e sistemática do método cronometrado; possibilitar uma reconstituição precisa do método, quando necessária; verificar a regularidade dos tempos de cada elemento de ciclo para ciclo, e determinar as causas de tempos excessivos quando ocorrerem; avaliar o ritmo do operário em cada elemento individual, padronizar o tempo para uma mesma sequência de movimentos e balancear linha de montagem.

Há regras práticas que auxiliam a determinar qual a sequência de movimentos que constitui um elemento:

1. Um elemento é a mínima porção comensurável de tempo, tendo princípio e fim definidos.

2. Um elemento deve ter duração suficiente para permitir uma tomada de tempo precisa. Embora haja sequências que permitam a leitura de elementos de uma duração de dois centésimos de minuto, a duração mínima de um elemento não deve ser inferior a três centésimos de minuto.

3. A decomposição da operação em elementos e a descrição dos elementos devem ser feita com clareza e precisão de detalhes, de modo a permitir a utilização rápida e fácil por outras pessoas, bem como a sua incorporação num sistema de padronização de elementos, sempre que possível.

4. Os elementos manuais (ou do operário) devem ser separados dos elementos da máquina, bem como os constantes dos variáveis, sempre que possível.

4.3.2.2 Elemento constante

É um elemento para o qual o tempo normalizado é sempre o mesmo, a despeito das características das peças nas quais ele é realizado, tanto quanto o método e as condições de trabalho permaneçam inalterados. É também um elemento para o qual, sob um grupo de circunstâncias, o tempo-padrão é sempre o mesmo.

4.3.2.3 Elemento variável

É um elemento para o qual o tempo normalizado é variável, embora o método e as condições do trabalho permaneçam os mesmos. As variações são devidas às características das peças: tamanho, peso, forma, densidade, dureza, viscosidade, tolerância de usinagem, acabamento, etc.

Na tomada de uma operação, considerando-se os vários ciclos cronometrados, a duração de um elemento está sujeita a variações, quer pela deficiência da leitura do cronômetro, quer pela imperícia do operário, quer ainda por motivos atinentes à própria operação, ou à máquina. Deste modo, ocorrem os chamados ELEMENTOS ANORMAIS, isto é, aqueles elementos cujos tempos registrados durante uma observação são excessivamente mais longos ou mais curtos do que a maioria ou a média dos tempos decorridos. Por outro lado, são ELEMENTOS NORMAIS aqueles cujos tempos registrados durante a cronometragem se mantêm dentro de certa regularidade, de ciclo para ciclo.

4.3.2.4 Elemento cíclico

É o elemento que se repete cada vez que a operação é realizada, isto é, cada vez que uma peça ou uma unidade é produzida em determinada máquina ou posto de trabalho.

4.3.2.5 Elemento não cíclico

É um elemento que não ocorre em cada ciclo. É uma parte necessária da operação. Pode, entretanto, ser realizado cada cinco, dez ou cem peças, ou em intervalos irregulares.

4.3.2.6 Elemento estranho

É o elemento representado por uma interrupção que não seja uma ocorrência regular do ciclo de trabalho, e para a qual, não se fez provisão na sequência normal dos elementos de uma cronometragem.

4.3.2.7 *Ciclo*

É a realização completa pelo operário de todos os elementos de uma operação, com início e fim definidos.

4.3.2.8 *Tempo elementar normalizado (ou normal)*

É o tempo elementar médio ou selecionado, ajustado por avaliação de ritmo, ou outro método de ajustagem, que representa o tempo requerido de um operário qualificado para realizar um elemento de uma operação.

4.3.2.9 *Ritmo normal*

É o ritmo de trabalho geralmente empregado pelos operários trabalhando sob supervisão capacitada. Este passo pode ser mantido dia após dia, sem fadiga mental ou física excessiva, e é caracterizado pelo exercício quase ininterrupto de esforço razoável.

4.3.2.10 *Tempo normalizado (ou normal)*

É o tempo requerido por um operário qualificado, trabalhando no ritmo normal dos operários em geral sob supervisão hábil, para completar um elemento, ciclo ou operação, seguindo um método preestabelecido. É também a soma de todos os tempos elementares normais que constituem um ciclo ou uma operação.

4.3.2.11 *Avaliação do ritmo*

É um método que compara a rapidez e a precisão com que o operário realiza os movimentos necessários para executar uma operação com o conceito que o observador tem de tempo normal.

4.3.2.12 *Hora-padrão*

É uma hora de tempo durante a qual uma quantidade específica de trabalho de qualidade aceitável é ou pode ser feita por um operário qualificado, seguindo um método prescrito, trabalhando em ritmo normal, sujeito a paradas e a fadigas normais.

4.3.2.13 Tempo-padrão

É o tempo que se determina seja necessário para um operário qualificado, trabalhando num ritmo normal e sujeito a demoras e a fadigas normais, para executar uma quantidade definida de trabalho de uma qualidade especificada, seguindo um método preestabelecido. É o tempo normalizado acrescido das tolerâncias para fadigas e demoras.

4.3.2.14 Tolerâncias

São os acréscimos de tempo incluídos no tempo normalizado de uma operação, a fim de compensar o operário pela produção perdida por causa de fadiga e das interrupções normalmente previstas, tais como as paradas pessoais e as inevitáveis.

4.3.3 Equipamentos para o estudo de tempos

PEINADO & GRAEML (2007) cita como elementos para o estudo de tempos: o cronômetro de hora centesimal, filmadora, prancheta e folha de observação.

4.3.3.1 Cronômetro de hora centesimal

É o cronômetro mais utilizado, e uma volta do ponteiro maior corresponde a 1/100 de hora, ou 36 segundos. Podem, contudo, ser utilizados outros tipos de cronômetros, inclusive cronômetros comuns.

4.3.3.2 Filmadora

É um equipamento auxiliar que apresenta a vantagem de registrar fielmente todos os diversos movimentos executados pelo operador, auxiliando o analista do trabalho a verificar se o método do trabalho foi adotado e auxilia na verificação da velocidade com que a operação foi realizada.

4.3.3.3 Prancheta

É necessária para que se apóie nela a folha de observações e o cronômetro.

4.3.3.4 Folha de Observações

É usada para o que os tempos e demais informações relativas à operação cronometrada possam ser adequadamente registrados.

4.3.4 Método convencional de cronoanálise

Em uma planilha eletrônica, excel avançado, aplicando a metodologia específica para estudo de tempos e métodos, devem ser executados os passos conforme a Figura 20 abaixo:

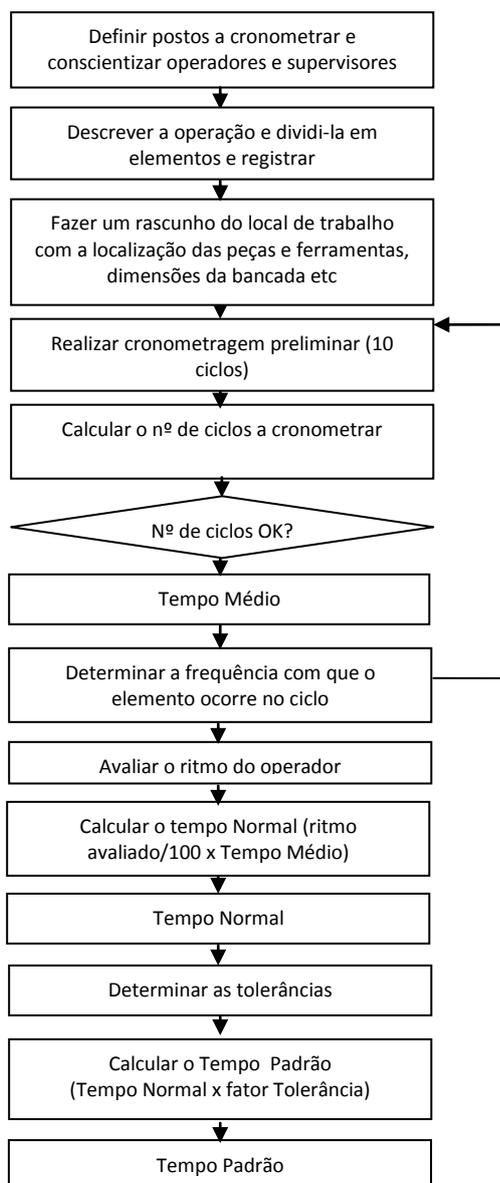


Figura 20 – Fluxograma do método convencional de cronoanálise

Neste tipo de cronoanálise exige-se dedicação total por parte dos analistas de engenharia, pois é utilizado um tempo muito grande na coleta de dados através da análise do posto de trabalho com a utilização de cronômetros e pranchetas e submetem a uma análise detalhada de cada operação conforme o fluxograma da Figura 20.

