

A figura 6 mostra a saída gráfica no ambiente Visual Basic, que permite a impressão do projeto final, pronto para fabricação, nos formatos A3 ou A4.

4. CONCLUSÃO

A Tecnologia de Grupo é, sem dúvida, uma importante contribuição para o projeto de novas peças evitando-se reprojetos de peças semelhantes e facilitando a recuperação de projetos já executados.

As opções das sub-famílias contemplam o que foi proposto no Sistema de Classificação e Codificação implementado, podendo ser facilmente inserido novos valores de acordo com a necessidade de cada usuário.

Atualmente os programas de interface gráfica com o usuário, principalmente em ambiente Windows, vem adquirindo importância cada vez maior na área de projetos. Este trabalho além de permitir ao usuário a visualização das telas de todo processo de dimensionamento, permite uma saída gráfica em impressoras, no formato A4 ou A3. Para trabalhos futuros pretende-se implementar a saída de dados gráficos para o sistema CAD *MicroStation* tornando o programa *ENGRENA* uma ferramenta mais versátil.

5. AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pelo apoio ao Projeto TEC 1019/96 e Gabrielle Patrícious Khater da Flender do Brasil Ltda.

5. REFERÊNCIAS

- Burbidge, J.L., 1975, "Introduction of Group Technology", Heinemann, London.
- Freitas, P.H.F., 1994, "Desenvolvimento de um Sistema de Classificação e Codificação em Tecnologia de Grupo para Suportar a Obtenção do Roteiro Padrão de Fabricação", Tese de Mestrado, DEF/FEM/UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, 127p.
- French, T. E and Vierck, C.J., 1985, "Desenho Técnico e Tecnologia Gráfica", Editora Globo.
- Groover, M.P., Zimmers, JR., 1984, "CAD/CAM Computer Aided Design and Manufacturing", Prentice Hall, New Jersey.
- Hemus, 1979, "O Manual do Engenheiro", Livraria Editora Ltda.
- Hyde, W.F., 1981, "Improving Productivity by Classification, Coding and Data Base Standardization - The Key to Maximize CAD/CAM and Group Technology", Marcel Dekker Inc., New York.
- Hyer, N.L. and Wemmerlov, U., 1988, "Assessing the Merits of Group Technology", Manufacturing Engineering, Aug. pp. 107-109.
- Hyer, N.L. and Wemmerlov, U., 1984, "Group Technology and Productivity", Harvard Business Review, July-August.
- Hyer, N.L. and Wemmerlov U., 1989, "Group Technology in the US Manufacturing Industry: a Survey of Current Practices", International Journal of Production Research, vol.27, n^o.8, pp. 1287-1304.
- NBR 10095, 1989, "Engrenagens Cilíndricas de Evolvente, Precisão Dimensional - Padronização", ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 43p.
- Rembold, U. *et al.*, 1985, "Computer-Integrated Manufacturing Technology and Systems", Marcel Dekker Inc., New York, 790p.

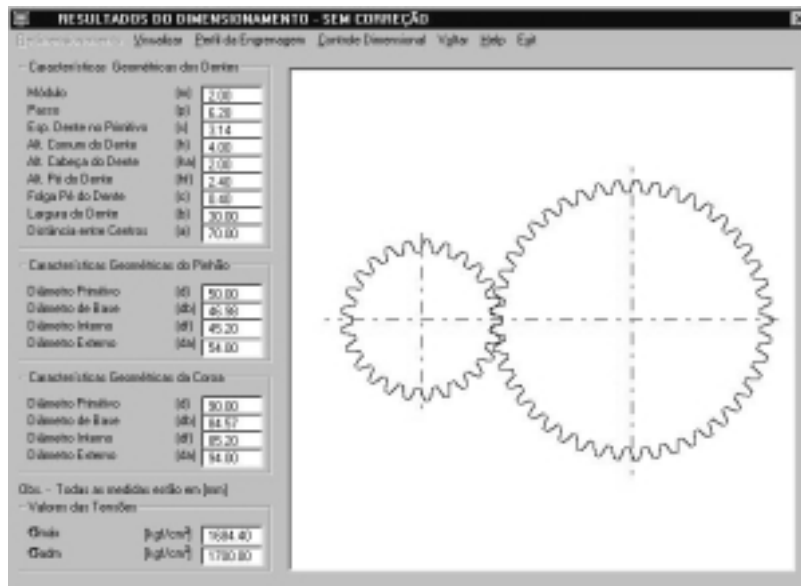


Figura 4. Tela de resultados do dimensionamento.



