

TÍTULO TCC
PROJETISTA VIRTUAL

NOME DO ALUNO
DANIEL ROBERTO RISSI
3494678701

ORIENTADORES
MARCIO RONALD SELLA

METODOLOGIA DO TCC
EXPLORATÓRIO

Campinas

2023

Daniel Roberto Rissi

PROJETISTA VIRTUAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico da Universidade Pitágoras Unopar Anhanguera
Orientador: Prof. Marcio Ronald Sella.

Campinas

2023

RESUMO

A vantagem competitiva das empresas está diretamente relacionada à sua capacidade de introduzir novos produtos e serviços no mercado, com qualidade, desempenho e custo que atendam às necessidades dos consumidores.

Neste trabalho busca-se uma metodologia para reduzir o tempo de desenho e programação CNC para usinagem de produtos. Os produtos devem possuir características semelhantes, que os caracterizem como processos repetitivos, de tal modo que as duas tarefas citadas possam ser reproduzidas através de uma programação baseada no projeto original.

A programação irá gerar desenhos e programas de usinagem, tudo isso automaticamente após inserir os parâmetros de entrada.

Com a integração destas atividades, o sistema incorpora a engenharia simultânea, pois as atividades sequenciais passam a serem executadas em paralelo, promovendo diminuição de custo e do ciclo de desenvolvimento ou alteração do produto com foco no aumento de qualidade do produto e no cliente.

Palavras-chave: Parametriação, redução de custo, integração da informação, engenharia simultânea.

LISTA DAS ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 - Desenho pré-histórico.....	10
Ilustração 2 - Desenho Medieval	10
Ilustração 3 - Perspectiva de uma peça.....	11
Ilustração 4 - Vistas 2D - Projeções Ortogonais.....	12
Ilustração 5 - As fases de um projeto.....	17
Ilustração 6 - Engenharia Sequencial x Engenharia Simultânea	20
Ilustração 7 - Estrutura básica de um programa CNC	22
Ilustração 8 - Abordagem Entidade-Relacionamento.....	25
Ilustração 9 - Requisição de dados via WEB.....	26
Ilustração 10 - Eixo escalonado de 3 corpos.....	28
Ilustração 11 - Campos de entrada de parâmetros	28
Ilustração 12 - Botões de Comando.....	29
Ilustração 13 – Relacionamento Cliente Servidor	29
Ilustração 14 - Diagrama de Entidade-Relacionamento para confecção do desenho ...	30
Ilustração 15 - Trecho da programação utilizando classe FPDF	30
Ilustração 16 - Parte do código fonte para desenhar a legenda do desenho.....	31
Ilustração 17 - Interligação da nuvem de pontos	32
Ilustração 18 - Desenho técnico gerado automaticamente pelo sistema.....	33
Ilustração 19 - Diagrama entidade-relacionamento Programa CNC	34
Ilustração 20 – Cabeçalho de variáveis parametrizadas	34
Ilustração 21 – Exemplo de Correspondências entre cabeçalho e corpo do programa.	35
Ilustração 22 – Trecho do código que insere as variáveis no cabeçalho do programa .	36
Ilustração 23 – Programa CNC para torneamento do eixo	37

LISTA DAS TABELAS

Tabela 1 - Comando Fanuc	22
Tabela 2 – Comparação de tempo sistema convencional e automático.....	38
Tabela 3 – Pesquisa de opinião dos usuários	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- CAE - *Computer-Aided Engineering*, Engenharia auxiliada por computador.
- CAM - *Computer-Aided Manufacturing*, Manufaturada auxiliada por computador.
- CATIA - Nome de Programa para desenhar auxiliado por computador.
- CFD - *Computational fluid dynamics*, dinâmica computacional de fluidos.
- CNC - Controle numérico computadorizado.
- EDS/UGS – Nome de Programa para desenhar auxiliado por computador.
- FEA - *Finite element analysis*, Análise de elementos finitos.
- FPDF - Biblioteca PHP para gerar documentos PDF.
- GNU - *General Public License*, Licença pública geral.
- GPL - *General Public License*, Licença pública geral.
- HTTP - *HyperText Transfer Protocol*, Protocolo de Transferência de Hipertexto.
- ISO - *International System Organization*, Sistema de Organização Internacional.
- MDB - Tipo de análise dinâmica de multicorpos.
- NC - *Numeric Control*, Comando numérico.
- PDF - *Portable Document Format*, Formato de document portátil.
- PHP - *Personal Home Page*, linguagem de programação.
- Pro-Engineering - Nome de Programa para desenhar auxiliado por computador.
- UG - Nome de Programa para desenhar auxiliado por computador.
- WEB - *World Wide Web*, Rede de alcance mundial.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
1.1	INTRODUÇÃO	7
1.1	MOTIVAÇÃO	7
1.2	JUSTIFICATIVA.....	8
1.3	OBJETIVO.....	8
1.3.1	Objetivos específico	8
1.3.2	Objetivos mensuráveis.....	8
1.3.3	Objetivos não mensuráveis.....	9
1.4	METODOLOGIA	9
2.	DEFINIÇÕES	10
2.1	HISTÓRIA DO DESENHO.....	10
2.2	DESENHAR	11
2.3	DESENHO TÉCNICO.....	11
2.3.1	Desenho em perspectiva	11
2.3.2	Desenho em vistas	12
2.3.3	Normas de desenho técnico	12
2.3.4	Elementos fundamentais do desenho técnico	13
2.4	DESENHO AUXILIADO POR COMPUTADOR – CAD.....	13
2.4.1	Repetição de atividades com Autocad	14
2.5	EXTENSÕES DE ARQUIVOS DE DESENHO DIGITAL.....	14
2.6	ARQUIVOS PDF.....	14
2.6.1	Geração de PDF com FPDF	15
2.7	PROGRAMAS CAD GRATUITOS	16
2.8	DESENHOS PARAMÉTRICOS	16
2.9	DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO.....	16
2.10	AS FASES DE UM PROJETO.....	17
2.10.1	Identificação de uma necessidade.....	17
2.10.2	Definição do problema	18
2.10.3	Síntese	18
2.10.4	Análise e otimização.....	18
2.10.5	Avaliação	19
2.10.6	Apresentação	19
2.11	ENGENHARIA SIMULTÂNEA.....	19
2.12	SISTEMAS INTEGRADOS DE MANUFATURA	20
2.13	MÁQUINA FERRAMENTA	21

2.13.1	Centro de torneamento.....	21
2.14	CNC – COMANDOS NUMÉRICOS COMPUTADORIZADOS.....	21
2.14.1	Linguagem de programação CNC para torneamento.....	22
2.15	ENGENHARIA DE SOFTWARE.....	24
2.15.1	Definição da arquitetura do sistema.....	24
2.15.2	Diagrama de fluxo de dados e entidade e relacionamento.....	24
2.15.3	Sistema WEB – transação da informação.....	25
2.15.4	Servidor WEB	26
2.15.5	Apache.....	26
2.15.6	PHP.....	27
2.15.7	Software livre	27
3.	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA EXPERIMENTAL.....	28
3.1	REQUISITOS DO SISTEMA.....	28
3.2	DESENVOLVIMENTO DO DESENHO TÉCNICO.....	29
3.3	GERAÇÃO DO PROGRAMA CNC PARA TORNEAR A PEÇA.	33
4.	RESULTADOS OBTIDOS.....	38
4.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	39
5.	CONCLUSÃO.....	40

1 INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

Atualmente os projetos mecânicos e programação CNC são desenhados e programados por diferentes tipos de software que por sua vez possuem diferentes preços e necessitam de usuários treinados.

Geralmente, utiliza-se a parametrização para produtos com características semelhantes, com variações dimensionais, materiais, tratamento térmico, etc.

Esta prática, reduz o tempo de geração de desenhos e programação CNC.

Pode-se citar o exemplo de um prisma, onde tem-se três parâmetros dimensionais: Altura, Largura e Comprimento; este mesmo prisma pode ser desenhado uma única vez e nas cotas ao invés de colocar a medida, é colocado o parâmetro (nome de uma variável) e ao lado do desenho é construída uma tabela, onde é atribuído o valor dimensional, onde cada linha ou coluna da tabela representa um novo prisma.

A junção da parametrização dos três tópicos citados (desenho e programa CNC) podem ser encontrados apenas em software de alta performance (Catia, UG, Pro-E.).

Se a empresa não disponibilizar de recursos para ter um software de alta performance e os especialistas para operá-lo, ela deverá tratar as atividades separadamente com software de baixo custo, porém ela deve manter os especialistas em: projeto e programação CNC.

1.1 MOTIVAÇÃO

Buscar uma alternativa que repliquem atividades conhecidas de forma parametrizada, de modo que qualquer pessoa envolvida com a atividade possa realizá-la sem a necessidade de se tornar um especialista no assunto, disponibilizando assim os especialistas para novos desenvolvimentos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Espera-se com este trabalho a redução de 90% do tempo das atividades: Desenho e programação CNC utilizando o aplicativo em qualquer plataforma WEB ou sistema operacional, podendo ser acessado de qualquer lugar através dos principais aparelhos com conexão à internet (Estação de trabalho, Laptop, Tablets, Celulares, ...) e não necessitando de mão de obra especializada.

Com esta economia de recursos é esperado a maior disponibilização de equipamentos e tempo de engenharia para serem aplicados em novos desenvolvimentos.

1.3 OBJETIVO

Desenvolver um aplicativo que rode em uma plataforma WEB de qualquer sistema operacional, podendo ser acessado através dos principais aparelhos com conexão à internet, onde o usuário entra com os parâmetros de uma peça específica e é gerado automaticamente o desenho 2D e o programa CNC.