4.4 Produtividade

A melhoria da Produtividade e da Qualidade pode ser atribuída às mesmas raízes. Como por exemplo, peças padronizadas e processo controlado diminuem as oportunidades de erro e muitas vezes, exigem menos mão de obra para sua produção e para os retrabalhos.

Para CAMPOS (2004), aumentar a produtividade é produzir cada vez mais e/ou melhor com cada vez menos.

4.4.1 Como Melhorar a Produtividade

As Organizações humanas, segundo CAMPOS (2004), são constituídas de três elementos básicos:

- a. Equipamentos e materiais (“HARDWARE”);
- b. Procedimentos (“SOFTWARE”), também entendidos como “maneira de fazer as coisas”, métodos
- c. Ser humano (“HUMANWARE”)

Sendo assim, se houver investimentos em melhores equipamentos, se houver melhoraria nos métodos de trabalho e se o ser humano for mais bem treinado e capacitado, com certeza haverá melhor produtividade.

5 ESTUDO DE CASO

O presente trabalho foi realizado na Digiboard Eletrônica da Amazônia Ltda, uma empresa do Grupo CCE instalada no Pólo Industrial de Manaus e que atende ao processo produtivo básico para placas de circuito impresso montada conforme descrito no capítulo 2. A referida empresa já atende o PPB há pelo menos trinta anos para produtos eletro-eletrônicos, no entanto, recentemente iniciou a montagem de placas de circuito impresso para computadores pessoais e foi buscar a tecnologia de montagem com seus parceiros na China. Entre as técnicas repassadas estão a metodologia dos testes funcionais. O objetivo desse trabalho, como já foi apresentado na introdução dessa dissertação, é otimizar essa fase do processo produtivo e para isso utilizou a equipe de P&D do Instituto de Tecnologia José Rocha Sérgio Cardoso através do Laboratório de Desenvolvimento de Dispositivos e do núcleo de Desenvolvimento de Software.

5.1 Situação Inicial

A situação inicial apresentou-se como originalmente foi aprendido na empresa chinesa que forneceu as orientações técnicas para realização da atividade e conforme pode ser visualizado através da Figura 21.



Figura 21 – Dispositivo de teste individual

As conexões eram todas manuais, ou seja, a ligação entre a placa e os periféricos como a fonte de alimentação, o monitor, o disco rígido, o leitor ótico, a rede, os auscultadores, o microfone, os dispositivos de armazenamento, além da inserção das memórias, placas de vídeo externas, o processador e o dissipador do processador eram todas realizadas individualmente e manualmente pelo operador do equipamento. O teste era feito individual e dividido em duas etapas de teste T1 e T2 conforme visualizado através da Figura 22. Todos os dispositivos periféricos eram conectados e desconectados manualmente. A primeira etapa constituía-se do teste funcional com base no sistema operacional MS-DOS, onde era feita a gravação do *MAC ADDRESS* e a segunda etapa, o teste funcional, propriamente dito, usava sistema operacional Windows XP e os softwares de testes eram fornecidos pelo parceiro chinês.

O tempo total de teste somado era de 287 segundos, ou seja, 4 minutos e 47 segundos, que se considerando a produção de 1000 placas por dia, correspondia a 10 postos de teste, sendo 3 para T1 e 7 para T2.

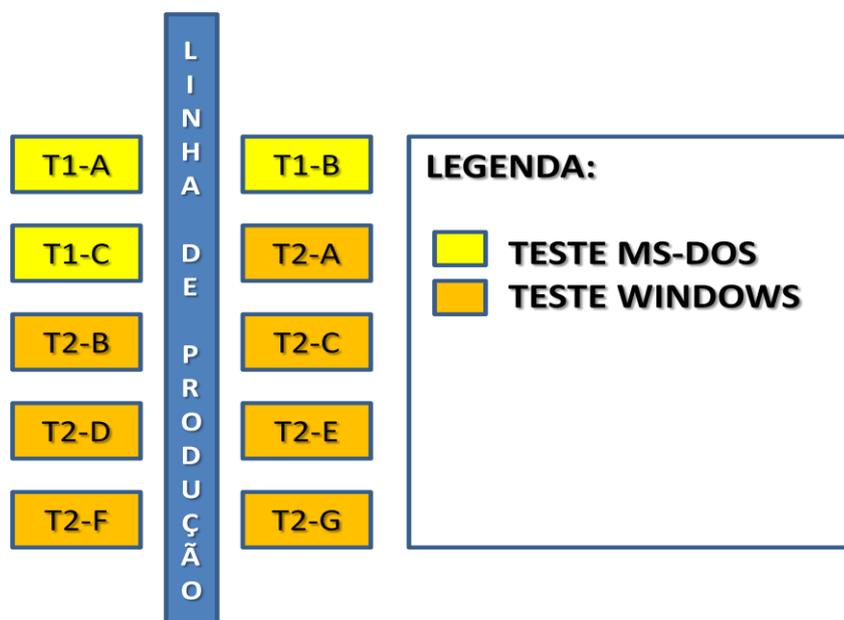


Figura 22 – Postos de testes funcionais separados

5.2 Primeira Otimização – Unificação dos testes

No primeiro posto de teste, T1 (Figura 22), o operador fazia as conexões, executava o teste em MS-DOS onde era feita a gravação do *MAC ADDRESS* e testes básicos para detecção de problemas funcionais e ao concluir os testes fazia a desconexão de todos os periféricos e destinava a placa na linha de produção para o próximo posto conforme visualizado na Figura 22. No segundo posto de teste, T2 (Figura22), a placa era retirada da linha de produção e se fazia novamente todas as conexões e em seguida se realizava o teste em Windows, para finalmente desconectar, novamente, todos os periféricos e soltar a placa na linha de produção.

Tendo como base a sequência acima descrita, na primeira análise que foi feita no sistema de teste inicial, observou-se, através do método convencional de cronoanálise, que havia perda durante a etapa onde se conectava e desconectava os periféricos, tendo em vista que no teste em Windows, a placa era novamente conectada e desconectada.

Unificou-se, então, para que um mesmo posto fizesse a gravação do *MAC ADDRESS* em MS-DOS e em seguida fizesse um segundo *boot* em Windows XP e realizasse os testes funcionais, com isso reduziu-se em 30% o tempo de teste, que ficou em 201 segundos, isto é, 3 minutos e 21 segundos, e padronizou-se o método de teste de forma que só houvesse uma única forma de testar com todos os postos de testes iguais conforme visto na Figura 23.

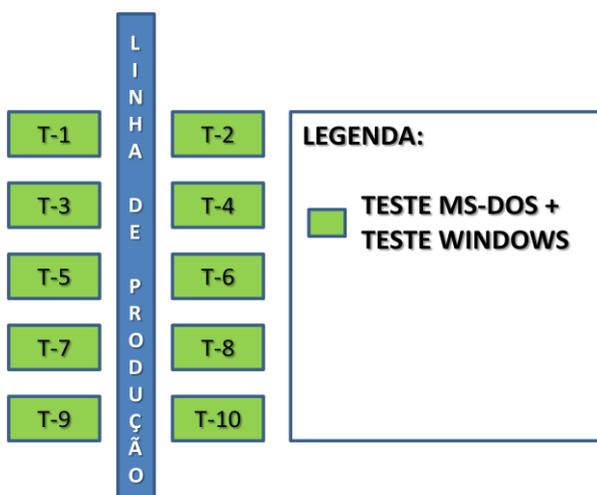


Figura 23 - Postos de testes funcionais unificados

5.3 Sistema de Captura de Imagens

Após, a implementação do novo sistema de teste, observou-se que ainda existiam tempo ociosos no processo de teste e para agilizar a forma de obtenção dos tempos e otimizar a forma de análise dos tempos envolvidos foi desenvolvida uma ferramenta de captura de imagens.