Figura 5. Tela do “Sistema de Codificação” da coroa.

Na tela de codificação da coroa os dígitos, segundo o “Critérios para Formação de Famílias”, item 3, tem os seguintes significados: **1** - engrenagem, **0** - cilíndrica reta, **0** - $b = 31$ mm, **0** - $d_e = 92$ mm, **7** - qualidade Q 5, **0** - rugosidade superficial superior a 1.6μ , **0** - cilíndrico, **1** - $d_i = 35$ mm, **4** - SAE 4340, **0** - barra redonda e **2** - normalização.

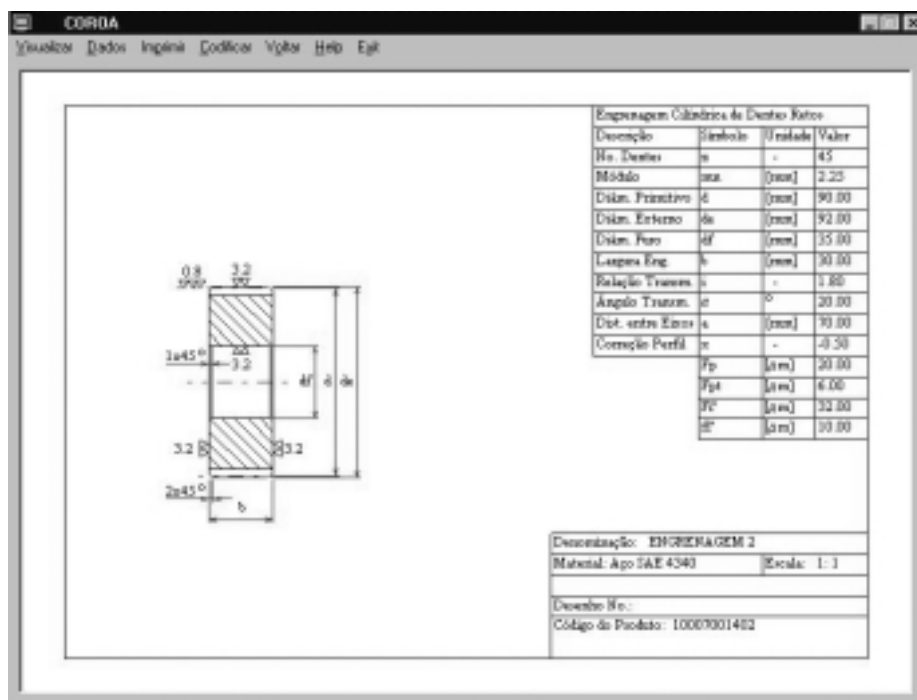


Figura 6. Tela do desenho final da coroa.

Estas engrenagens serão projetadas para que possam atuar com segurança numa transmissão com as seguintes características: transmissão acionada por motor elétrico de potência 15 CV, rotação de 1200 rpm; material SAE 4340; dureza 58 HRC, vida prevista de 10000 horas de funcionamento; carga uniforme, tempo de serviço máximo de 10 horas diárias; relação entre a largura (b) e diâmetro primitivo da engrenagem (d) é de $b_1 / d_1 = 0,5$; ângulo de pressão $\alpha = 20^\circ$; número de dentes do pinhão e coroa valem $Z_1 = 25$ e $Z_2 = 45$ dentes, respectivamente.

Para uma melhor compreensão desta aplicação serão mostradas as principais telas geradas pelo programa *ENGRENA*. A figura 2 mostra a tela de entrada de dados.

Figura 2. Tela de entrada de dados.

A Figura 3 mostra as telas de redimensionamento do par de engrenagens. A figura 4 mostra a tela de resultados do dimensionamento e a figura 5 mostra a tela de codificação da peça projetada.

Características Geométricas do Par	Pela Largura	Pelo Módulo
Módulo (m)	2.00	2.25
Passo (p)	6.28	7.07
Espessura do Dente no Primitivo (c)	3.14	3.53
Altura Coroa do Dente (h)	4.00	4.50
Altura da Cabeça do Dente (h _a)	2.00	2.25
Altura do Pé do Dente (h _f)	2.40	2.70
Folga da Cabeça do Dente (c)	0.40	0.45
Largura do Dente (b)	33.44	31.03
Diâmetro Primitivo do Pinhão (d)	90.00	96.25
Diâmetro Primitivo da Coroa (d)	90.00	101.25
Distância entre Eixos (a)	70.00	78.75

Obs.: Todas as medidas estão em [mm]

OPÇÃO ESCOLHIDA PARA O REDIMENSIONAMENTO:
 Pela Largura Pelo Módulo

Figura 3. Telas de redimensionamento do par de engrenagens.

furação, fresamento, brochamento, trepanação e torneamento. Na opção 1 são incluídos os processos de retífica, polimento, lapidação, e super-acabamento.