1.3.1 Objetivos específico

O aplicativo deverá ter as seguintes características:

- a) Rodar nos principais browser de internet: Windows Explorer, Opera, Chrome, Safari e Mozilla-Firefox;
- b) Rodar nos principais Sistema operacionais: Windows, Linux, Solaris, Unix, Mac OS-X e Android;
- c) O usuário deve entrar com os parâmetros de uma peça específica, e com um único clique no botão Executar, o sistema deverá gerar automaticamente os seguintes arquivos para download:
 - Desenho 2D completo (cotas dimensionais, margens e legenda) no formato PDF;
 - Programa CNC para ser enviado à máquina.

1.3.2 Objetivos mensuráveis

Reduzir o tempo de execução de desenho peças repetitivas;

Reduzir a necessidade de mão de obra qualificada para projetos que possam ser parametrizados;

Reduzir o número de licença de softwares;

Reduzir tempo de programação CNC;

Reduzir o tempo de utilização de estação de trabalho;

1.3.3 Objetivos não mensuráveis

Reduzir erros humanos no dimensionamento de desenhos, evitando assim retrabalhos;

Aumentar a padronização dos desenhos técnicos e programas CNC;

1.4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada será a metodologia empírica, onde se faz:

- a) Categorização dos fatos e os dados,
- b) Levantamento das ferramentas existentes e custos;
- c) Construção do método experimental

2. DEFINIÇÕES

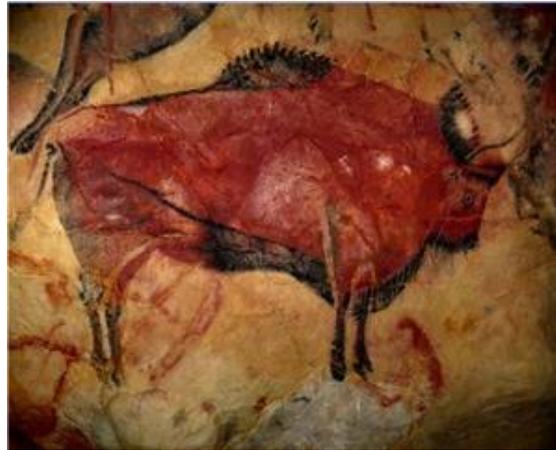
2.1 HISTÓRIA DO DESENHO

Já nos primeiros tempos da história da humanidade manifestou-se entre os homens a necessidade de comunicarem uns com os outros (SCHNEIDER, 2008).

Surgia então os primeiros sons e vozes inarticulados, primitivos, até chegar as língua civilizadas, e ao mesmo tempo que a fala, surgia o desenho.

Na ilustração 1, pode-se observar um desenho com 32 mil anos feito na caverna de Chauvet, na França:

Ilustração 1 - Desenho pré-histórico



Fonte: (BELNET, 2014)

Na ilustração 2 tem-se um desenho que ornamenta um dos capítulos do livro *Gloria in excelsis* do autor Corbie Psalter, França, período anterior ao século IX - Biblioteca de Amiens - Fr.

Ilustração 2 - Desenho Medieval



Fonte: (PSALTER, 2009)

2.2 DESENHAR

Segundo Pereira (2012) desenhar significa marcar ou riscar sobre um plano qualquer um ou mais elementos geométricos, utilizando qualquer material. Em outras palavras, se você tem um plano (papel, uma parede, um pedaço de madeira, ou pedra, entre outros) e um material que permite marca-lo, basta fazer nele um ponto ou uma linha qualquer e você estará desenhando.

2.3 DESENHO TÉCNICO

O desenho Técnico, também chamado de representação, tem a finalidade de representar qualquer objeto (ferramentas, máquinas, edifícios, etc) e seu posicionamento espacial, suas dimensões, seus materiais e qualquer outro aspecto necessário para seu entendimento (PEREIRA, 2012).

Pode-se dizer que o desenho técnico, tal como é entendido hoje, nasceu com as aplicações fundamentais da Geometria Descritiva, publicado em 1795 por Gaspar Monge (1746-1818) e mantido em segredo devido à importância nas estratégias militares da época, voltando a ser estudado nos primeiros anos do século XIX (SILVA, 2006).

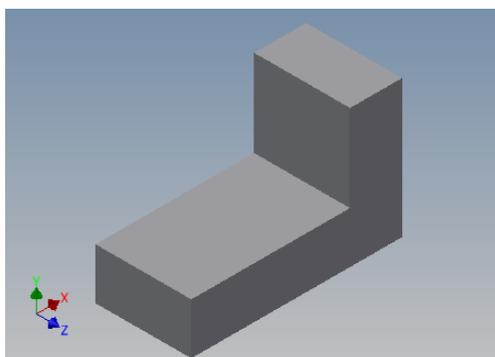
O desenho técnico pode assumir diversos modos de representação, mas deve manter sempre o rigor e a objetividade que o caracteriza.

Eles podem ser representados em Vistas ou Perspectivas

2.3.1 Desenho em perspectiva

O desenho em perspectiva, tem-se uma visão espacial das três dimensões (X,Y,Z) em uma mesma figura conforme pode-se observar na ilustração 3:

Ilustração 3 - Perspectiva de uma peça

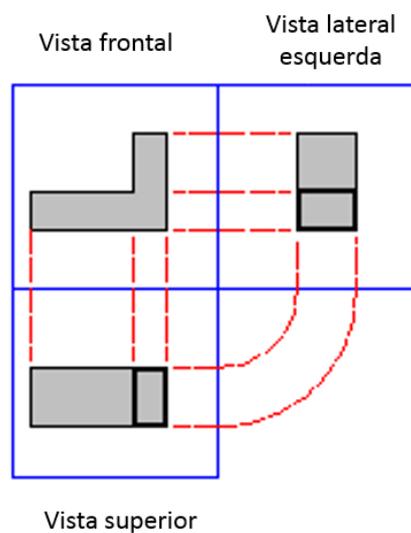


Fonte: Autor

2.3.2 Desenho em vistas

O desenho em Vistas, baseia-se em projeções ortogonais que são apresentadas como planos de projeção rebatidos sobre um mesmo plano (SILVA, 2006) para formarem novas vistas e em cada vista é representado somente a combinação de dois dos três eixos (X,Y,Z), conforme podemos ver na ilustração 4.

Ilustração 4 - Vistas 2D - Projeções Ortogonais



Fonte: Autor

2.3.3 Normas de desenho técnico

Para que o desenho técnico, seja universalmente entendido sem ambiguidade é necessário que se obedeça a determinadas regras e convenções, de forma que todos os implicados no processo entendam a mesma coisa, surgindo assim as normas de desenho técnico que são um conjunto de regras ou recomendações que se devem seguir na execução ou leitura de um desenho (SILVA, 2006).

No Brasil a norma que atende o desenho técnico é a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, criada em 1940.

2.3.4 Elementos fundamentais do desenho técnico

Os principais elementos fundamentais usados no desenho técnico são:

Pontos e linhas: Para representar o contorno da peça;

Cotas: Responsáveis por representar as dimensões reais de um objeto, indicando:

Pontos e linhas: Para representar o contorno da peça;

Cotas: Responsáveis por representar as dimensões reais de um objeto, indicando:

Raios;

Códigos;

Detalhes;

Medidas;

Ângulos etc.

Escala: Relação entre a dimensão real do objeto e a dimensão do desenho.

Legenda: Além de informar detalhes dos desenhos técnicos (cor, número, origem, título etc.), mostra também o nome dos projetistas, da empresa, a data, a logomarca, etc (KERDINA, 2016).

2.4 DESENHO AUXILIADO POR COMPUTADOR – CAD

No início dos anos 80, a engenharia da computação e sua produção teve grandes avanços, tornando seu custo menor, popularizando sua utilização e aplicação em nova áreas.

Os desenhos técnicos passaram a ser feitos com o auxílio de computadores, dando origem a sigla CAD (Computer Aided Design), substituindo-se assim os antigos escritórios com enormes pranchetas de desenho, mapotecas, canetas nanquim, régua francesa, etc..

Desde então muitos sistemas CAD foram lançados e um dos sistemas CAD mais conhecidos é o AUTOCAD®, lançado no início de 1982 pela Autodesk (HOOD, 1989).

Segundo Baldan e Costa (2015), o Autocad® está sempre em ampliação e aperfeiçoamento pelo fabricante, seus usuários se sentem cada vez mais confiantes no uso, desenvolvendo-se até mesmo um vocabulário próprio e tecnicamente aplicável.

O autor ainda afirma que a fluidez e a intuitividade com que se projeta algo, hoje, seria totalmente inimaginável há 15 anos atrás.

2.4.1 Repetição de atividades com Autocad

Nas versões mais atuais do Autocad 2015®, é possível gravar algumas atividades repetitivas utilizando o comando “Gravar Ação” que permite a gravação em tempo real dos comandos utilizados em arquivos textos. Estes arquivos com os comando gravados, podem ser reexecutados permitindo replicar os comandos anteriormente aplicados. Estes arquivos podem ser chamados de arquivos de lote (BALDAN e COSTA, 2015).

2.5 EXTENSÕES DE ARQUIVOS DE DESENHO DIGITAL

A rápida evolução da informática na área de projetos CAD não permitiu que as empresas desenvolvedoras se organizassem e criassem extensões de arquivos compatíveis que possibilitasse a integração entre todos os sistemas CAD, impedindo o ágil o processo de troca de informação e a confiabilidade nesta troca (ASBEA, 2008).

Algumas das extensões de arquivos de desenho CAD mais conhecidas são: dwg, dxf, drw, idx, jt, pro, prt, tbl, xas, xpr, 3gp, pkr, ckd, st6, st7, ug, cat, entre outros.

Uma das maneiras para visualizar os projetos CAD em qualquer sistema operacional é converter o desenho CAD para um arquivo PDF.