5.3.1 Método através do Sistema de Captura de Imagens

Este sistema veio para otimizar o trabalho dos analistas poupando o tempo de coleta do ciclo das operações e análise dos mesmos. Através da utilização de uma máquina filmadora comum, que grava todo o ciclo de cada posto quantas vezes for necessária, para posterior análise. Depois, adiciona-se o vídeo no sistema conforme visto na Figura 24. Em seguida, é feito o cadastro da área, do local de trabalho e da atividade, para em seguida executar o filme e simultaneamente a cronometragem do posto, momento esse em que o analista pode observar todo o trabalho do operador e fazer análise do método utilizado.

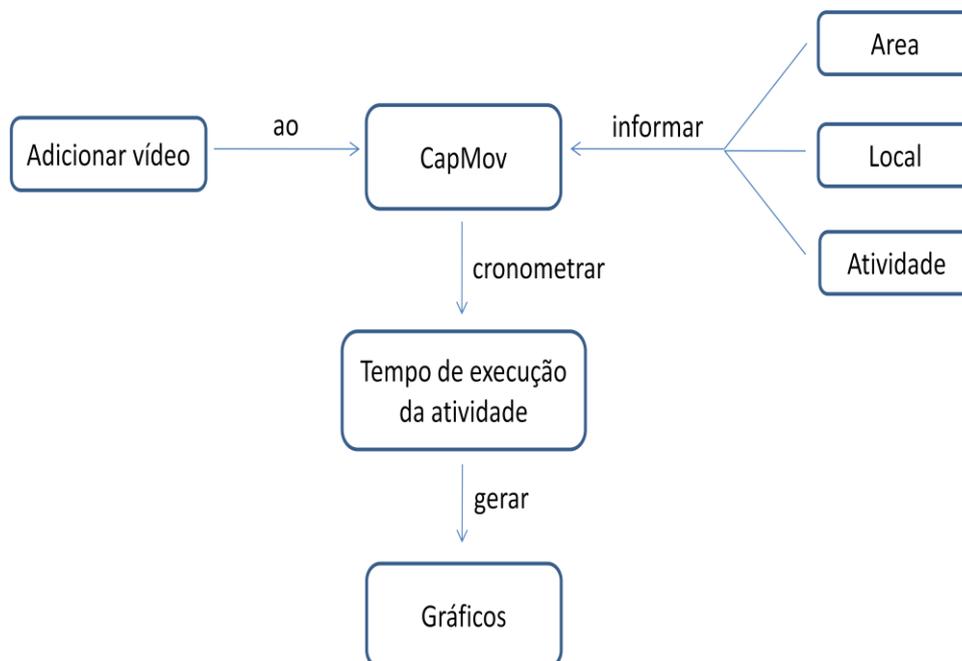


Figura 24 - Fluxo de Informações do CapMov

Na Figura 25, pode-se observar a aparência do sistema de captura, ou seja, os locais de abrir o vídeo, iniciar a reprodução do filme, registrar o tempo de operação, selecionar a posição escolhida no filme, exportar para o Excel, apagar a linha da planilha e visualizar o vídeo, a área da atividade, o local da atividade, o cronômetro da atividade, a atividade e o tempo de execução.

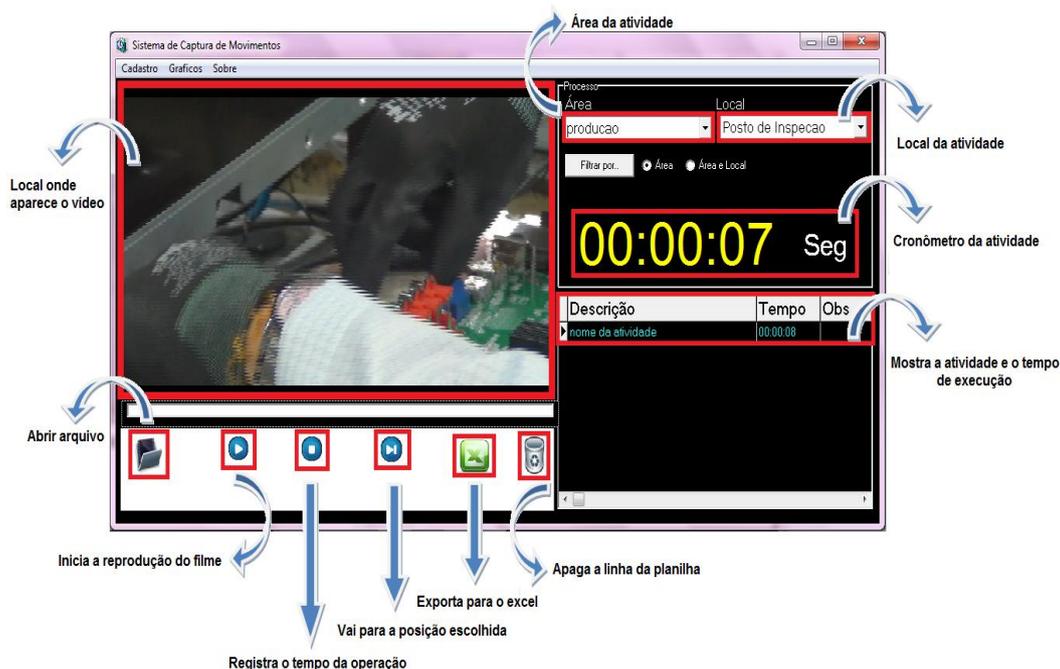


Figura 25 - Tela Inicial do Sistema de Captura de Movimentos

Com esse sistema, evita-se o transtorno e o incômodo para o operador da presença de alguém próximo dele dando uma garantia do operador estar trabalhando normalmente sem receios devido a presença de alguém como do método anterior.

Quando se determina o tempo de execução de uma tarefa é preciso levar em conta a velocidade com que o operador está realizando a operação, para tornar o tempo utilizável para todos os trabalhadores. Feita a análise e tendo todos os tempos (uma sequência de 10 tempos), o software gera o gráfico de barras, onde são digitadas as informações da Meta de Produção (Target), do Limite Inferior de Controle (LIC) e do Limite Superior de Controle (LSC). Com que é calculado de acordo com demanda do Produto que está em estudo para em seguida demonstrar o balanceamento dos postos (Figura 26).