3.7 Elementos de forma

O dígito 7 estabelece uma combinação de elementos de forma tais como chanfros, raios para arredondamento, rasgos para chavetas, furos de centro, furos axiais, furos radiais, roscas, elemento cilíndrico, elemento cônico e dentes de engrenagens. Estes elementos estarão presentes nas peças de revolução para as sub-famílias de eixos lisos, eixos escalonados, eixos e árvores, engrenagens cilíndricas de dentes retos e helicoidais. Para este dígito tem-se as seguintes opções para os elementos de forma: 0 - cilíndrico, 1 - cilíndrico /rosca, 2 - cilíndrico /chaveta, 3 - cilíndrico /dente, 4 - cilíndrico /dente /chaveta, 5 - cilíndrico /dente /chaveta /furo, 6 - cilíndrico /dente /chaveta /rosca, 7 - cilíndrico /dente /chaveta /furo /rosca /chanfro, 8 - cilíndrico /dente /chaveta /furo /rosca /cônico e 9 - cilíndrico /dente /chaveta /furo /rosca /cônico /chanfro.

3.8 Intervalo de diâmetros internos máximo

O dígito 8 estabelece para grupo de sub-famílias uma faixa de diâmetros internos máximo com as seguintes opções: 0 - sem diâmetro interno, 1 - entre 1 e 200 mm, 2 - entre 200 e 305 mm, 3 - entre 305 e 560 mm, 4 - entre 560 e 850 mm e 5 - acima de 850 mm. Esses valores foram estabelecidos com base na capacidade de carregamento dos tornos mecânicos da região de São João del Rei.

3.9 Materiais

O dígito 9 estabelece para o grupo de sub-famílias uma gama de materiais classificados, com as seguintes opções: 0 - aços e ferros para fundição, 1 - aços carbonos, 2 - aços de baixa liga, 3 - aços inox, 4 - outros aços, 5 - cobre e suas ligas, 6 - alumínio e suas ligas, 7 - metais leves, 8 - plásticos e 9 - outros.

3.10 Forma do blank

O dígito 10 estabelece para o grupo de sub-famílias uma gama de formas de blank, com as seguintes opções: 0 - barras redondas, 1 - barras quadradas, 2 - barras de outras seções, 3 - tubos, 4 - forjados à frio, 5 - forjados à quente, 6 - soldados, 7 - placas finas, 8 - placas grossas e 9 - outros.

3.11 Tratamento Térmico

O dígito 11 estabelece para o grupo de sub-famílias uma gama de tratamentos térmicos classificados segundo as opções: 0 - sem tratamento térmico, 1 - recozimento, 2 - normalização, 3 - têmpera e revenimento, 4 - têmpera superficial, 5 - coalescimento, 6 - cementação, 7 - nitretação, 8 - cianetação e 9 - carbo-nitretação.

4. APLICAÇÃO PRÁTICA DA TECNOLOGIA DE GRUPO

Uma aplicação prática da Tecnologia de Grupo é mostrada no dimensionamento de um par de engrenagens cilíndricas de dentes retos (ECCR), utilizando-se o programa de dimensionamento de Sistemas Engrenados – *ENGRENA*. Este programa foi desenvolvido em Visual Basic 5.0 e realiza o dimensionamento de ECCR e helicoidais, cônicas de dentes retos e parafuso sem-fim e coroa.

A cada macro-família corresponde uma gama de sub-família. Para a sub-família dos eixos e fusos o dígito 2 tem-se as seguintes opções: 0 - liso, 1 - escalonado, 2 - árvore, 3 - fuso guia, 4 - eixo com rosca sem fim, 5 - eixo excêntrico, 6 - eixo manivela, 7 - eixo came e 8 - eixo em cruz.

Para a sub-família das engrenagens o dígito 2 tem as seguintes opções: 0 - cilíndrica reta, 1 - cilíndrica helicoidal, 2 - sem fim e coroa, 3 - cônica reta, 4 - cônica helicoidal, 5 - hipóide e 6 - roda dentada.