2.6 ARQUIVOS PDF

Entre 1991 e 1992, o cofundador da Adobe® John Warnock lançou um novo formato de arquivo digital, que deu às organizações as ferramentas de que elas precisavam para capturar e criar documentos de qualquer proveniência, enviar versões eletrônicas desses documentos a qualquer lugar, exibi-los e imprimi-los em qualquer computador.

Este formato recebeu o nome inglês de *Portable Document Format* (PDF) que significa Formato Portátil de Documento, que é um formato de arquivo usado para exibir e compartilhar documentos de maneira compatível, independentemente de software, hardware ou sistema operacional.

O PDF é um padrão aberto mantido pela norma ISO 32000 .

PDFs podem ser assinados eletronicamente e são facilmente exibidos com o software gratuito (ADOBE_SYSTEMS, 2016).

2.6.1 Geração de PDF com FPDF

FPDF é uma classe PHP que permite gerar arquivos PDF com scripts PHP sem a necessidade de usar as bibliotecas PDF (MIZAN, 2015).

Algumas das vantagens do FPDF são:

- a) Escolha da unidade, página e formato;
- b) Gerenciamento de cabeçalho e rodapé;
- c) Suporta imagens (JPEG, PNG e GIF);
- d) Fontes True Type;
- e) Cores;
- f) Links;

Para gerar um documento no formato PDF, foi criada uma classe de programação chamada de FPDF, que é utilizada com a linguagem de programação PHP.

Através de funções simples e poderosas da classe FPDF, relatórios podem ser criados utilizando a plataforma WEB.

O FPDF é um software livre e gratuito, o que significa que pode-se utilizá-lo livremente para uso pessoal ou comercial, além de poder modificá-lo e estudar o código-fonte (PDF_GENERATOR, 2016).

Às principais funções para geração de relatórios são:

- a) Definição de unidade de medidas;
- b) Formato da página;
- c) Formatação de cabeçalho e rodapé;
- d) Quebra de página automática;
- e) Quebra de linha e justificação de texto automática;
- f) Suporte a imagens (JPEG e PNG);
- g) Cores, preenchimentos, linhas, figuras geométricas;
- h) Suporte a fontes TrueType e Type1.

2.7 PROGRAMAS CAD GRATUITOS

Atualmente existe no mercado dois softwares gratuitos de CAD:

- i) **QCAD** é um sistema multiplataforma disponível para ambiente *Linux*, *MacOS*, e *Windows*; Seu projeto começou em outubro de 1999.
Com uma interface intuitiva e amigável o QCAD gera e reconhece os arquivos com a extensão *DXF* um padrão de intercâmbio dos softwares de CAD, permitindo a geração de todas as entidades em 2D normais aos softwares de CAD (QCAD, 2016).
- j) **LibreCAD** é distribuído sobre os termos da licença GNU/GPL. Ele gera, suporta e permite alterações em diferentes formatos de arquivos CAD em 2D. Está disponível em diversos idiomas.
A comunidade é bastante ativa e seu desenvolvimento vem se mostrando consistente (LIBRECAD, 2016).
- k) **DraftSight**, que possibilita 30 dias gratuitos para teste. Recentemente teve sua versão para sistema Linux liberada. Trabalha com arquivos DWG e DXF e gera produtos diretamente em PDF (DRAFTSIGHT, 2016).

2.8 DESENHOS PARAMÉTRICOS

O Desenho paramétrico é uma tecnologia para desenhar com restrição, que são as associações e limitações aplicadas em desenhos 2D (NETTO, 2015).

Tais restrições podem ser geométricas, a qual controla a relação entre os objetos que dizem respeito uns aos outros e as restrições dimensionais que controlam as distâncias, comprimentos, ângulos e raios de objetos.

As restrições geométricas e as dimensionais asseguram que as relações entre as medidas mantenham-se e persistam mesmo se o objeto for modificado.

2.9 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

O termo desenvolvimento do produto refere-se desde os primeiros estágios do processo de realização do produto até a etapa de fabricação. Incluindo vendas/marketing, projetos industrial e projetos de produção (LAKE e BORGESON, 2014).

Segundo Ulrich e Eppinger (2000) o desenvolvimento de produto equivale a uma série de atividades com o objetivo de transformar um conceito de produto em um produto acabado tangível. O desenvolvimento do produto começa com a percepção de uma oportunidade de mercado e termina com a produção, venda e entrega de um produto.

Do ponto de vista da engenharia mecânica, um produto é um objeto ou artefato que é comprado e usado como uma unidade, a complexidade de um produto, varia de acordo com o número, o tipo e a função dos componentes (DIXON e POLI, 1999).

Segundo Shigley (1984), um projeto de engenharia mecânica, inclui todos os objetos e sistemas de natureza mecânica, de modo que todas as disciplinas da engenharia mecânica são divididas e estudadas em fases.

2.10 AS FASES DE UM PROJETO

Um projeto mecânico é frequentemente dividido em seis fases distintas que se relacionam entre si do início ao fim e pode ser esquematizado conforme a ilustração 5:

Ilustração 5 - As fases de um projeto



Fonte: (SHIGLEY, 1984)

2.10.1 Identificação de uma necessidade

Nem sempre um projeto se inicia quando um engenheiro reconhece uma necessidade, o reconhecimento de uma necessidade pode se apresentar de diversas formas, desde um vago descontentamento ou um sentimento de inquietação.

É também reconhecido que uma pessoa sensível, que se perturbe facilmente com algo, tem maior probabilidade de reconhecer uma necessidade e maiores chances de fazer algo a respeito (SHIGLEY, 1984).

2.10.2 Definição do problema

A definição de um problema deve conter todas as especificações para o objeto que se deseja projetar.

As especificações estabelecem os elementos de entrada e as respostas (saídas).

Um objeto deve ter tamanho físico definido, com proporções adequadas para resistir as forças existentes ou prováveis, impostas sobre ele (POPOV, 2014).

Custos, quantidade a ser fabricada, vida esperada, temperatura de operação, corrosão, desgaste, atrito, segurança, peso, ruído, estilo, forma, flexibilidade, rigidez, acabamento superficial, volume, confiabilidade, processos de fabricação disponível para manufatura, materiais disponíveis no mercado, mão-de-obra adequada e situação de concorrência, são também especificações a serem consideradas no desenvolvimento do produto propriamente dito, baseando-se nas decisões tomadas e aprovadas na identificação da necessidade (SHIGLEY, 1984).

2.10.3 Síntese

Com o problema definido e com o conjunto das especificações escritas e implícitas, chega-se na fase da síntese, que é a solução ótima do problema, com a estrutura das funções a serem desempenhadas pelo produto, a fim de atender às necessidades de acordo com as especificações (SHIGLEY, 1984).

2.10.4 Análise e otimização

A análise e a otimização servem para se determinar se o desempenho está de acordo com as especificações, elas podem revelar se o sistema ou o produto não está ótimo, portanto uma nova síntese deverá ser feita para corrigir as falhas (SHIGLEY, 1984).

Com a análise, as especificações são mais uma vez checadas. Também é realizado a análise do cálculo da resistência do material, com os resultados registrados em um documento chamado memória de cálculo, estes resultados são confrontados com as características físicas definidas no projeto.

Se os resultados estiverem muito acima do esperado, significa que o produto pode ser otimizado, ou seja suas dimensões ou propriedades do material podem ser reduzidas, levando a revisão do projeto na fase da síntese.

Ou se os resultados estiverem abaixo do esperado, o projeto também volta a fase da síntese.

2.10.5 Avaliação

É a prova final de um projeto, normalmente envolve um teste de um protótipo em laboratório. Aqui se deseja descobrir se o produto é confiável, se realmente satisfaz todas as necessidades do projeto, caso o projeto seja reprovado, os dados devem realimentar o processo para buscar uma nova solução (SHIGLEY, 1984).

2.10.6 Apresentação

A apresentação do projeto para outras pessoas é o passo final, vital, no processo do projeto. É quando o engenheiro explica suas realizações a outros, onde ele vende sua solução como sendo a melhor. Se isso não for feito com sucesso, desperdiçam-se o tempo e o esforço gasto na obtenção da solução (SHIGLEY, 1984).

2.11 ENGENHARIA SIMULTÂNEA

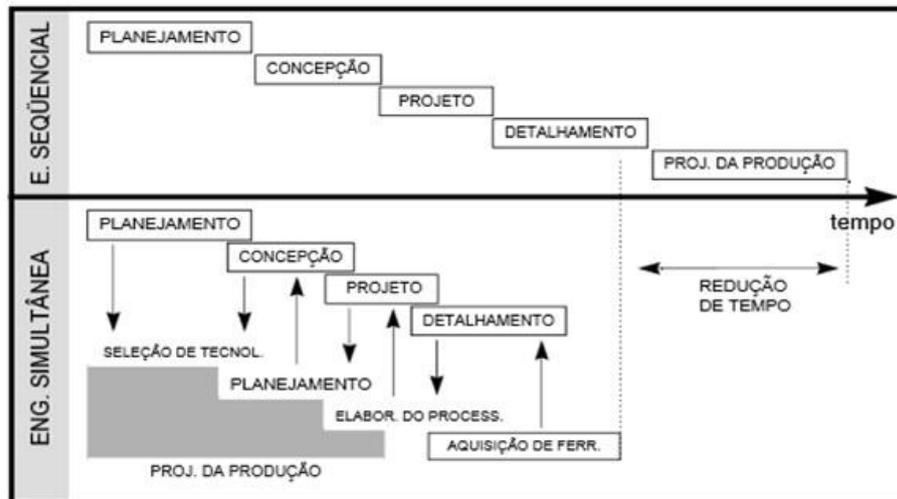
Engenharia Simultânea é o desenvolvimento integrado e paralelo do projeto de um produto e os processos relacionados, incluindo processos de manufatura e suporte técnico (PRASAD, 1997).