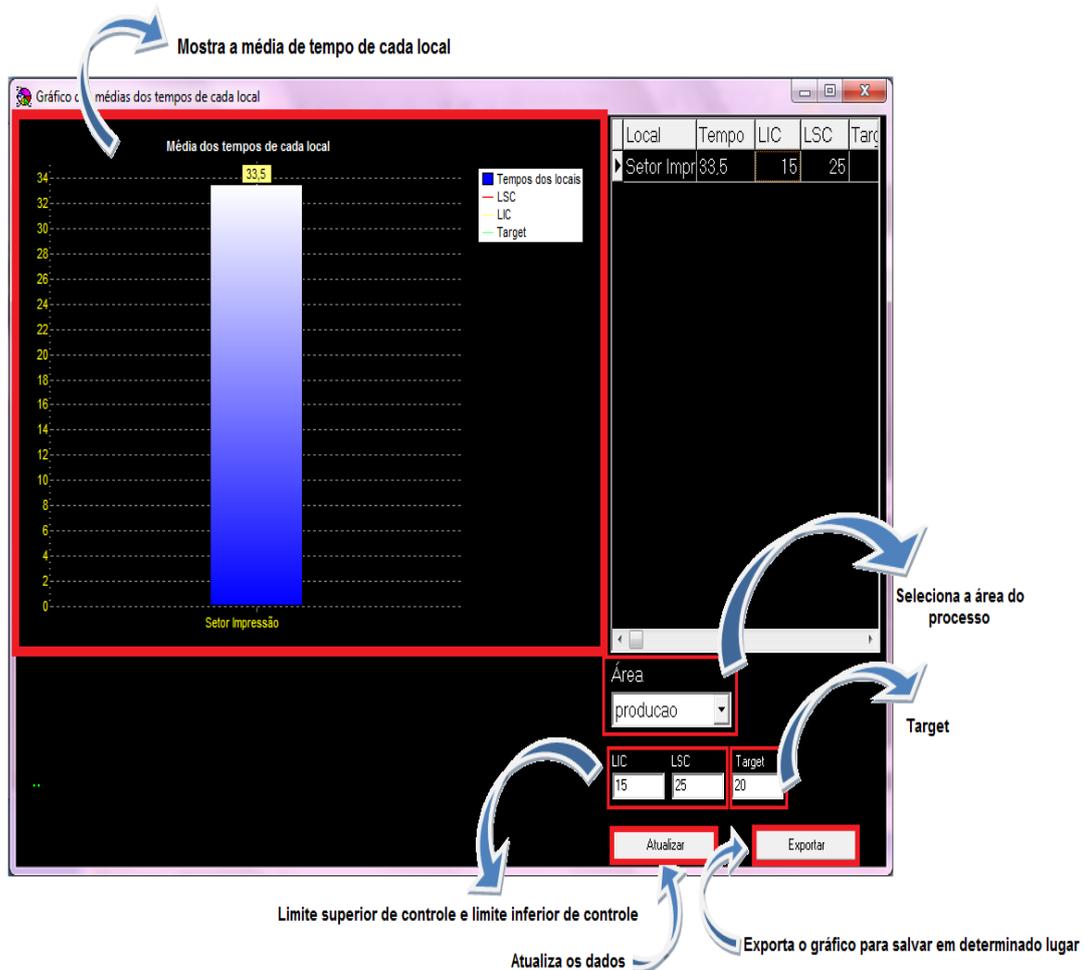


Figura 26 – Gráfico gerado pelo sistema de captura de imagens

Algumas das possíveis vantagens da implantação do Sistema de Captura de Movimentos, são as seguintes:

- **Economia de Recursos:** Através do Sistema de Captura de Movimentos se reduz o tempo de coleta e análise dos postos.
- **Melhora na Qualidade da Informação:** Como a coleta dos dados é feita a filmagem dos postos, obtém-se a situação real do posto e do operador.
- **Mudança cultural:** O Sistema de Captura de Imagens dá a idéia de melhoramento contínuo de forma sistemática, favorecendo o melhor aproveitamento da coleta de dados.

5.3.2 Comparativo

Realização de Cronoanálise, levando em consideração 10 postos de trabalho.

Tabela 1 - Comparativo entre os métodos convencional e com sistema de captura

Método Convencional		Método Sistema Captura de Imagens	
Tarefas	Tempo(d)	Tarefa	Tempo(d)
Definição postos/conscientização Descrição e divisão de operação Fazer rascunho do local	1 dia	Definição postos/conscientização Descrição e divisão de operação Fazer rascunho do local	2 dias
Realizar cronometragem Calcular nº de ciclos a cronometrar	3 dias	Realizar cronometragem Calcular nº de ciclos a cronometrar	
Calcular Tempo Médio Determinar frequência Avaliar ritmo Calcular Tempo Normal Determinar tolerâncias Calcular tempo Padrão	1 dia	Calcular Tempo Médio Determinar frequência Avaliar ritmo Calcular Tempo Normal Determinar tolerâncias Calcular tempo Padrão	1 dia
Total	5 dias		3 dias

O Estudo de Tempos e Movimentos sempre teve um papel importante na determinação da produtividade de uma indústria. Produzir o que foi determinado é o lema principal de uma empresa, diante disso quanto mais rápido o retorno do resultado de um estudo de Tempos e Métodos para determinar o melhor e mais eficiente método de execução de uma tarefa, melhor para a empresa atingir as metas determinadas de produtividade. De acordo com a Tabela 1, que demonstra o Comparativo dos dois métodos de estudo, nota-se que com o uso do Método do Sistema de Captura de Imagens, houve uma redução no tempo de execução das análises de cronoanálise.

5.4 Segunda Otimização – Testes duplos

Tendo como base o sistema de teste com um dispositivo único, levantou-se os tempos relacionados a cada elemento através do sistema de captura de imagens e chegou-se ao um tempo de 201s conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Tempo de teste individual com SO Windows

ITEM	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES TESTE WINDONS	Tempo (s)
1	Pegar a PCI da esteira e posicionar no jig de teste	5,0
2	Inserir processador, memórias, PCI debug e conectar cooler, cabos vga, mouse, teclado, áudio, leitor ótico, rede, HD e por último fonte de alimentação	48,0
3	Fazer gravação do MAC, teste desligará automaticamente	35,0
4	Aguardar carregamento do sistema WINDOWS XP e observar a atualização da data e hora	47,0
5	Na janela MAC PLUS verificar se o MAC exibido corresponde com o MAC da etiqueta	8,0
6	Na janela de gravação de áudio, efetuar uma gravação e ouvir	15,0
7	Fazer registro da PCI no sistema SRP	5,0
8	Desligar PCI, desconectar cabos e placas auxiliares sendo que a fonte deverá ser desconectada primeiro, para então, dispor PCI testada e aprovada na esteira	34,0
9	Caso alguma PCI apresente defeito, separar para conserto técnico	4,0
10	Tempo Total	201,0

Levantou-se que existem tempos ociosos no processo de teste individual e que uma das formas de aproveitar esse tempo é realizando operações nesse intervalo. Desenvolveu-se, então, um dispositivo que permitisse o teste em duas placas independentemente para o aproveitamento do tempo ocioso. Na oportunidade, mudou-se o material de madeira para fenolite de alta tensão, pois o produto sob teste possui componentes sensíveis a ESD conforme se pode ver na Figura 27.



Figura 27 – Dispositivo para teste em duas placas independentemente (a e b respectivamente)

Esse dispositivo possui a possibilidade de teste em duas placas, todos os periféricos ficam na parte inferior do dispositivo. O procedimento de teste é o seguinte: O operador pega a placa na linha de produção, posiciona no lado disponível do dispositivo, faz as conexões e liga a placa, enquanto o sistema está sendo iniciado, o operador pega outra placa e posiciona no outro lado do dispositivo e faz todas as conexões, quando ele termina a placa anterior está esperando para iniciar o teste, quando o operador termina o teste ele desliga o sistema e realiza o teste da outra placa. Ou seja, ele aproveitará os tempos ociosos da iniciação do sistema de uma placa para fazer as conexões da outra.

Da mesma maneira que no dispositivo anterior foi usado o sistema de captura de imagens e foi constatado que o tempo ficou em 266 segundo (4 minutos e 26 segundos) para duas placas conforme visualizado na Figura 28, como o dispositivo testa 2 placas o tempo para cada placa ficou em 133 segundos (2 minutos e 13 segundos), proporcionando uma redução de aproximadamente 38% em relação ao teste anterior e de 46% de redução no tempo de teste inicial.