Para a sub-família das polias o dígito 2 tem as seguintes opções: 0 - uma correia, 1 - múltiplas correias e 2 - escalonadas.

Para a sub-família das buchas e mancais o dígito 2 tem a opção 0 - buchas e mancais.

Para a sub-família dos pistões o dígito 2 tem as seguintes opções: 0 - câmara de combustão e 1 - bombas hidráulicas.

Para a sub-família dos rolos e colunas o dígito 2 tem as seguintes opções: 0 - rolos para laminadores e 1 - colunas para ferramentas.

Para a sub-família dos cilindros o dígito 2 tem as seguintes opções: 0 - câmara de combustão, 1 - bombas hidráulicas e 2 - bombas pneumáticas.

Para a sub-família dos discos e came o dígito 2 tem as seguintes opções: 0 - discos de divisores, 1 - flanges, 2 - came de flanco, 3 - came de face, 4 - came de gaveta, 5 - came cilíndrico de ranhura e 6 - came cilíndrico de extremidade.

Para a sub-família das tampas o dígito 2 tem a opção 0 - tampas.

3.3 Intervalo de comprimentos máximo

O dígito 3 estabelece uma faixa de comprimentos máximo classificada de acordo com as seguintes opções: 0 - até 500 mm, 1 - entre 500 e 750 mm, 2 - entre 750 e 1000 mm e 3 - acima de 1000 mm. Esses valores foram estabelecidos com base na capacidade de carregamento de tornos mecânicos da região de São João del Rei.

3.4 Intervalo de diâmetros externos máximo

O dígito 4 estabelece para grupo de sub-famílias um intervalo de diâmetros externos máximo com as seguintes opções: 0 - até 200 mm, 1 - entre 200 e 305 mm, 2 - entre 305 e 560 mm, 3 - entre 560 e 850 mm e 4 - acima de 850 mm. Esses valores foram estabelecidos com base na capacidade de carregamento dos tornos mecânicos da região de São João del Rei.

3.5 Intervalo de tolerâncias dimensionais

O dígito 5 estabelece para a sub-famílias uma gama de tolerâncias dimensionais com as seguintes opções de qualidade (Q): 0 - Q 12 ou superior, 1 - Q 11, 2 - Q 10, 3 - Q 9, 4 - Q 8, 5 - Q 7, 6 - Q 6, 7 - Q 5 e 8 - Q 4 ou inferior. Esses valores foram escolhidos com base nas tolerâncias fundamentais para qualidade NBR 10095 (1989).

3.6 Intervalo de acabamento superficial

O dígito 6 estabelece para as sub-famílias uma gama de acabamento superficial segundo as opções: 0 - rugosidade superficial superior a 1.6μ e 1 - rugosidade superior inferior a 1.6μ .

Essa faixa de intervalos de acabamento superficial foi escolhida com base na capacidade de obtenção dessas qualidades de acabamento pelos processos de usinagem nas diversas máquinas-ferramentas. Dessa maneira, na opção 0 são incluídos os processos de serramento,

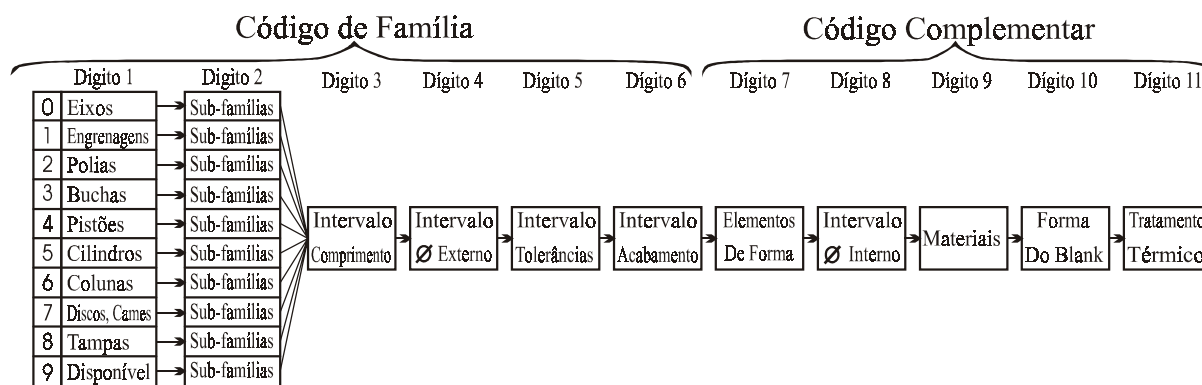


Figura 1. Estrutura da Cadeia Numérica de Codificação Proposta

3. CRITÉRIOS PARA FORMAÇÃO DE FAMÍLIAS

O objetivo do Sistema de Classificação é a formação de Famílias de Peças pela aplicação de critérios que auxiliem o planejador de processos a elaborar roteiros de fabricação padrão para cada família formada.