Prasad (1997) também cita que neste sistema todas as pessoas envolvidas no desenvolvimento estão integradas em todos os elementos do ciclo de vida do produto, da concepção ao descarte, incluindo qualidade, custo, prazos e requisitos dos clientes.

Como a Engenharia Simultânea envolve custo, ela também integra o processo de negócio da empresa, buscando diminuição de custo e do ciclo de desenvolvimento ou alteração do produto com foco no aumento de qualidade do produto e no cliente (SYAN e MENON, 1994).

Na ilustração 6, tem-se uma comparação da Engenharia Sequencial x Engenharia Simultânea, onde é evidenciado uma redução de tempo quando trocamos os processos sequenciais (onde cada atividade se inicia após o fim da anterior) por processos integrados (cada atividade se integra a anterior antes do término da mesma).

Ilustração 6 - Engenharia Sequencial x Engenharia Simultânea



Fonte: (CRESPO, 2012)

Esse período onde as atividades estão em paralelo estabelece a integração das informações, permitindo que as mudanças, quando necessárias, devem acontecer o quanto antes, o que torna o processo mais rápido, vantajoso e econômico. (CRESPO, 2012).

2.12 SISTEMAS INTEGRADOS DE MANUFATURA

O grande benefício para a integração da manufatura consiste na capacidade de comunicação e na conseqüente na troca de informação entre indivíduos, equipes, setores departamentos e empresas diferentes.

Para isso é necessário utilizar de forma adequada as novas formas de tecnologias informatizadas para integração das diversas áreas da empresa.

Uma das principais formas de inovação tecnológica está na integração das diferentes operações da empresa por meio de sistemas CAD/CAE/CAM (*Computer Aided Design, Engineering and manufacturing*)

CAE (*Computer-Aided Engineering*) são os programas de computador para auxiliar nas tarefas de análise de engenharia. Programas para Engenharia incluem a análise de elementos finitos (FEA), dinâmica computacional de fluidos (CFD), dinâmica de multicorpos (MDB) e otimização

CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) são softwares que controlam máquina e dispositivos para a fabricação de produtos, estes softwares também são conhecidos como CNC (Comandos numéricos computadorizados) (ROMERIO, 2004).

Softwares com a integração destes três itens são conhecidos como software *high-end* (de topo), os principais são: EDS/UGS, Pro-Engineering e CATIA.

2.13 MÁQUINA FERRAMENTA

Máquinas-ferramenta são dispositivos mecânicos que são geralmente usados para a fabricação de peças/componentes através de corte seletivo e remoção de material. Alguns exemplos de máquinas-ferramentas são tornos, fresadoras, serras e retificadoras, entre outros. A máquina-ferramenta transforma a matéria-prima em componentes acabados (WITTE, 1998).

2.13.1 Centro de torneamento

Nome dado aos tornos com grande capacidade de remoção de cavaco, equipados com comando numérico (NC), capazes de perfazer todas as operações possíveis em torneamento, como torner, facear, fazer canais, roscar, contornos, operações internas e externas, etc.

Além disso os Centros de Torneamentos possuem alto grau de precisão e repetitividade. (MACHADO, 1990)

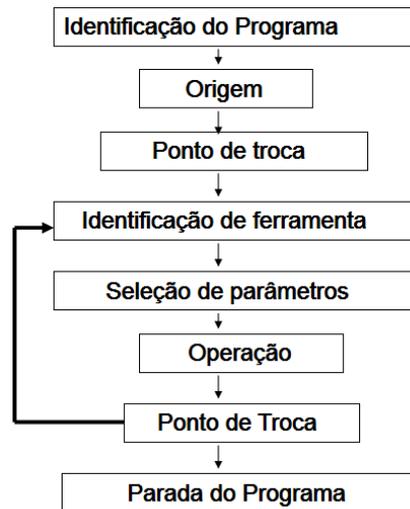
2.14 CNC – COMANDOS NUMÉRICOS COMPUTADORIZADOS

O comando numérico é um equipamento eletrônico capaz de receber informações por meio de entrada própria, compilar estas informações e transmiti-las em forma de comando à máquina operatriz sem a intervenção do operador. (MACHADO, 1990)

Todos os sistemas baseados em computador são operados por meio de um conjunto de instruções estabelecidas previamente.

Essas instruções compõe um programa da máquina e quando são postas em práticas, constituem uma programação, na Ilustração 7 pode-se observar a estrutura básica das instruções:

Ilustração 7 - Estrutura básica de um programa CNC



Fonte: (SLIDEPLAYER, 2009)

2.14.1 Linguagem de programação CNC para torneamento

As linguagens de programação CNC são uma maneira que o homem criou para se comunicar com a máquina através de códigos, caracterizados por uma sequência de sentenças.

Esses códigos são normalizados pelo sistema ISO (*International System Organization*) e seus principais comandos são:

-FANUC, MITSUBISHI, SIEMENS, MCS e MACH

Tais fabricantes de comando criaram a linguagem G, que obedece normas rígidas para manter as funções básicas e fundamentais (SILVA, 2002), na tabela 1 pode-se observar alguns comandos:

Tabela 1 - Comando Fanuc

Código G	Função
G00	Posicionamento rápido
G01	Interpolação linear
G02	Interpolação circular no sentido horário (CW)
G03	Interpolação circular no sentido anti-horário (CCW)
G04	Temporização (Dwell)
G05	Não registrado
G06	Interpolação parabólica
G07	Não registrado

Código G	Função
G08	Aceleração
G09	Desaceleração
G10 a G16	Não registrado
G17	Seleção do plano XY
G18	Seleção do plano ZX
G19	Seleção do plano YZ
G20	Programação em sistema Inglês (Polegadas)
G21	Programação em sistema Internacional (Métrico)
G22 a G24	Não registrado
G25 a G27	Permanentemente não registrado
G28	Retorna a posição do Zero máquina
G29 a G32	Não registrados
G33	Corte em linha, com avanço constante
G34	Corte em linha, com avanço acelerando
G35	Corte em linha, com avanço desacelerando
G36 a G39	Permanentemente não registrado
G40	Cancelamento da compensação do diâmetro da ferramenta
G41	Compensação do diâmetro da ferramenta (Esquerda)
G42	Compensação do diâmetro da ferramenta (Direita)
G43	Compensação do comprimento da ferramenta (Positivo)
G44	Compensação do comprimento da ferramenta (Negativo)
G45 a G52	Compensações de comprimentos das ferramentas
G53	Cancelamento das configurações de posicionamento fora do zero fixo
G54	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (01)
G55	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (02)
G56	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (03)
G57	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (04)
G81 a G89	Ciclos fixos
G90	Posicionamento absoluto
G91	Posicionamento incremental
G92	Zeragem de eixos (mandatório sobre os G54...)
G93	Avanço dado em tempo inverso (Inverse Time)
G94	Avanço dado em minutos
G95	Avanço por revolução
G96	Avanço constante sobre superfícies
G97	Rotação do fuso dado em RPM
G98 e G99	Não registrados

Fonte: (SILVA, 2002)

2.15 ENGENHARIA DE SOFTWARE

A engenharia de software é uma disciplina que reúne metodologias, métodos e ferramentas a serem utilizados, desde a percepção do problema até o momento que o sistema desenvolvido deixa de ser operacional, visando resolver problemas inerentes ao processo de desenvolvimento e ao produto de software (MAFFEO, 1992).

O desenvolvimento de um software é dividido em 5 fases (REZENDE, 2006):

a) Estudo Preliminar;

Relação dos requisitos funcionais desejados, levantamento preliminar das necessidades, planejamento, análise de custos, riscos e viabilidade.

b) Análise do sistema atual;

Relação dos requisitos funcionais atuais.

c) Projeto lógico;

Diagrama de fluxo de dados ou fluxogramas, descrição da lógica de programas ou sistema.

d) Projeto físico;

Layout final de telas e resultados de testes.

e) Projeto de implantação;

f) Plano e recurso de implementação e capacitação de usuários.

2.15.1 Definição da arquitetura do sistema

PRESSMAN (2001) define que a arquitetura de um sistema de computação é a maneira que as estruturas de um software são desenhadas para representar a ligação dos macroprocessos, a fim de identificar de maneira fácil os riscos e a coesão de suas funções, que por sua vez podem ser divididos em subestruturas.

2.15.2 Diagrama de fluxo de dados e entidade e relacionamento

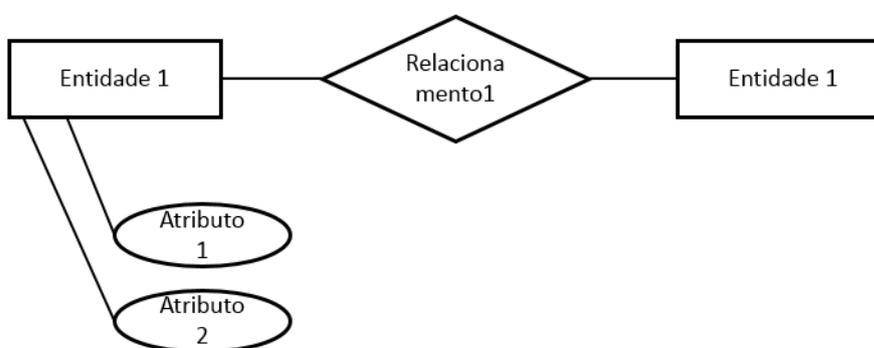
Diagrama de fluxo é uma ferramenta estruturada de diagramação de software derivando-se em outros diagramas, apresentando em etapas o aumento gradativo das atividades, utilizando-se da modularização e da hierarquização (FERREIRA, 1989).

Diagrama Entidade e Relacionamento, é uma modelagem de dados conceitual, tendo como propósito mostrar as relações entre os objetos (entidades), fornecendo uma série de vantagens na elaboração e entendimento (CHEN, 1990).

