

VANESSA CRISTINA ROCHA

**A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS INFORMATIZADOS NO
AUXÍLIO AO DESIGN E PRODUÇÃO DE JÓIAS**

**Escola de Engenharia - Departamento de Engenharia de Produção
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte - Minas Gerais
2007**

VANESSA CRISTINA ROCHA

**A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS INFORMATIZADOS NO AUXÍLIO AO
DESIGN E PRODUÇÃO DE JÓIAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Produção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Professor Orientador: Eduardo Romeiro Filho.

Escola de Engenharia - Departamento de Engenharia de Produção Universidade
Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte - Minas Gerais
2007

Não Sei

*Não sei se a vida é curta
ou longa demais para nós.
Mas sei que nada do que vivemos tem sentido,
Se não tocarmos o coração das pessoas.
Muitas vezes basta ser:
Colo que acolhe,
Braço que envolve,
Palavra que conforta,
Silêncio que respeita,
Alegria que contagia,
Lágrima que corre,
Olhar que acaricia,
Desejo que sacia,
Amor que promove.
E isso não é coisa de outro mundo.
É o que dá sentido à vida.
É o que faz com que ela não seja nem curta,
nem longa demais.
Mas que seja intensa,
verdadeira e pura.
Enquanto durar.
“Feliz aquele que transfere o que sabe ...
... e aprende o que ensina.”*

Cora Coralina

AGRADECIMENTOS

Quero dedicar meus agradecimentos:

Primeiramente a DEUS, pelo dom de uma vida com saúde; e por ser a enorme fonte de energia que me guia todos os dias em direção aos meus objetivos.

Ao Professor Eduardo Romeiro Filho - que além de orientador desse trabalho sempre foi para mim um grande exemplo de entusiasmo e profissionalismo - pela oportunidade, incentivo e orientação permanentes.

Aos meus pais, pelo amor, compreensão e apoio.

Aos colegas de mestrado pelo apoio e companheirismo. Em especial aos amigos Paulo, Camila, Heloísa e Cássia, que sempre me acompanharam com tanto carinho.

Agradeço também aos vários profissionais que muito colaboraram para o desenvolvimento desse trabalho:

Prof. Juan Carlos Campos Rubio (UFMG), Prof. Paulo Miranda (UEMG), Fabiano e Aparecida (Empresa Sculptec), Egon (Senai), Ronaldo (Senai), e aos designers Patrícia Amorim e José Hadad.

Aos alunos da UFMG, Edson e Osmar Gomes, que colaboraram durante várias etapas da pesquisa.

A todas as pessoas que, de várias formas, fizeram parte desses anos de caminhada e enriqueceram tanto seu sentido. O que aprendi nesse período é muito mais do que poderia escrever aqui.

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO 01: INTRODUÇÃO GERAL	15
1.1 Introdução ao tema de pesquisa	15
1.2 Justificativa	17
1.3 Delimitação do problema	20
1.4 Hipótese	20
1.5 Objetivos	21
1.5.1 Objetivo geral	21
1.5.2 Objetivos específicos	21
1.6 Estrutura da dissertação	21
CAPÍTULO 02: METODOLOGIA	23
CAPÍTULO 03: A INDÚSTRIA JOALHEIRA	27
3.1 O desenvolvimento da atividade joalheira - do artesanato à produção industrial	27
3.1.1 A indústria joalheira no Brasil	32
3.1.1.1 O design de jóias brasileiro	39
3.2 O desenvolvimento do design e produção no setor joalheiro	43
3.2.1 A atividade do designer	43
3.2.2 A atividade do ourives modelista	47
3.2.3 Processo convencional de produção joalheira	51
CAPÍTULO 04: DEMANDAS ATUAIS PARA O SETOR DE PROJETOS DA INDÚSTRIA JOALHEIRA	54
4.1 Problemas na interface entre concepção e execução na indústria de jóias	54
4.2 As novas demandas para o setor de projetos na indústria joalheira	56
4.3 Metodologia projetual no desenvolvimento do projeto joalheiro	58