A formação de "Famílias de Peças" é a aplicação de critérios de agrupamento que, associados, determinam um conjunto de peças com as mesmas características. Dois critérios relativos às características geométricas e dois outros relativos ao processo de fabricação foram escolhidos para refinar a formação de "Famílias de Peças". Os critérios sobre as características geométricas são o intervalo de comprimentos máximo e o intervalo de diâmetros externos máximo. Os critérios sobre características de processos são o intervalo de acabamento superficial e o intervalo de tolerância dimensional.

Os dígitos 3 (intervalo de comprimentos máximo), 4 (intervalo de diâmetros externos máximo), 5 (intervalo de tolerância dimensional), e 6 (intervalo de acabamento superficial) foram escolhidos como características formadoras de famílias por complementam e acuram as informações contidas nos dígitos 1 e 2.

Os demais dígitos do código foram escolhidos por conterem informações relativas ao processos de fabricação e, a partir delas, ser possível levantar as operações requeridas e sua seqüência na construção da peça.

O código é organizado de maneira mista, existindo uma dependência entre o dígito 1 e o dígito 2, macro-família e sub-família, e independência entre os demais dígitos da cadeia que designa a família de peças. Isto permite estabelecer categorias de sub-famílias praticamente refinadas quanto à sua fabricação, utilizando as mesmas gamas de comprimentos máximo e diâmetros externos máximo, diferenciando-as apenas pela qualidade da precisão e acabamento superficial. A parte da cadeia que designa as informações de processos, mantém a independência entre seus dígitos componentes.

3.1 Macro-famílias

A figura 1 mostra que o conteúdo do dígito 1 correspondente aos tipos de macro-famílias contempladas pelo Sistema de Classificação e Codificação. Este dígito estabelece uma gama de peças rotacionais com as seguintes opções: 0 - eixos e fusos, 1 - engrenagens, 2 - polias, 3 - buchas e mancais, 4 - pistões, 5 - cilindros, 6 - rolos e colunas, 7 - discos e cames, 8 - tampas.

3.2 Sub-famílias

As classificações das sub-famílias de eixos, engrenagens, buchas de mancais, pistões, cilindros, foram obtidas segundo Hemus (1979) e French (1985).

matérias primas e aumento da satisfação de todas as pessoas ligadas ao processo produtivo pelo maior envolvimento com o trabalho realizado.

Tabela 1 - Aplicação da Tecnologia de Grupo.

Área de Projetos	redução no tempo de criação de novos projetos	24% a 75%
	redução de novos projetos ao ano	9.5% a 20%
	redução no número de peças projetadas desnecessariamente	24.4% a 80%
	redução no número de erros de projeto	30% a 50%
	redução do número de projetistas	10%
	redução no tempo de recuperação de projetos existentes	32.5% a 50%
Área de Planejamento de Processos	redução no tempo de elaboração de um novo processo	37.2% a 80%,
	redução de planejadores de processos	27% a 80%
	redução no número de processos	38.5% a 80%
	aumento no número de planos que refletem corretamente o método de manufatura	41.2% a 90%

Pode-se ainda otimizar o setor de planejamento e controle da produção através da redução do tempo de transporte, identificação das máquinas subutilizadas, identificação das máquinas gargalo, uso de máquinas universais e controle numérico e pela utilização do *layout* celular. Nos setores de controle de qualidade e projeto de ferramentas pode-se reduzir o tempo de inspeção através da implantação de rotinas de inspeção e o número de ferramentas e fixadores através da padronização destes elementos, Rembold (1985).

Pode-se citar como desvantagem desta filosofia a necessidade de mão-de-obra mais especializada. No *layout* em grupo, o operário deve comandar o manejo de mais de uma máquina CNC, exigindo um maior nível de conhecimento técnico e habilidade do mesmo.

Um problema que pode ocorrer dentro das células de fabricação é a má utilização de alguns equipamentos. Outro aspecto desfavorável é o custo de projeto e fabricação de dispositivos e ferramentas de grupo serem mais elevados, podendo onerar o custo final de produção de maneira significativa.