DEMARCO (1989) define que a abordagem entidade-relacionamento é composta de uma técnica de diagramação e de um conjunto de conceitos que devem ser entendidos e respeitados, tudo é feito de maneira simples e serve como meio de representação dos próprios conceitos por ele manipulados, na ilustração 8 pode-se observar como é feito a diagramação, onde cada figura geométrica representa uma característica, sendo:

- a) Retângulos – Representa as entidades (objetos);
- b) Losangulos – Representa os relacionamentos;
- c) Elipse – Representa os atributos de uma entidade;

Ilustração 8 - Abordagem Entidade-Relacionamento

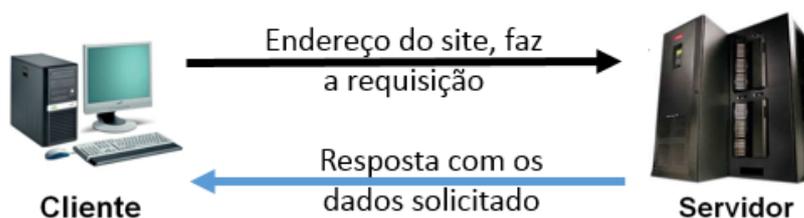


Fonte: (DEMARCO, 1989)

2.15.3 Sistema WEB – transação da informação

WEB significa um sistema de informações ligadas através da internet que permitem ao usuário acessar uma infinidade de conteúdos. Para isso é necessário uma conexão com a internet ou intranet e um navegador (browser) onde são visualizados os conteúdos disponíveis. São exemplos de navegadores: Google Chrome, Safari, Mozilla Firefox, Internet Explorer, Opera, etc. (HOAG, 2002)

Quando um usuário acessa um site WEB, o navegador envia uma requisição ao servidor que processa a informação e retorna os dados solicitados para o navegador conforme pode-se observar na ilustração 9.

Ilustração 9 - Requisição de dados via WEB

Fonte: (HOAG, 2002)

Essa troca de informação entre o servidor e o navegador é feita através do protocolo HTTP (*Hyper Text Transmission Protocol*).

2.15.4 Servidor WEB

Um servidor WEB é um software que gerencia o acesso as informações de um ou mais repositório de conteúdo, programas e dados, conforme as permissões de acesso dado ao usuário.

As permissões são conforme o tipo de confidencialidade da informação e é necessário ter uma senha de acesso para entrar no sistema, o acesso a essas informações são feitas através de scripts construídos com linguagens de programação tipo: PHP, ASP, JavaScript, C#, entre outros.

Um servidor pode estar dentro de uma rede particular (Intranet) ou na rede pública (Internet) (HOAG, 2002).

2.15.5 Apache

Apache HTTP é o mais popular servidor Web de código-fonte aberto. Também é chamado de Apache Server ou simplesmente Apache. É administrado sem fins lucrativos pela Apache Software Foundation que também desenvolve outros projetos de código aberto (CONSERVE e PARK, 2002).

O Apache pode ser instalado tanto em Sistema Operacional Windows como Linux.

2.15.6 PHP

O PHP é uma linguagem de criação de scripts do lado do servidor que foi projetado especificamente para a Web, possui seu código fonte aberto e é um software livre, o que lhe permite utilizá-lo, modifica-lo e redistribuí-lo sem pagar nada (THOMSON, 2005).

Originalmente, PHP foi concebido como Personal Home Page, mas foi modificado para *Hyper Text Preprocessor* conforme a convenção da GNU.

Dentro do HTML que é linguagem básica de internet, pode-se embutir o script PHP que será interpretado e executado sempre que a página for visitada (THOMSON, 2005), e é isso que dá vida as páginas web (MORRISON, 2010), pois permite manipular o conteúdo nas páginas web no servidor, antes da página ser enviada ao navegador cliente.

2.15.7 Software livre

Software Livre são aqueles softwares que dão ao usuário a liberdade do uso, modificação, cópia, acesso ao código fonte e a customização conforme a necessidade.

Isso garante maior transparência nos negócios, eliminam a dependência de um único fornecedor (PRESSMAN, 2001)

Utilizando um software livre, não precisa pagar nenhum tipo de licença.

O pagamento de licença de softwares comerciais é o documento no qual as empresas desenvolvedoras de software captam recursos para custear seus gastos e obterem lucro nos seus produtos.

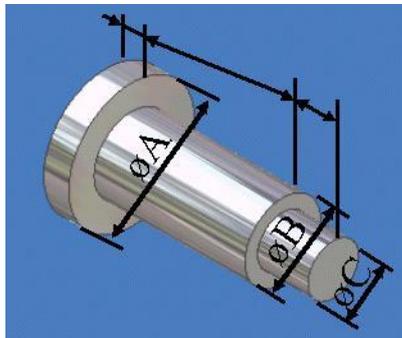
Já os softwares livres ou de código aberto, são desenvolvidos por voluntários, fundações ou empresas que captam recursos por outros meios. Por isso as licenças são isentas de pagamentos, o mais popular documento de licença livre é proposto pela entidade *Free Software Foundation* (fundação de software livre) com sede nos EUA é a GPL – *General Public License*, ou Licença Pública Geral (PRESSMAN, 2001).

3. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA EXPERIMENTAL

O conceito fundamental deste projeto é integrar as atividades de desenho técnico, cálculo estrutural e programação CNC em uma única ferramenta, com interface gráfica amigável e que qualquer pessoa possa utilizá-la de qualquer lugar sem a necessidade de instalar nenhum aplicativo.

Um eixo escalonado para aplicações diversas conforme a ilustração 10 foi elaborado para aplicar-se as técnicas de parametrização de modo didático e objetivo.

Ilustração 7 - Eixo escalonado de 3 corpos



Fonte: Autor

3.1 REQUISITOS DO SISTEMA

Através de um navegador WEB, o usuário se conectará ao sistema e deverá inserir as dimensões de diâmetros, comprimentos, material e nome conforme a ilustração 11.

Ilustração 11 - Campos de entrada de parâmetros

ØA	<input type="text" value="308"/>	x	<input type="text" value="153"/>
ØB	<input type="text" value="246"/>	x	<input type="text" value="206"/>
ØC	<input type="text" value="172"/>	x	<input type="text" value="258"/>
Material:	<input type="text" value="SAE 1020"/>		
Projetista:	<input type="text" value="Nome do Projetista"/>		

Fonte: Autor

Após a inserção correta dos parâmetros, o usuário deverá clicar nos botões <Desenho> ou <CNC> conforme a ilustração 12.

Ilustração 8 - Botões de Comando



Fonte: Autor

Conforme o comando escolhido, o sistema deverá fornecer automaticamente os seguintes arquivos para download:

- Desenho 2D completo (cotas dimensionais, margens e legenda) no formato PDF;
- Programa CNC para ser enviado à máquina.

O ciclo completo do sistema será conforme a ilustração 13, que demonstra a relação cliente-servidor.

Ilustração 13 – Relacionamento Cliente Servidor

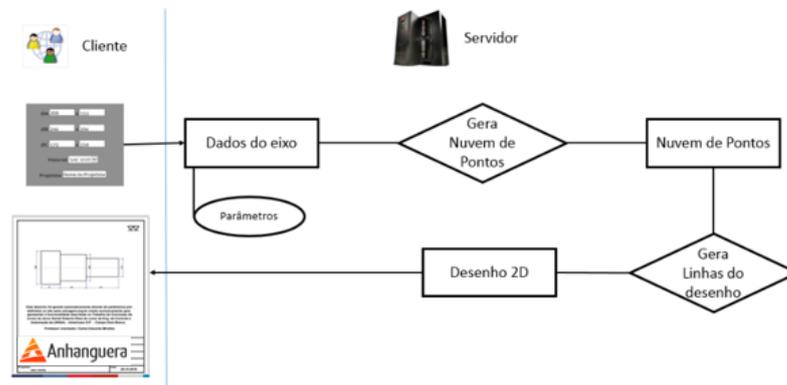


Fonte: Autor

3.2 DESENVOLVIMENTO DO DESENHO TÉCNICO

A ilustração 16, representa o diagrama entidade-relacionamento para apresentar de modo claro e objetivo o embasamento conceitual da programação para executar o desenho técnico do projeto conforme a entrada dos parâmetros iniciais inseridos pelo usuário. Na sequência trechos do código fonte da programação serão apresentados.

Ilustração 14 - Diagrama de Entidade-Relacionamento para confecção do desenho



Fonte: Autor

Através da linguagem de programação PHP a biblioteca FPDF (que são códigos de programação reutilizáveis) é chamada no PHP através do comando “require” e suas classes são instanciadas pelo comando “new”, conforme pode-se observar nas linhas grifadas na ilustração 15.

Ilustração 15 - Trecho da programação utilizando classe FPDF

```
//chamada da biblioteca de classes FPDF
require('fpdf/fpdf.php');

//Instanciando a classe FPDF e predefinindo o formato da folha em:
// 1 = landscape = Horizontal
// mm = unidades em milímetros
// a4 = formato da folha A4
$pdf=new FPDF('1','mm','a4');

// Adiciona um folha em branco
$pdf->AddPage();
```

Fonte: Autor

Textos e figuras geométricas são criados através dos comandos da biblioteca FPDF (MIZAN, 2015) e dos pontos de localização definidos na programação conforme as constantes previamente definida.

Na ilustração 16 tem-se uma parte do código fonte que atribui as constantes, inicia as primeiras figuras geométricas, insere a logomarca e alguns textos na legenda.