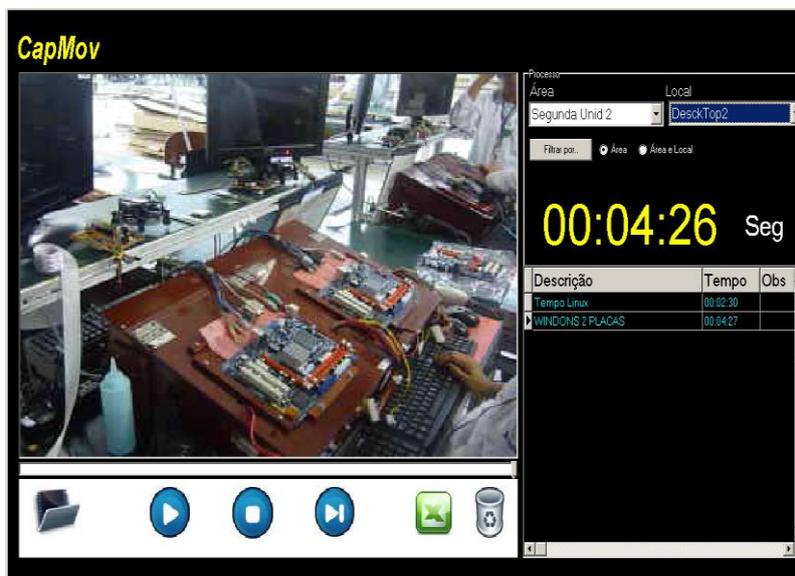


Figura 28 – Teste com duas placas avaliado pelo sistema de captura de imagens

5.5 Terceira Otimização – Sistema de Teste em Linux

Ainda com base nos tempos levantados, observou-se que o sistema de teste fornecido pelo parceiro chinês apresentava algumas dificuldades para a otimização do processo de teste, pois havia dependência do parceiro para qualquer melhoria na funcionalidade. Além disso, o tempo de inicialização era muito demorado, apesar do ganho obtido com as melhorias até então implementadas. Dessa forma, optou-se por desenvolver um sistema de teste proprietário com as características da empresa e com base no sistema Linux, tendo em vista que o mesmo é gratuito e que o tempo de inicialização é bem menor que o dos sistemas em Windows, além da baixa influência de vírus.

Desenvolveu-se, então, um sistema de teste funcional em Linux denominado Aplicação de Teste e com interação com o Sistema de Rastreabilidade (SRP) já utilizado pela empresa. Dessa forma, todos os dados decorrentes dos testes estariam guardados em uma mesma base de dados e que poderiam ser utilizados para análises de melhoria nos índices de qualidade conforme visto na Figura 29, além de garantir que todas as placas fossem testadas da mesma maneira e com os mesmo critérios.

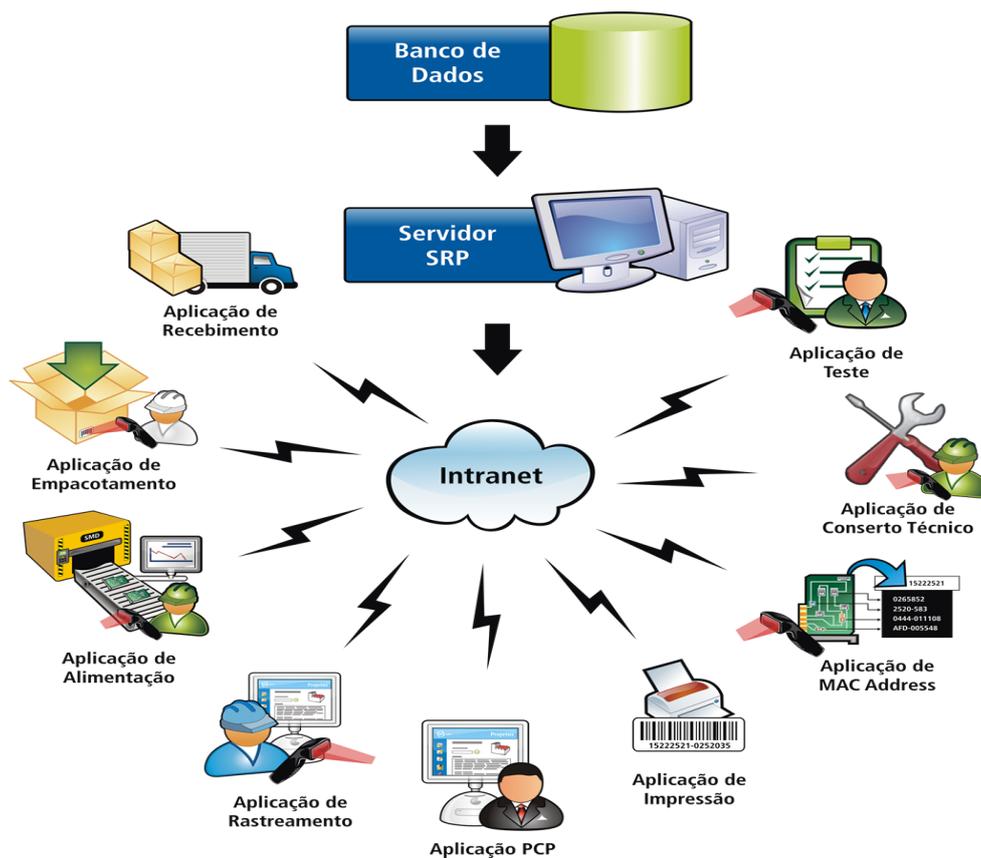


Figura 29 - Estrutura do Sistema de Rastreabilidade (SRP)

Com base na Figura 29, pode-se ver que todas as aplicações utilizadas na Digiboard, como a Aplicação de *MAD ADDRESS*, Aplicação de Conserto Técnico e a Aplicação de Teste que foi desenvolvida para otimizar o teste funcional, utilizam a mesma base de dados e estão todas interligadas. Na Figura 30 pode-se ver com mais detalhes a Aplicação de Teste.

Além dos ganhos qualitativos relacionados à interação com o SRP e com a padronização da sequência dos testes, utilizou-se novamente o Sistema de Captura de Movimentos (CapMov) para avaliar os tempos relacionados com essa nova proposta de teste e que pode ser mostrado na Tabela 3 para uma única placa e visualizado na Figura 28 para duas placas sob teste.

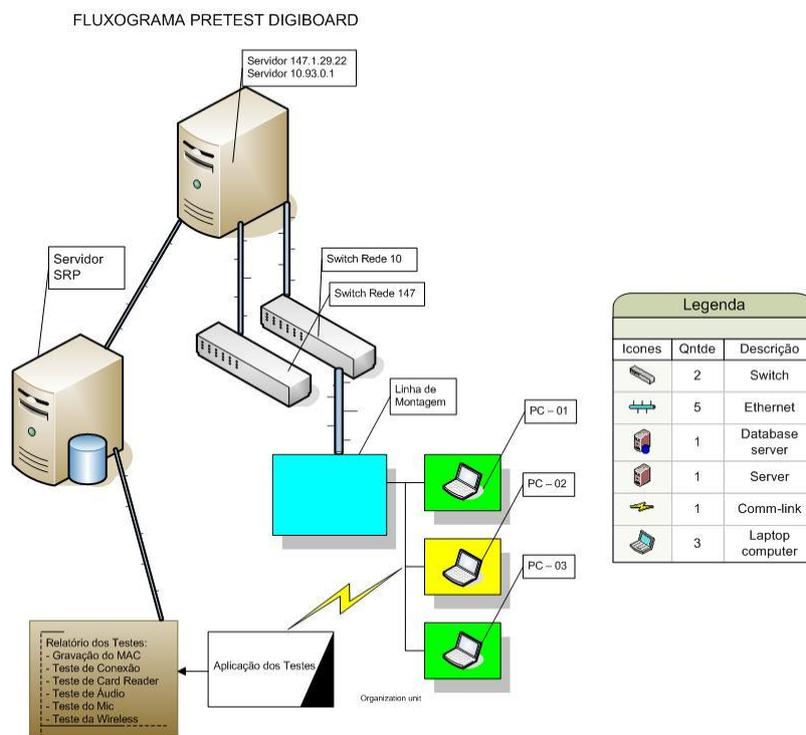


Figura 30 – Fluxograma da aplicação de teste em Linux

Tabela 3 - Levantamento dos tempos para teste com Linux

ITEM	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES TESTE LINUX	Tempo (s)
1	Pegar a PCI da esteira e posicionar no jig de teste	5,0
2	Inserir processador, memórias, PCI debug e conectar cooler, cabos vga, mouse, teclado, áudio, leitor ótico, rede, HD e por último fonte de alimentação	48,0
3	Iniciar teste acionando botão ON da PCI debug	1,0
4	Realizar setup da PCI, acionando as teclas F1, ENTER, F10 ENTER	3,0
5	Fazer leitura do MAC, PCI desligará automaticamente	12,0
6	Ligar novamente jig de teste, aguardar o carregamento do sistema LINUX e fazer leitura do endereço MAC, para reconhecimento da REDE e acionar a tecla ENTER	18,0
7	Observar teste automático do áudio e confirmar na opção SIM	10,0
8	Executar uma gravação e confirmar na opção SIM	4,0
9	Na janela RESULT observar resultado dos testes efetuados e confirmar na tecla ENTER	6,0
10	Fazer registro da PCI no sistema SRP	5,0
11	Desligar PCI, desconectar cabos e placas auxiliares sendo que a fonte deverá ser desconectada primeiro, dispor PCI testada e aprovada na esteira	34,0
12	Caso alguma PCI apresente defeito, separar para conserto técnico	4,0
13	Tempo Total	150,0