4.3.1 A qualidade do projeto _____	62
4.3.2 Projeto integrado _____	65
CAPÍTULO 05: FERRAMENTAS TECNOLÓGICAS DE AUXÍLIO AO DESIGN E PRODUÇÃO _____	69
5.1 Ferramentas tecnológicas de auxílio ao projeto _____	69
5.1.1 CAD _____	70
5.1.2 CAM _____	75
5.1.2.1 Usinagem _____	77
5.1.2.2 Prototipagem rápida _____	80
5.1.2.2.1 Técnicas de prototipagem rápida _____	84
CAPÍTULO 06: APLICAÇÃO DE CAD/CAM NO SETOR JOALHEIRO _____	97
6.1 Como os sistemas informatizados interferem no processo de desenvolvimento de produtos _____	97
6.1.1 Vantagens da utilização _____	101
6.1.2 Desafios relacionados à implementação de sistemas CAD/CAM no setor joalheiro _____	105
6.1.2.1 Fatores relacionados ao aprendizado _____	105
6.1.2.2 Fatores relacionados à organização e métodos de trabalho _____	108
6.1.2.3 Dificuldades na escolha de ferramentas (softwares e equipamentos) adequadas / avaliação de custos x benefícios _____	112
CAPÍTULO 07 - ESTUDOS DE CAMPO E APRESENTAÇÃO DE EXPERIMENTOS REALIZADOS _____	120
7.1 Estudo de campo 1 – Utilização de software CAD por designer de jóias _____	121
7.2 Estudo de campo 2 – Empresa Sculptec – Belo Horizonte _____	124
7.3 Estudo de campo 3 – Universidade do Estado de Minas Gerais _____	131
7.4 Experimento 1 – Construção de modelo através de máquina CNC, utilizando engenharia reversa _____	138
7.5 Experimento 2 – Construção de modelo através do processo de estereolitografia _____	145

CAPÍTULO 08 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	149
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156
SITES RELACIONADOS	160

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução dos Conceitos de Produção X Produção Joalheira no Brasil	32
Figura 2 – Jóias premiadas em concursos de design (a)	41
Figura 3 – Jóias premiadas em concursos de design (b)	41
Figura 4 – Jóias premiadas em concursos de design (c)	41
Figura 5 – Jóias premiadas em concursos de design (d)	42
Figura 6 – Projeto formal de joalheria I	44
Figura 7 – Projeto formal de joalheria II	45
Figura 8 – Exemplos de projeto	46
Figura 9 – Ferramentas utilizadas pelos ourives	48
Figura 10 – Ourives utilizando ferramentas	49
Figura 11 – Processo de confecção de modelos em cera	50
Figura 12 – Seqüência de produção de modelo em cera de um anel	50
Figura 13 – Etapas do processo de construção da árvore de metal	52
Figura 14 – Fluxograma do processo de produção industrial de jóias	53
Figura 15 – Utilização de gabaritos de espessura da peça em cera e diâmetro	56
Figura 16 – Etapas de desenvolvimento do projeto de produto	61
Figura 17 – O ciclo de realimentação cliente-marketing-projeto	63
Figura 18 – Utilização de CAD para desenho de jóias	71
Figura 19 - Renderização de um modelo de jóia através de um software CAD	71
Figura 20 - Peças modeladas no software Rhinoceros e renderizadas no Flamingo	73
Figura 21 - Exemplo de peça construída no Rhinoceros utilizando recursos do plug-in Techgems	74
Figura 22 - Barra de ferramentas do plug-in Techgems	74
Figura 23 – Exemplo de aplicação de engenharia reversa utilizando um scanner tridimensional para leitura da peça pronta	75
Figura 24 - Três tipos de processos de fabricação	76
Figura 25 - Esquema representativo das coordenadas que comandam os movimentos das máquinas CNC	78