Ilustração 9 - Parte do código fonte para desenhar a legenda do desenho

```

$1_folha =297;
$a_folha =210;
$borda_externa=2;
$entre_borda=5;
$larg_legenda=140;
$alt_legenda=45;
$larg_logo=64;
$entre_cotas = 9;

//desenho da borda
$largura = $1_folha-($borda_externa * 2);
$altura = $a_folha-($borda_externa * 2);
$pdf->Rect($borda_externa,$borda_externa,$largura,$altura,'d'); //margem fina

$px = $borda_externa + $entre_borda;
$py = $px;
$largura = $1_folha-((($borda_externa+$entre_borda) * 2));
$altura = $a_folha-((($borda_externa+$entre_borda) * 2));

// configuro a espessura da linha
$pdf->setLinewidth(0.8);
$pdf->Rect($px,$px,$largura,$altura); //margem Grosss

//quadro da legenda
$pt0x_leg = $1_folha-($borda_externa + $entre_borda+$larg_legenda);
$pt0y_leg = $a_folha-($borda_externa + $entre_borda+$alt_legenda);
//insiro o logo na legenda
$pdf->image('assets/img/unisa1_logo.png',$pt0x_leg,$pt0y_leg,62,0,'','http://www.▲Anhangueira.br');

//desenho um retangulo
$pdf->Rect($pt0x_leg,$pt0y_leg,$larg_legenda,$alt_legenda); //quadro_legenda

//linha vertical central da legenda
$alt_linha_leg = $alt_legenda /5;
$pt1x_leg = $pt0x_leg+$larg_logo;
$pt1y_leg = $pt0y_leg;

//desenho as linhas
$pdf->Line($pt1x_leg,$pt1y_leg,$pt1x_leg,$pt1y_leg+($alt_linha_leg *3));
...

$pdf->Line($pt1x_leg,$pt3y_leg,$pt2x_leg,$pt4y_leg);
$pdf->Line($pt1x_leg,$pt5y_leg,$pt2x_leg,$pt6y_leg);
$pdf->Line($pt0x_leg,$pt7y_leg,$pt2x_leg,$pt8y_leg);
$pdf->Line($pt0x_leg,$pt9y_leg,$pt2x_leg,$pt10y_leg);
$pdf->Line($pt11x_leg,$pt5y_leg,$pt11x_leg,$pt7y_leg);
$pdf->Line($pt12x_leg,$pt9y_leg,$pt12x_leg,$pt13y_leg);
....

//textos da legenda
// Ajusto a fonte
$pdf->setFont('Arial','B',8);

// insiro os textos na legenda
$pdf->texto($pt1x_leg + 1,$pt1y_leg+3,"Material:");
$pdf->texto($pt1x_leg + 1,$pt3y_leg+3,"Dimensões:");
$pdf->texto($pt1x_leg + 1,$pt5y_leg+3,"Verificado:");
$pdf->texto($pt11x_leg + 1,$pt5y_leg+3,"Aprovado:");
$pdf->texto($pt0x_leg + 1,$pt7y_leg+3,"Projeto:");
$pdf->texto($pt0x_leg + 1,$pt9y_leg+3,"Projetista:");
$pdf->texto($pt12x_leg + 1,$pt10y_leg+3,"data:");

```

Fonte: Autor

Como é possível observar na ilustração 16, pontos de referência chamados de \$pt0x, \$pt0y, entre outros foram criados e calculados conforme as constantes iniciais de tamanho de folha, legenda, margens, entre outros.

Estes pontos de referência podemos chamar de nuvem de pontos e são utilizados para localizar uma coordenada dentro da folha de desenho.

Para desenhar uma linha é utilizado o comando “line” e é necessário determinar um ponto inicial (x0,y0) e um ponto final (x1,y1).

Todos os pontos são amarrados uns com os outros, de modo paramétrico e sistêmico.

Outros comandos como “rect” para desenhar retângulos, “circle” para círculos, “texto” para construção de textos; todos precisam ser localizados dentro da folha através destes pontos.

Os parâmetros da peça demonstrados na ilustração 11, após entrada dos dados e do clique no botão “Desenhar” (ilustração 12) os dados são enviados do navegador para o servidor, tais dados são recebidos e processados criando-se uma nuvem de pontos com as coordenadas X e Y de cada segmento de reta da peça a ser desenhada dentro da folha de desenho, de modo que as dimensões são escaladas para os casos da peça ser maior que o formato do papel.

Na ilustração 17, pode-se observar a criação da nuvem de pontos e sua respectiva correspondência em cada vértice do desenho, onde os pontos são interligados por linhas com diferentes espessuras e cores para formar o desenho da peça conforme os parâmetros de entrada do usuário.

Ilustração 10 - Interligação da nuvem de pontos

//Definição dos pontos do desenho

```
$p1 = array($folga_direita, ($altura_desenho/ 2));
$p2 = array($p1[0] + $compAd, ($altura_desenho / 2));
$p3 = array($p2[0] + $compBd, ($altura_desenho / 2));
$p4 = array($p3[0]+ $compCd, ($altura_desenho / 2));

$p5 = array ($p1[0], $p1[1]+($diaAd/2));
$p6 = array ($p1[0], $p1[1]-($diaAd/2));

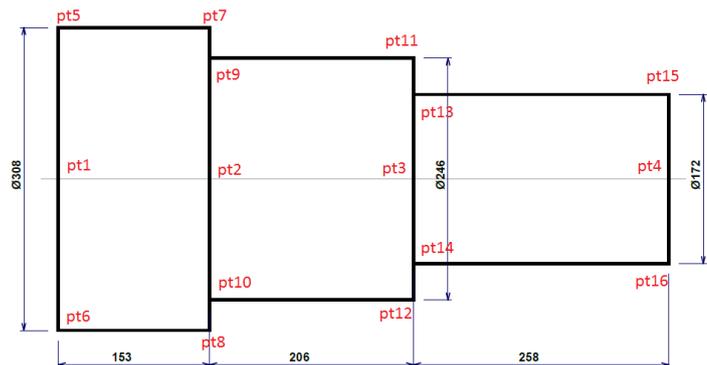
$p7 = array ($p2[0], $p2[1]+($diaAd/2));
$p8 = array ($p2[0], $p2[1]-($diaAd/2));

$p9 = array ($p2[0], $p2[1]+($diaBd/2));
$p10 = array ($p2[0], $p2[1]-($diaBd/2));

$p11 = array ($p3[0], $p3[1]+($diaBd/2));
$p12 = array ($p3[0], $p3[1]-($diaBd/2));

$p13 = array ($p3[0], $p3[1]+($diaCd/2));
$p14 = array ($p3[0], $p3[1]-($diaCd/2));

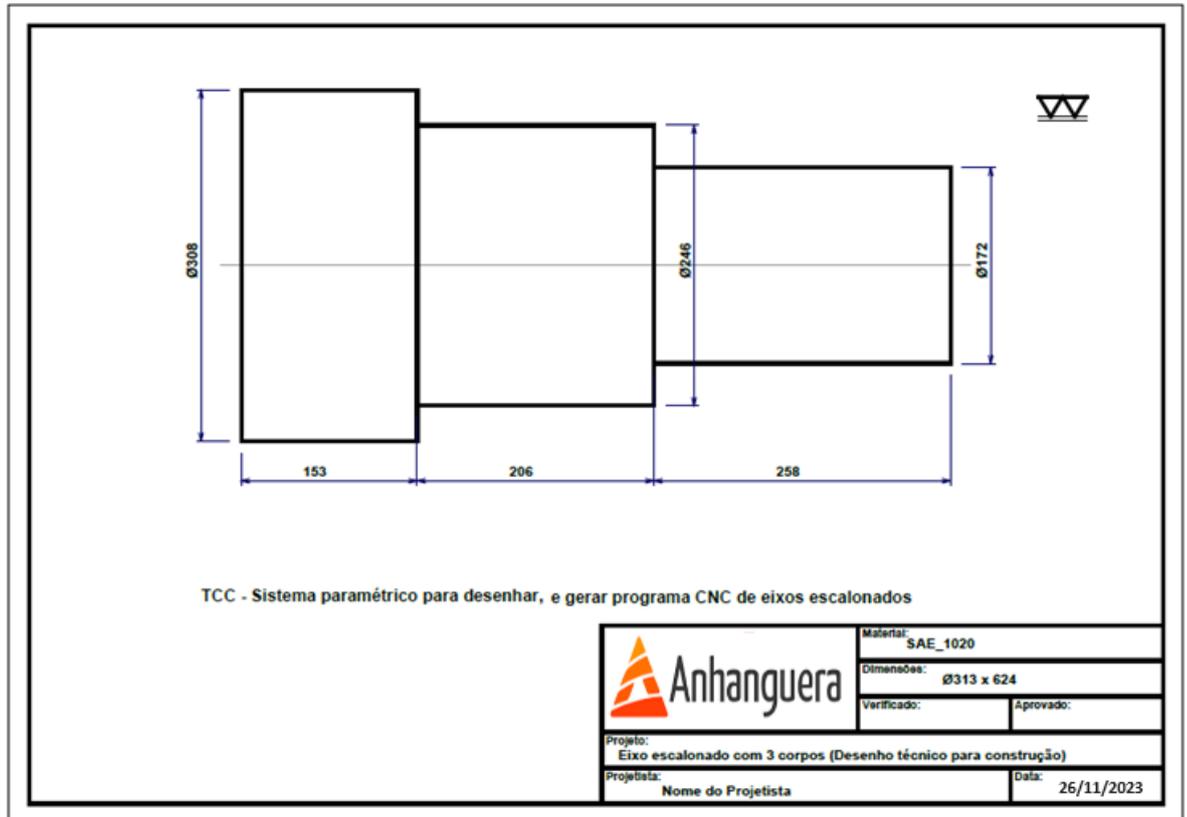
$p15 = array ($p4[0], $p4[1]+($diaCd/2));
$p16 = array ($p4[0], $p4[1]-($diaCd/2));
```



Fonte: Autor

Após a conclusão do desenho, o mesmo é enviado ao navegador do usuário já no formato PDF podendo ser aberto em qualquer tipo de computador ou dispositivo móvel. A ilustração 18 representa um desenho gerado automaticamente pelo sistema.