O que se observa é que para uma única placa sob teste, o ganho em produtividade é de aproximadamente de 25% com o sistema em Linux, pois o tempo ficou em 150 segundos (2 minutos e 30 segundos) e de

aproximadamente 28% para o teste com duas placas, levando em consideração o novo tempo de 192 segundos. Se for considerado o teste com duas placas em Linux com a condição inicial com uma placa em Windows teremos aproximadamente 67% de melhoria no tempo inicial.

5.6 Quarta Otimização – Sistema semi-automático

Na quarta proposta, o objetivo era de eliminar as conexões manuais por conexões mecânicas e assim reduzir o tempo gasto para conectar e desconectar os principais periféricos. Inicialmente, foi analisada a possibilidade de substituir todos conectores por agulhas de teste conforme pode ser visualizado na Figura 31, onde a agulha de teste faz contato com o pino do conector e através de cabo a mesma é interligada com o seu respectivo periférico.

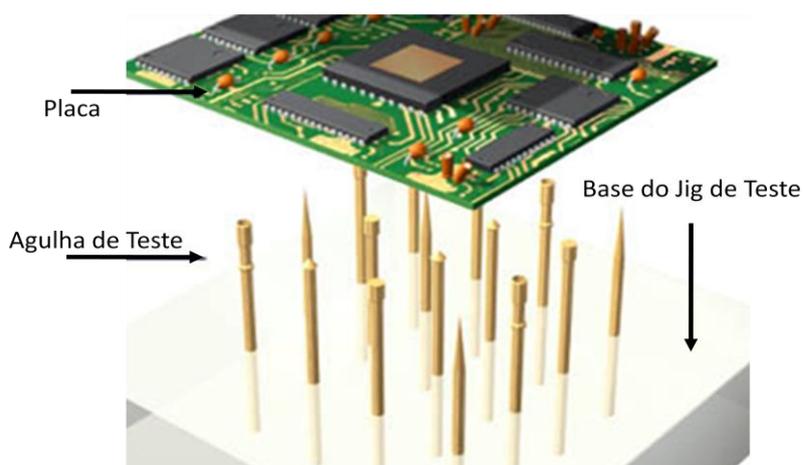


Figura 31 - Conexão através de Agulhas de Teste

Para que o sistema de agulha funcione, é necessário existir uma base, foi então desenvolvida uma base com engates para segurar a placa e um sistema pneumático composto de eixo, cilindro e válvulas para dar o movimento de subida/engate e descida/desengate da placa no jig de teste conforme pode ser visualizado na Figura 32.

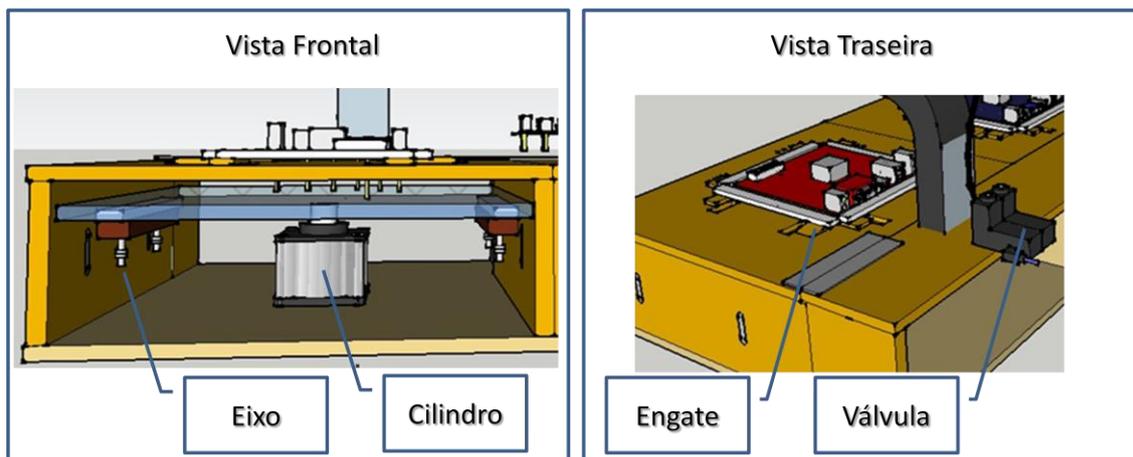


Figura 32 - Vistas frontal e traseira do jig de teste

Para esse tipo de dispositivo, o procedimento do operador era somente pressionar as teclas de comando para que o teste fosse iniciado, além da leitura automática do código de barras do *MAC ADDRESS* conforme visto na Figura 33.

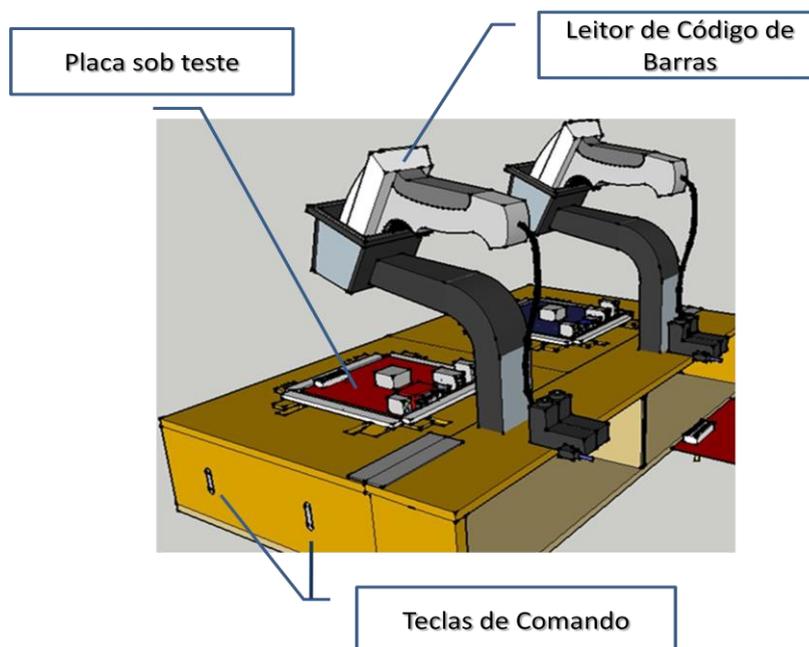


Figura 33 - Vista lateral traseira do jig de teste

Com base nesse dispositivo, visto na Figura 34, obteve-se um ganho de aproximadamente 20% com relação aos testes anteriores, pois o novo tempo ficou em 77 segundos (1 minuto e 17 segundos) para uma placa,

correspondendo a uma redução geral de 73% em relação ao sistema de teste inicial.



Figura 34 – Dispositivo eletro-pneumático

5.7 Resultados

Demonstra-se, assim, através do quadro resumo (Figura 35), que houve reduções consideráveis a cada proposta implementada e que no final conseguiu-se chegar a uma otimização de 210 segundos (3 minutos e 30 segundos) comparativamente entre a situação final e a inicial. Impactando, assim, numa melhoria de 73% no tempo de teste funcional da placa de circuito impresso montada para computador pessoal.