Figura 26 - Esquema representativo do funcionamento de uma máquina CNC de dois eixos _____	78
Figura 27 - Esquema representativo do funcionamento de uma máquina CNC de três eixos _____	79
Figura 28 - Figuras mostrando detalhes dos cabeçotes e fresas das máquinas de usinagem _____	79
Figura 29 - Máquina CNC de três eixos usinando um anel _____	80
Figura 30 - Máquina CNC trabalhando na confecção de modelo de jóia e protótipos de jóias gerados numa máquina CNC _____	80
Figura 31 - Máquinas de usinagem _____	80
Figura 32 - Figuras mostrando como o processo de adição de material permite construir estruturas complexas _____	81
Figura 33 - Exemplos de aplicação de prototipagem rápida em outras indústrias _____	83
Figura 34 - Figura ilustrativa mostrando o processo de construção do protótipo no processo de estereolitografia _____	85
Figura 35 - Imagens do processo de estereolitografia _____	85
Figura 36 - Peças prontas, retiradas da máquina de estereolitografia _____	86
Figura 37 - Máquinas de estereolitografia _____	86
Figura 38 - Protótipos de jóias produzidos pelo processo de estereolitografia _____	86
Figura 39 – Esquema representativo do processo FDM _____	87
Figura 40 – Protótipos produzidos pelo processo FDM _____	87
Figura 41 - Máquina de prototipagem por FDM _____	88
Figura 42 - Esquema representativo do processo SGC _____	88
Figura 43 - Protótipos produzidos pelo processo SGC _____	89
Figura 44 - Máquina de prototipagem por SGC _____	89
Figura 45 - Esquema representativo do processo LOM _____	90
Figura 46 – Protótipos produzidos pelo processo LOM _____	90
Figura 47 - Máquina de prototipagem por LOM _____	90
Figura 48 - Esquema representativo do processo SLS _____	91
Figura 49 - Processo de retirada do protótipo da máquina de SLS _____	91
Figura 50 - Máquina de prototipagem por SLS _____	92

Figura 51 - Máquina de prototipagem rápida pelo sistema SLS	92
Figura 52 - Esquema representativo do processo de impressão tridimensional	93
Figura 53 - Protótipo construído pelo sistema de impressão tridimensional	93
Figura 54 - Máquina de prototipagem por impressão tridimensional e estufa para retirada do material de suporte e cura dos modelos	93
Figura 55 - Sequência de produção de modelos de jóias usando sistema de impressão tridimensional	94
Figura 56 - Protótipos em resina termoplástica, confeccionados por impressão tridimensional	94
Figura 57 - Esquema representativo do sistema LENS	95
Figura 58 - Etapas de funcionamento do sistema LENS	95
Figura 59 - Máquina de prototipagem pelo sistema LENS	95
Figura 60 - LC-510 optical modeling and CAD system - Meiko Co.Ltd	96
Figura 61 - Modeling jewelry on JCAD/Takumi and Meiko	96
Figura 62 - Modelo de Ciclo de Vida do Produto e Principais Recursos Informatizados	98
Figura 63 - Fluxograma Processo convencional de produção X Processo utilizando sistemas informatizados	99
Figura 64 - Funções do designer no processo convencional X processo auxiliado por CAD	101
Figura 65 - Desenvolvimento de brincos utilizando Rhinoceros e Flamingo	122
Figura 66 - Desenvolvimento de anel utilizando Rhinoceros e Maxwell	122
Figura 67 - Projetos desenvolvidos utilizando Rhinoceros e Flamingo	122
Figura 68 - Máquina de prototipagem rápida Perfactory Mini - da fabricante Envisiontec	127
Figura 69 - Imagem renderizada e protótipo em resina	128
Figura 70 - Sequência de produção de modelo utilizando CAD/CAM	128
Figura 71 - Protótipos em resina e moldes de borracha	130
Figura 72 - Máquina Invision Si2, da 3Dsystems	132
Figura 73 - Estufa utilizada na limpeza e cura dos protótipos	132
Figura 74 - Protótipos produzidos na máquina da 3Dsystems	133