Ilustração 11 - Desenho técnico gerado automaticamente pelo sistema

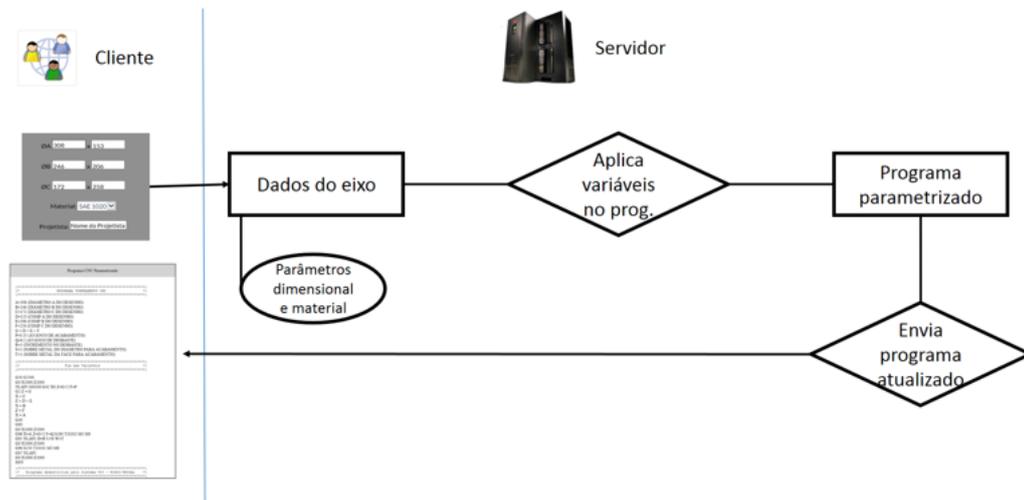


Fonte: Autor

3.3 GERAÇÃO DO PROGRAMA CNC PARA TORNEAR A PEÇA.

A ilustração 19, representa o diagrama entidade-relacionamento contendo o embasamento conceitual da geração automática da programação CNC conforme as dimensões do eixo a ser usinado.

Ilustração 12 - Diagrama entidade-relacionamento Programa CNC



Fonte: Autor

Após a inserção correta dos parâmetros conforme a ilustração 11, e o usuário ter clicado no botão <Cálculos+CNC> conforme a ilustração 12, os dados do eixo são enviados ao servidor que montará um cabeçalho de variáveis contendo as dimensões do eixo e valores constantes como avanços e sobre-metal conforme a ilustração 20.

Ilustração 13 – Cabeçalho de variáveis parametrizadas

```

(*****)
(*)          PROGRAMA TORNEAMENTO CNC          (*)
(*****)

A=308 (DIAMETRO A DO DESENHO)
B=246 (DIAMETRO B DO DESENHO)
C=172 (DIAMETRO C DO DESENHO)
D=153 (COMP A DO DESENHO)
E=206 (COMP B DO DESENHO)
F=258 (COMP C DO DESENHO)
G = D + E + F
P=0.15 (AVANCO DE ACABAMENTO)
Q=0.2 (AVANCO DE DESBASTE)
R=5 (INCREMENTO NO DESBASTE)
S=1 (SOBRE METAL DO DIAMETRO PARA ACABAMENTO)
T=1 (SOBRE METAL DA FACE PARA ACABAMENTO)

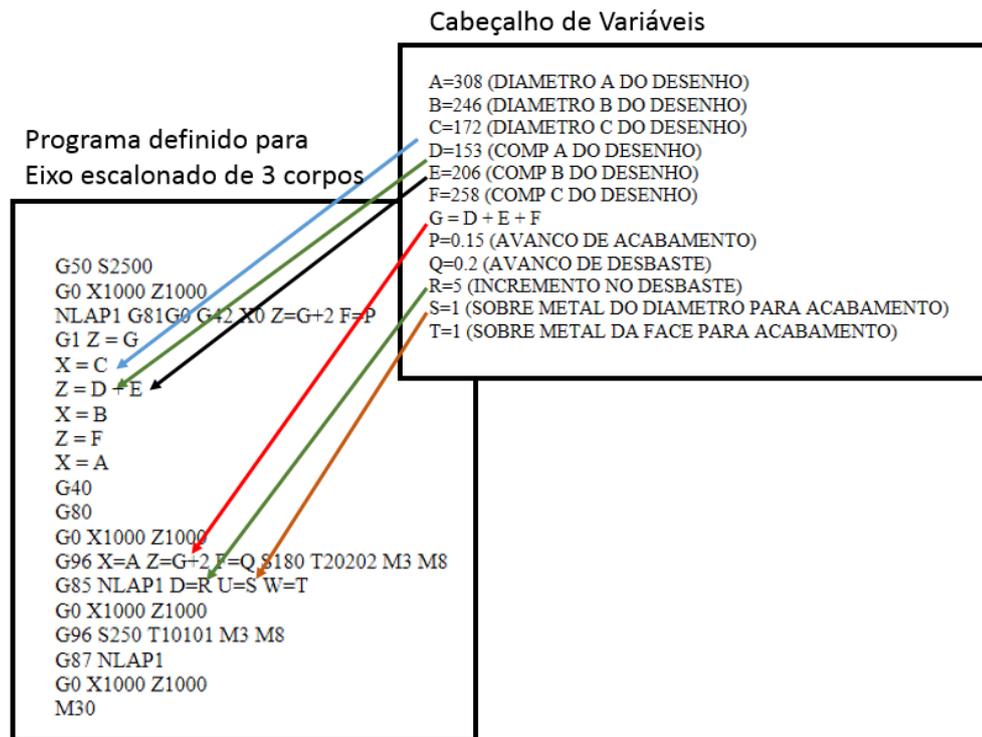
(*****)
(*)          Fim das Variáveis          (*)
(*****)
  
```

Fonte: Autor

Este cabeçalho é então escrito no início de um programa CNC previamente definido no sistema com todos os critérios da linguagem G para usinagem do eixo escalonado, onde os diâmetros e comprimentos estão declarados como variáveis amarradas com o cabeçalho.

Conforme a ilustração 21, podemos observar estas algumas destas correspondências amarradas por parâmetros declarados.

Ilustração 14 – Exemplo de Correspondências entre cabeçalho e corpo do programa



Fonte: Autor

Esta montagem é feita pelo sistema. Através da ilustração 20 podemos observar um trecho do código responsável pela montagem do programa CNC.

Esta prática é de fácil aplicação para geometrias simples, bem como o gerenciamento de desbaste e troca de ferramentas devem ser implementadas no programa.

Ilustração 15 – Trecho do código que insere as variáveis no cabeçalho do programa

```

(*****
*)          PROGRAMA TORNEAMENTO CNC          *
(*****
A=<?php print ($diaA*10);?> (DIAMETRO A DO DESENHO)
B=<?php print ($diaB*10);?> (DIAMETRO B DO DESENHO)
C=<?php print ($diaC*10);?> (DIAMETRO C DO DESENHO)
D=<?php print ($compA*10);?> (COMP A DO DESENHO)
E=<?php print ($compB*10);?> (COMP B DO DESENHO)
F=<?php print ($compC*10);?> (COMP C DO DESENHO)
G = D + E + F
P=0.15 (AVANCO DE ACABAMENTO)
Q=0.2 (AVANCO DE DESBASTE)
R=5 (INCREMENTO NO DESBASTE)
S=1 (SOBRE METAL DO DIAMETRO PARA ACABAMENTO)
T=1 (SOBRE METAL DA FACE PARA ACABAMENTO)

(*****
*)          Fim das variáveis          *
(*****

G50 S2500
G0 X1000 Z1000
NLAP1 G81G0 G42 X0 Z=G+2 F=P
G1 Z = G
X = C
Z = D + E
X = B
Z = F
X = A
G40
G80
G0 X1000 Z1000
G96 X=A Z=G+2 F=Q S180 T20202 M3 M8
G85 NLAP1 D=R U=5 W=T
G0 X1000 Z1000
G96 S250 T10101 M3 M8
G87 NLAP1
G0 X1000 Z1000
M30

```

Variáveis

Fonte: Autor

Depois que o texto do programa CNC é montado, o arquivo é enviado ao navegador do usuário conforme a aparência mostrada na ilustração 23.

Ilustração 23 – Programa CNC para torneamento do eixo

```

Programa CNC Parametrizado

(*****
(*          PROGRAMA TORNEAMENTO CNC          *)
(*****

A=308 (DIAMETRO A DO DESENHO)
B=246 (DIAMETRO B DO DESENHO)
C=172 (DIAMETRO C DO DESENHO)
D=153 (COMP A DO DESENHO)
E=206 (COMP B DO DESENHO)
F=258 (COMP C DO DESENHO)
G = D + E + F
P=0.15 (AVANCO DE ACABAMENTO)
Q=0.2 (AVANCO DE DESBASTE)
R=5 (INCREMENTO NO DESBASTE)
S=1 (SOBRE METAL DO DIAMETRO PARA ACABAMENTO)
T=1 (SOBRE METAL DA FACE PARA ACABAMENTO)

(*****
(*          Fim das Variáveis          *)
(*****

G50 S2500
G0 X1000 Z1000
NLAP1 G81G0 G42 X0 Z=G+2 F=P
G1 Z = G
X = C
Z = D + E
X = B
Z = F
X = A
G40
G80
G0 X1000 Z1000
G96 X=A Z=G+2 F=Q S180 T20202 M3 M8
G85 NLAP1 D=R U=S W=T
G0 X1000 Z1000
G96 S250 T10101 M3 M8
G87 NLAP1
G0 X1000 Z1000
M30

(*****
(*          Programa desenvolvido pelo Sistema TCC - RISSI/UNISAL          *)
(*****

```

Fonte: Autor

Deste modo qualquer centro de torneamento que utilize linguagem de programação G poderá usinar a peça projetada, finalizando assim a integração das 3 atividades proposta pelo sistema (desenho, cálculo e programa CNC).