SITUAÇÃO	TEMPO (s)	REDUÇÃO (%)	ACUMULADO (%)
INICIAL	287	-	-
UNIFICAÇÃO	201	30	30
TESTE DUPLO	133	38	46
TESTE EM LINUX	96	28	67
TESTE MECANIZADO	77	20	73

Figura 35 - Quadro resumo com os tempos em cada proposta

5.7.1 Evolução da produção e dos postos

Tendo como base o quadro resumo da Figura 35 e considerando que o tempo disponível por dia é de 30.000 segundos, tem-se duas observações interessantes que podem ser mostradas através da Figura 36. A primeira considerando o número de postos de teste fixos em 10 como existia na situação inicial, tem-se na coluna produção a evolução da quantidade de produtos diários que poderiam ser montados conforme cada otimização do tempo de teste, ou seja, poderia chegar a 3.896 placas montadas com a mesma quantidade de postos de teste iniciais. A segunda considerando a quantidade de 1.000 placas montadas diariamente, observa-se na coluna postos a redução da quantidade de postos de teste a cada nova proposta implementada, ou seja, reduz-se de 10 postos iniciais para 3 postos na última proposta.

SITUAÇÃO	TEMPO (s)	Produção	Postos
INICIAL	287	1045	10 (9,5)
UNIFICAÇÃO	201	1492	7 (6,7)
TESTE DUPLO	133	2255	5 (4,4)
TESTE EM LINUX	96	3125	4 (3,2)
TESTE MECANIZADO	77	3896	3 (2,5)

Figura 36 - Quadro resumo com evolução da produção e postos

Durante a realização do referido trabalho, a Digiboard optou em determinados momentos em aumentar a produção com os postos fixos e em outras situações em reduzir a quantidade de postos de teste mantendo a produção fixa.

5.7.2 Impacto nos custos

Considerando que o custo de produção é diretamente proporcional ao número de postos e inversamente proporcional à quantidade produzida. Não se poderia deixar de considerar qual seria o impacto no custo dos testes baseado nos tempos relacionados com cada proposta.

Para essa análise, foi considerada uma moeda fictícia denominada dinheiro que será representada pelo símbolo D\$.

Considerando que o custo com operador que realiza o teste é de D\$ 2.000,00 mensais, que o investimento no desenvolvimento de cada jig de teste é de D\$ 5.000,00, que o custo mensal de manutenção com cada jigs de teste é de D\$ 500,00, que o investimento com a infra-estrutura de cada posto é de D\$ 5.000,00, que o investimento com o desenvolvimento de jigs pneumáticos é de D\$ 15.000,00, que a produção funciona durante 11 meses no ano e que anualmente ocorre a entrada de 5 modelos novos temos o seguinte quadro mostrado na Figura 37.

SITUAÇÃO	Postos	Salário D\$	Jigs D\$	Infra-estrutura D\$	Manutenção D\$	Novos modelos D\$	Total D\$
INICIAL	10	220.000,00	50.000,00	50.000,00	55.000,00	-	375.000,00
UNIFICAÇÃO	7	154.000,00	35.000,00	35.000,00	38.500,00	-	262.500,00
TESTE DUPLO	5	110.000,00	25.000,00	25.000,00	27.500,00	-	187.500,00
TESTE EM LINUX	4	88.000,00	20.000,00	20.000,00	22.000,00	-	150.000,00
TESTE MECANIZADO	3	66.000,00	15.000,00	15.000,00	16.500,00	225.000,00	337.500,00

Figura 37 - Quadro do custo anual com o teste

Observando-se a Figura 37, verifica-se que a terceira otimização, que corresponde ao teste Linux, reduziu o custo anual com o teste em D\$ 225.000,00, ou seja 60% de redução no custo de teste e que a última otimização com o teste mecanizado somente reduziu 10%, ou seja D\$ 37.500,00.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

Através dos ganhos de produtividade, ficou evidenciado, que se utilizando a criatividade aliada ao conhecimento adquirido, não há necessidade de que empresas instaladas no Brasil, fiquem totalmente dependentes dos conhecimentos dos seus parceiros internacionais, pois as realidades e os custos brasileiros são diferentes. No final desse projeto, todo conhecimento em desenvolvimento está no domínio da empresa nacional.

Tendo em vista todas as melhorias, vale a pena destacar que a última proposta de otimização possui alguns inconvenientes em sua efetiva aplicação, pois necessitaria investimento elevado para confecção dos dispositivos eletro-pneumáticos e a confecção de dispositivo para cada placa diferente sob teste. Como nas alternativas anteriores, os dispositivos são ajustáveis para qualquer tipo de placa MB. Assim, optou-se por não implementar a última proposta.

6.2 Proposta para trabalhos futuros

Como sugestão para aprimoramento do referido trabalho segue alguns tópicos:

- Melhoria no sistema eletro-pneumático de forma que se possa padronizar o mesmo para diferentes tipos de placas para computadores. Assim, o custo com investimentos com esse tipo de jig para cada novo produto poderá ser reduzido;
- Desenvolver dispositivos eletrônicos que permitam que todas as decisões do sistema de teste independam do operador, evitando assim erros de avaliação. Apesar das mudanças com as otimizações e com desenvolvimento do sistema de teste em Linux, ainda existem operações que dependem da decisão do operador, como por exemplo, o teste do *mic* e dos

auscultadores, onde o operador precisa falar e depois ouvir e sinalizar para o sistema se o teste foi aprovado. Isso não garante que o teste foi realizado, se houvesse um sistema eletrônico que gerasse um sinal de áudio e entrasse no lugar do microfone e medisse o retorno desse sinal e informasse ao sistema de teste a aprovação, esse teste seria independente do operador.

- Desenvolver testes funcionais utilizando as ferramentas de *Boundary Scan* com o objetivo de identificar mais facilmente as causas dos defeitos e aumentar a velocidade do teste. Pois esse sistema começa a ser utilizado em outros tipos de produtos e os fornecedores de componentes para computadores, já começaram a disponibilizar essa ferramenta nos seus componentes eletrônicos, permitindo assim a comunicação direta entre o sistema de teste e os principais componentes montados nas placas.

REFERÊNCIAS

ALECRIM, Emerson. **Placa Mãe – Principais Características**. Disponível em:
< <http://www.infowester.com/motherboard.php> >.

Acesso em: 03 de março 2011.

ANIS, Gerson C. **A importância dos estudos de tempos e métodos para controle da produtividade e qualidade**.

Disponível em: < www.polimeroseprocessos.com/imagens/tempometodos >.

Acesso em: 22 de agosto de 2011.

ANTUNES, Junico *et. al.* **Sistemas de produção: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

ARRUDA, Felipe. **O que é memória ROM? – Tecmundo**. Disponível em:

< <http://www.tecmundo.com.br/9346-o-que-e-memoria-rom-.htm> >.

Acesso em: 28 de março de 2011.

ASSET. **White paper: comparing board test strategies**. Disponível em:

< http://www.asset-intertech.com/download/board_test_strategies.pdf > .

Acesso em: 22 de abril de 2011.

BAFFI, Maria Adelia Teixeira. **Modalidades de pesquisa: um estudo introdutório**.

Disponível em: < http://usuarios.upf.br/~clovia/pesq_ens/textos/texto02.pdf>

Acesso em: 25 de novembro de 2011.

BENNATON, Jocelyn F. **O que é otimizar?**. Disponível em:

< http://www.lps.usp.br/neo/jocelyn/que_e_otimizar.htm >.

Acesso em: 07 de setembro de 2011.

BOTELHO, João. **Como funciona a Zona Franca de Manaus**. Disponível em:

<<http://empresasefinancas.hsw.uol.com.br/zona-franca-manaus.htm/printable>>.

Acesso em: 7 de março de 2011.

BOTTARO, Marcos César. **Informática básica – Sistemas operacionais – aplicativos**. Disponível em:

< www.mcbottaro.com.br/apostilas/info/Apostila%20Info%20IV%20DOS.pdf >.

Acessado em: 29 de agosto de 2011.