Finalmente, uma mudança de estrutura organizacional se faz necessária para realizar a nova forma de produção. Porém, as resistências à nova estrutura e a ausência do apoio necessário às transformações por parte dos administradores de nível médio podem obstruir e inviabilizar a implantação da Tecnologia de Grupo.

Neste trabalho é apresentado a Tecnologia de Grupo, mostrando sua contribuição em projetos de novas peças e a recuperação de projetos já executados, evitando-se reprojeto.

2. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO

O "Sistema de Classificação e Codificação" foi elaborado respeitando as etapas de elaboração dos sistemas de classificação enumerados por Hyde (1981).

A implementação do módulo é feita com base na classificação citada no item 3. A figura 1 mostra a estrutura da "Cadeia Numérica de Codificação" proposta.

Os dígitos de 1 a 6 correspondem ao "Código de Família". Recebem esse nome por serem responsáveis pela formação das famílias de peças efetuada pelo Sistema de Classificação e Codificação.

Os dígitos de 7 a 11 correspondem à parte da cadeia de codificação designada de "Código Complementar". Recebem esse nome por complementarem as informações geométricas contidas no "Código de Família".

Freitas (1994) apresenta um trabalho mais detalhado da Cadeia Numérica de Codificação.

TECNOLOGIA DE GRUPO - UMA APLICAÇÃO EM PROJETO DE ENGRENAGENS AUXILIADO POR COMPUTADOR

Jorge Nei Brito

Paulo Henrique Fialho de Freitas

FUNREI - Fundação de Ensino Superior de São João del Rei, Praça Frei Orlando 170, Departamento de Mecânica, 36307-352, São João del Rei, MG, Brasil. brito@gelnet.com.br

Resumo

A Tecnologia de Grupo é uma filosofia de fabricação que busca identificar peças e produtos semelhantes na sua forma e ou processo. Através do seu uso é possível agrupá-los visando obter os benefícios desta similaridade tanto nas atividades de projeto quanto nas de manufatura. Neste trabalho é apresentado os princípios da Tecnologia de Grupo e sua aplicação ao projeto de um par de engrenagens cilíndricas de dentes retos, utilizando-se o programa *ENGRENA*.

Palavras Chaves: Tecnologia de Grupo, CAD, Engrenagens, *ENGRENA*.

1. INTRODUÇÃO

A Tecnologia de Grupo é uma filosofia de fabricação que busca identificar peças e produtos semelhantes na sua forma e ou processo de fabricação para agrupá-los em famílias de peças visando obter os benefícios desta similaridade tanto nas atividades de projeto quanto nas de manufatura, Groover (1984).

Para cada família de peças, o processamento de fabricação de cada membro é semelhante, utilizando as mesmas máquinas, as mesmas ferramentas, os mesmos dispositivos de fixação, a mesma metodologia de inspeção, enfim os mesmos procedimentos, Burbidge (1975). A aplicação da Tecnologia de Grupo nas atividades de projeto permite a recuperação e reutilização das informações contidas nos desenhos de uma família de peças para utilização no projeto de uma nova peça ou produto, através de pequenas alterações ou mesmo podendo utilizá-la sem alterações.

A agilização deste processo de recuperação de informações é feita através da utilização de um Sistema de Classificação e Codificação (SCC) que organiza as características de projeto tais como: forma externa, dimensões, materiais, máquinas, dispositivos necessários à fabricação, ferramentas para corte e outras necessárias ou disponíveis, em conjunto ou separadamente, dependendo da sua aplicação específica.

Em uma empresa típica, cuja produção de um novo produto ou peça custa entre US\$ 1,300.00 e 12,000.00, e que produz em média 2000 novos produtos ao ano, uma redução de apenas 10% no projeto de novas peças, através da utilização das já existentes, permite uma economia de US\$ 2,400,000. 00 ao ano, Hyer (1984).

Na Tabela 1 tem-se um resumo do trabalho de Hyer e Wemmerlöv (1988) sobre a aplicação da Tecnologia de Grupo na indústria americana.

Essa otimização é fruto da redução do número de peças semelhantes, eliminação de peças duplicadas, redução no tempo de projeto e desenho, facilidade de recuperação das informações.

Na área de compras, uma das empresas relatou que economizou US\$ 50,000.00 num ano, e outras três empresas relataram que economizaram 10% do total de custos com essa atividade, Hyer (1989). Essa economia de recursos foi obtida pela redução da gama de peças e materiais em bruto, melhoria da tomada de decisão entre comprar ou fazer, padronização de