4. RESULTADOS OBTIDOS

O sistema foi testado em ambiente web no seguinte endereço: www.usinagem.eng.br

Todos os principais navegadores (Windows Explorer, Opera, Chrome, Safari e Mozilla-Firefox) executaram com êxito as 3 tarefas: Desenho, folha de cálculo e programa CNC, sendo executados tanto em desktops, notebooks, tablets, palms e celulares.

Houve êxito também nos navegadores instalados em sistemas operacionais Windows, Linux, Solaris, Mac OS-X, Android e Unix.

Os tempos para realização das tarefas reduziram em média 95% conforme demonstrado na tabela 2.

Tabela 2 – Comparação de tempo sistema convencional e automático

	Convencional	Sistema Paramétrico	Redução
Desenho Técnico	50 min	3 min	94%
Programa CNC	25 min	1 min	96%

Fonte: Autor

Uma pesquisa de opinião foi realizada com 16 alunos para testar o sistema e avaliarem as seguintes categorias:

- a) Aparência
- b) Interface de entrada dos dados
- c) Resultados obtidos
- d) Velocidade da resposta

Para classificar as opiniões foi utilizado a seguinte escala:

1 para péssimo, 2 para ruim, 3 para médio, 4 para bom e 5 para ótimo

A média de satisfação ficou em 4,7 conforme podemos observar na tabela 3.

Tabela 3 – Pesquisa de opinião dos usuários

Usuário	Aparência	Interface	Resultados	Velocidade
1	5	5	5	4
2	4	5	5	4
3	5	5	5	5
4	4	5	4	4
Usuário	Aparência	Interface	Resultados	Velocidade

5	4	5	5	5
6	5	5	5	4
7	4	5	5	4
8	5	5	5	4
9	5	5	5	5
10	5	5	5	5
11	4	4	4	4
12	5	5	5	4
13	4	5	5	5
14	5	4	5	5
15	5	5	5	4
16	5	5	5	4
Média	4,625	4,875	4,875	4,375

Fonte: Autor

4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Esperava-se uma redução de 90% no tempo das atividades, logo os 95% obtidos superaram a meta inicial.

Em pesquisa de opinião, o sistema foi considerado tecnicamente como ótimo.

Para utilizar o sistema o usuário não necessita de treinamento nem tão pouco precisa ser um especialista em CAD ou programação CNC.

Todos os testes geraram os seguintes arquivos:

- * Desenho 2D completo (cotas dimensionais, margens e legenda) no formato PDF;
- * Programa CNC para ser enviado à máquina.

5. CONCLUSÃO

Com a utilização do sistema, foram obtidas as seguintes vantagens:

- a) Tempo de execução de desenho e cálculo para peças repetitivas foram reduzidos em 95%;
- b) Redução na necessidade de mão de obra qualificada para projetos que possam ser parametrizados;
- c) Redução no número de licença de softwares;
- d) Redução tempo de programação CNC em 95%;
- e) Não é necessário ter uma estação de trabalho exclusiva para o sistema, pois o mesmo pode rodar até mesmo em um celular;

As atividades propostas por este trabalho foram concluídas com êxito justificando sua aplicação em novos estudos e projetos dando abertura novas pesquisas.

REFERÊNCIAS

- ADOBE_SYSTEMS. Sobre o Adobe PDF. **PDF**, 2016. Disponível em: <<https://acrobat.adobe.com/br/pt/why-adobe/about-adobe-pdf.html>>. Acesso em: 14 junho 2016.
- ASBEA. ASBEA CAD NORMA, 2008. Disponível em: <<http://www.asbea.org.br/asbea/assuntos/manuais.asp>>. Acesso em: 15 Junho 2016.
- BALDAN, R.; COSTA, L. **Utilizando Totalmente Autocad 2015**. 1. ed. São Paulo: Erika / Saraiva, 2015.
- BELNET, F. O homem das cavernas era um verdadeiro artista. **História Viva**, 2014. ISSN -. Disponível em: <http://www2.uol.com.br/historiaviva/reportagens/homem_das_cavernas_pintura_rupestre.html>. Acesso em: 05 Junho 2016.
- BOTELHO, M. H. C. **Resistência dos Materiais**. 3. ed. São Paulo: Clucher, 2009.
- CHEN, P. **Modelagem de dados**. São Paulo: McGraw-Hill-Makron, 1990.
- CONSERVE, T.; PARK, J. **PHP a Bíblia**. Rio de Janeiro: Campus, 2002.
- CRESPO, G. P. Diretrizes para Implantar a Engenharia Simultânea. **Techoje**, 2012. Disponível em: <http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/1823>. Acesso em: 11 Junho 2016.
- DEMARCO, T. **Análise Estruturada e especificação de sistemas**. São Paulo: Campus, 1989.
- DIXON, J.; POLI, C. **Engineering Design and Design for Manufacturing**. 1. ed. Massachuseters: Field Stone Publishing, 1999.
- DRAFTSIGHT. Dassault Systems. **CAD Software**, 2016. Disponível em: <<http://www.3ds.com/products-services/draftsight-cad-software/>>. Acesso em: 15 Junho 2016.
- FERREIRA, S. **Análise Estruturada**. Curitiba: Incepta S.A., 1989.
- FILHO, E. R. **Sistemas Integrados de Manufatura**. São Paulo: Atlas, v. 1, 2004.
- GRAZZIOTIN, M. M. Como calcular o peso de um produto usando seu peso específico. **Formulas e calculos de peso**, 2010. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/19816883/Como-Calculer-o-Peso-de-Um-Produto>>. Acesso em: 14 junho 2016.

- HOAG, M. **Servidor WEB usando Apache**. São Paulo: Berkeley, 2002.
- HOOD, J. D. **Guia do Usuário Autocad**. 1. ed. São Paulo: Mackron Books, 1989.
- KERDINA, P. E. Desenho Técnico. **Elementos fundamentais**, 2016. Disponível em: <<http://desenho-tecnico.info/elementos-fundamentais.html>>. Acesso em: 8 Junho 2016.
- LAKE, J.; BORGERSON, J. **Manual de Desenho Técnico para Engenharia**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- LIBRECAD. LibreCAD, Open Source 2D-CAD, 2016. Disponível em: <<http://librecad.org/cms/home.html>>. Acesso em: 15 junho 2016.
- MACHADO, A. **Comando numérico aplicado as máquinas-ferramentas**. São Paulo: Icone, 1990.
- MAFFEO, B. **Engenharia de Software e eEspecificação de Sistemas**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.
- MIZAN, J. FPDF Library. **PDF Generator**, 4 nov. 2015. Disponível em: <<http://www.fpdf.org/>>. Acesso em: 28 Setembro 2016.
- MORRISON, M. **Use a Cabeça PHP e MySQL**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2010.
- MSPC-INFORMAÇÕES técnicas. **MSPC**, 2008. Disponível em: <<http://www.mspc.eng.br/matr/resmat0140.shtml>>. Acesso em: 09 Junho 2016.
- NETTO, C. C. **Estudo Dirigido Autocad 2015**. 1. ed. Claudia Campos Netto: Erika / Saraiva, 2015.
- PDF_GENERATOR. PDF Library. **PDF Generator**, 2016. Disponível em: <<http://www.fpdf.org/>>. Acesso em: 12 Junho 2016.
- PEREIRA, N. D. C. **Desenho Técnico**. 1. ed. Curitiba: Editora do Livro Técnico LTDA, 2012.
- POPOV, E. P. **Introdução a Mecânica dos Sólidos**. 12. ed. São paulo: Blucher, 2014.
- PRASAD, B. **Concurrent engineering fundamentals**. 1. ed. New Jersey: Addison-Wesley, v. 1, 1997.
- PRESSMAN, R. **Software Engineering A practitioner's Approach**. Boston: McGrawHill , 2001.
- PSALTER, C. Drawing in the Middle Ages. **The Metropolitan Museum of Art.**, 2009. Disponível em: <http://blog.metmuseum.org/penandparchment/exhibition-images/01dr2_49d/>. Acesso em: 01 Maio 2016.

QCAD. QCAD 3.15.3. **QCAD Source Code**, 2016. Disponível em: <<http://www.ribbonsoft.com/en/qcad-downloads-trial>>. Acesso em: 15 Junho 2016.

REZENDE, D. A. **Engenharia de Software e Sistemas de Informação**. Rio de Janeiro: Brasport, 2006.

SCHNEIDER, W. **Introdução aos Fundamentos do Desenho Técnico Industrial**. 1. ed. São Paulo: Hermus, 2008.

SHIGLEY, J. E. **Elementos de máquina**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC livros Técnicos e Científicos, v. 1, 1984.

SILVA, A. et al. **Desenho Técnico Moderno**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

SILVA, S. D. D. **CNC programação de Comandos Numéricos computadorizados - Torneamento**. Taubaté SP: Érica, 2002.

SLIDEPLAYER. slideplayer. **Ciclo de Desenvolvimento de um produto**, 2009. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/387483/>>. Acesso em: 15 Junho 2016.

SYAN, C. S.; MENON, U. **Concurrent engineering: Concepts, implementation and practice**. 1. ed. Londres: Chapman & Hall, 1994.

THOMSON, L. **PHP e MySQL Desenvolvimento WEB**. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

TIMOSHENKO, S. P.; GERE, J. E. **Mecânica dos Sólidos**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, v. 1, 1994.

ULRICH, K.; EPPINGER, S. **Product Design and Development**. 1. ed. New York: Irwin McGraw-Hill, 2000.

WITTE, H. **MAQUINAS / FERRAMENTA: ELEMENTOS BASICOS DE MAQUINAS E TECNICAS DE CONSTRUÇÃO**. São Paulo: Hemus, 1998.