BRAGA, Giancarlos M. **Guia de Hardware para iniciantes**. Disponível em :

< <http://www.infowester.com/guiahdinic.php> >. Acesso em: 03 de março 2011.

BURR, Irving Wingate. **Statistical Quality Control Methods**. New York: Marcel Dekker, 1976.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC: Controle Total da Qualidade no estilo japonês**. 8 ed. Belo Horizonte: INDG, 2004.

CAMPOS, Augusto. **O que é Linux**.

Disponível em: <<http://br-linux.org/faq-linux>>.

Acesso em: 29 de agosto de 2011.

DARLAN, Diego. **O que é um sistema operacional**. Disponível em:

<

http://www.oficinadanet.com.br/artigo/851/o_que_e_um_sistema_operacional>

Acesso em: 27 de agosto de 2011.

DEZEM, Vanessa. **Indústria de eletrônicos volta a ser ameaçada pela ilegalidade**. Disponível em:

<<http://ultimosegundo.ig.com.br/economia/2009/02/12/industria+de+eletronicos+volta+a+ser+ameacada+pela+ilegalidade+4030912.html>>.

Acesso em: 25 de fevereiro de 2009.

DORO, Marcos Marinovic. **Sistemática para implantação da garantia da qualidade em empresas montadoras de placas de circuito impresso**. 2004. 152 p. Dissertação (Mestrado em Metrologia) – Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial. Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.

FEIGENBAUM, Armand Vallin. **Controle da Qualidade Total: gestão e sistemas**. Vol.1. São Paulo: Makron Books, 1994.

FURASTÉ, Pedro Augusto. **Normas Técnicas para o Trabalho Científico: Elaboração e Formatação. Explicação das Normas da ABNT**. 14.ed. Porto Alegre: s.n., 2008.

FUSE. **Printed Circuit Board and Surface Mount Design**.

Disponível em: <<http://www.fuse-network.com/fuse/training/index.html>>.

Acesso em: 21 de abril de 2011.

GALLORO, Lídia Rosa R. Sacco, STEPHANI, Douglas Edvandro. **Custos da qualidade e da não-qualidade**. In: _____ Conselho Regional de Contabilidade do Estado de São Paulo. Custos como ferramenta gerencial. São Paulo: Atlas, 1995. cap.7,p.133–153.

GARVIN, David A. **Gerenciando a qualidade: a versão estratégica e competitiva**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOUVEIA, Luis Manoel Borges. **Apontamentos sobre MS-DOS**.

Disponível em: < http://www2.ufp.pt/~lmbg/textos/ms_dos.pdf >
Acesso em: 29 de agosto de 2011.

HUTCHINS, Charles L. **Troubleshooting the Surface Mount and Fine Pitch Technology process**. USA: C. Hutchins and Associates, 1997.

IDOETA, Ivan V; CAPUANO, Francisco G. **Elementos de eletrônica digital**. 39 ed. São Paulo: Érica, 2004.

JURAN, J. M., GRZYNA, Frank M. **Controle da qualidade handbook: conceitos, políticas e filosofia da qualidade**. São Paulo: Makron Books, 1991. V.1.

LIDÓRIO, Cristiane. **Tecnologia da confecção (apostila)**. Araranguá: Instituto Federal de Santa Catarina, 2008.

MCCLOSKEY, A. **Research: DDR FAQ**.

Disponível em: < <http://www.ocmodshop.com/ddr3-faq/> .>
Acesso em: 21 de abril de 2011.

MDIC. **O que é o PPB?: conceito e breve histórico**. Disponível em:
<<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=1103>>
Acesso em: 7 de março de 2011.

MORAES, André Luis. **Otimização do processo produtivo de montagem de placas SMT**. 2006. 30f. Monografia apresentada à Faculdade de Jaguariúna para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

MORIMOTO, Carlos E. **Disco Rígido – Definição de disco rígido – Guia do hardware**. Disponível em: < <http://www.hardware.com.br/termos/disco-rigido> >.
Acesso em: 22 de agosto de 2011.

NOYES, Katherine. **Windows XP completa 10 anos**. Disponível em:
<<http://cio.uol.com.br/noticias/2011/08/24/windows-xp-completa-10-anos/#ir>>
Acesso em: 29 de agosto de 2011.

OLIVEIRA, José Palazzo . **Disco magnético**.

Disponível em: < <http://palazzo.pro.br/disco.htm> >.
Acesso em: 22 de agosto de 2011.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.

PEREIRA, Ana Paula. **MS-DOS completou 30 anos de existência – Tecnomundo**. Disponível em: < <http://www.tecmundo.com.br/11968-ms-dos-completou-30-anos-de-existencia.htm#ixzz1WSxlee00> >
Acessado em: 29 de agosto de 2011.

PRATES, Denilson. **Interpretador de comandos**. Disponível em:

< http://www.oficinadanet.com.br/artigo/1253/interpretador_de_comandos >
Acesso em: 27 de agosto de 2011.

PRESTES, Maria Luci de Mesquita. **A pesquisa e a construção do conhecimento científico: do planejamento aos textos, da escola à academia**. 4 ed. São Paulo: Rêspel, 2008.

ROBLES JÚNIOR, Antônio. **Custos da Qualidade: aspectos econômicos da gestão da qualidade e da gestão ambiental**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

SANTOS, Gerson Tenório; ROSSI, Gisele; JARDILINO, José Rubens. **Orientações metodológicas para elaboração de trabalhos acadêmicos**. 2 ed. São Paulo: Gion Editora, 2000.

SANTOS, Javier; WYSK, Richard A.; TORRES, José M. **Otimizando a produção com a metodologia LEAN**. São Paulo: Leopardo, 2009.

SILVA, Edna Lucia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3 ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 2001.

SOLDAGEM POR ONDA.

Disponível em: < <http://smd-on-line.com/SoldagemOnda.htm>.>
Acesso em: 21 de abril de 2011.

STREET, Jorge. Placa mãe – principais características.

Disponível em: < <http://www.jorgestreet.com.br/> >
Acesso em: 22 de agosto de 2011.

SUFRAMA. Modelo Zona Franca – História.

Disponível em : < http://www.suframa.gov.br/zfm_historia.cfm.>
Acesso em: 7 de março de 2011.

TANENBAUM, Andrew S. **Sistemas operacionais modernos**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

TERADYNE. **Test strategies**. Disponível em: < <http://www.teradyne.com/>>
Acesso em: 22 de abril de 2011.

TOCCI, Ronald J. **Sistemas Digitais: princípios e aplicações**. 8 ed. São Paulo: Pearson, 2003.

TODD, Robert H.; ALLEN, Dell K. **Manufacturing Processes Reference Guide**. New York: Industrial Press Inc, 1994.

TOLEDO JR., Itys-Fides Bueno. **Racionalização Industrial**. 8 ed. São Paulo: Itys-Fides, 2007.

_____. **Cronoanálise**. 8 ed. São Paulo: Itys-Fides, 2004.

_____. **Tempos e métodos.** 11. ed. São Paulo: Itys-Fides, 2007.

TORRES, Gabriel. **Sata Dicionário – Clube do Hardware.**

Disponível em: < <http://www.clubedohardware.com.br/dicionario/termo/246> >.

Acesso em: 22 de agosto de 2011.

TUTORIAIS TÉCNICOS. Disponível em: < <http://smd-on-line.com/> >.

Acesso em: 21 de abril de 2011.

VASCONCELOS, Laércio. **Montagem e configuração de micros.** 2 ed. Rio de Janeiro: Laércio Vasconcelos, 2009.

VERGARA, Sylvia Constant. **Métodos de pesquisa em administração.** 4 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

VIEIRA, Sônia. **Como escrever uma tese.** 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

WILSON, Tracy V.; TYSON, Jeff. **HowStuffWorks - Como funcionam as placas de vídeo.**

Disponível em: < <http://informatica.hsw.uol.com.br/placas-de-video.htm> >

Acesso em: 22 de agosto de 2011.

YANGHMOUR, Karim *et. al.* **Construindo sistemas Linux embarcados.** 2 ed. Rio de Janeiro: Alta Books.2009.