Figura 75 – Fotos de protótipos produzidos no Cedgem (a)	_____	133
Figura 76 – Fotos de protótipos produzidos no Cedgem (b)	_____	134
Figura 77 – Fotos de protótipos produzidos no Cedgem (c)	_____	134
Figura 78 – Fotos de protótipos produzidos no Cedgem (d)	_____	134
Figura 79 – Foto com detalhe mostrando marcas de construção na superfície da peça	_____	135
Figura 80 – Modelos construídos na nova máquina da 3Dsystems	_____	136
Figura 81 – Fotos do laboratório do Cedgem para produção de jóias	_____	136
Figura 82 – Fotos da sequência de produção de anel a partir do molde de borracha	_____	137
Figura 83 – Modelo em resina e a mesma peça reproduzida em metal	_____	137
Figura 84 – Pingente original em metal	_____	138
Figura 85 – Máquina CNC Roland Modela MDX-20	_____	138
Figura 86 – Desenho digitalizado no computador	_____	139
Figura 87 – Equipamentos integrados utilizados no laboratório de engenharia mecânica da UFMG	_____	140
Figura 88 – Sequência de transferência do arquivo do computador para a máquina CNC	_____	141
Figura 89 – Detalhe da máquina CNC na confecção do modelo	_____	141
Figura 90 – Fotos mostrando a sequência de corte e acabamento do modelo em cera – e peça final reproduzida em metal	_____	141
Figura 91 – Sequência de fotos mostrando a reprodução do pingente a partir do modelo em cera	_____	142
Figura 92 – Máquina de prototipagem rápida por estereolitografia utilizada pelo Senai “Euvaldo Lodi”	_____	145
Figura 93 – Peça sendo retirada da máquina de prototipagem rápida por estereolitografia	_____	145
Figura 94 – Protótipos em resina (a)	_____	147
Figura 95 – Protótipos em resina (b)	_____	147
Figura 96 – Protótipos em resina (c)	_____	148

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Maior participação nas exportações de produtos com valor agregado	18
TABELA 2 - Exportação Brasileira do Setor – 2006/2005 _____	32
TABELA 3 - Principais Exportadores Mundiais Artefatos de Joalheria de Ouro	35
TABELA 4 - Principais Países Produtores de Ouro em Bruto _____	36
TABELA 5 - 30 Maiores Países Fabricantes de Jóias de Ouro _____	36
TABELA 6 – Principais Exportadores Mundiais de Pedras Preciosas Brutas	37
TABELA 7 - Principais Exportadores Mundiais de Pedras Preciosas Lapidadas	38
TABELA 8 – Orçamentos para confecção de protótipos _____	118
TABELA 9 – Cenário atual e futuro na implementação de CAD/CAM no setor joalheiro _____	154

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Utilização de prototipagem rápida em vários setores nos EUA 83

RESUMO

Este trabalho faz uma análise da recente utilização de sistemas informatizados - CAD/CAM (Projeto Auxiliado por Computador / Manufatura Auxiliada por Computador) - durante as etapas de projeto e produção no setor joalheiro. Paralelamente são analisadas as modificações provocadas na atuação dos profissionais envolvidos - sobretudo para o designer - em suas competências e métodos de trabalho.

No mercado globalizado e altamente competitivo torna-se cada vez mais importante que as empresas desenvolvam produtos visando atingir, através de um maior controle de seus processos produtivos, as metas de qualidade estabelecidas durante as etapas iniciais do desenvolvimento projetual. Apesar dos avanços tecnológicos e o uso de máquinas em várias fases da produção industrial de jóias, durante as etapas iniciais - concepção e execução do primeiro modelo - os processos de trabalho mantêm características essencialmente artesanais. As limitações intrínsecas aos processos de trabalho utilizados nessas etapas - tanto pelo designer quanto pelo ourives modelista - acabam por gerar erros que são transferidos para as etapas seguintes, levando à falta de controle dos resultados.

Visando proporcionar uma melhor avaliação do produto nas fases iniciais do seu desenvolvimento, sistemas informatizados para auxílio ao projeto e produção - CAD/CAM - começam a encontrar aplicação na indústria joalheira. A pesquisa realizada leva à conclusão de que a utilização desses sistemas pode auxiliar muito na resolução de problemas na interface entre o projeto e a execução de jóias. No entanto, são apontados também alguns obstáculos à sua rápida implementação no setor joalheiro, sobretudo no que diz respeito ao aprendizado relacionado à sua utilização e às necessárias mudanças nos métodos de trabalho dos designers, no sentido de adequarem seus projetos às necessidades dos outros setores da produção (entre eles o ourives modelista), objetivando um produto final que atenda aos critérios de qualidade desejados.

Palavras-chave: design, ourives, prototipagem rápida, CAD - Computer Aided Design (Projeto Auxiliado por Computador), CAM - Computer Aided Manufacture (Manufatura Auxiliada por Computador).

ABSTRACT

This activity is an analysis of the recent use of informatics systems – CAD / CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing) – during the project stages and production in jewel sector. At the same time the changes caused in the professionals involved are also going to be analyzed. Mainly the designers ability (competence) and work methods.

In the globalized and highly competitive market, it becomes more and more important that all the companies develop products aiming to reach, through a better control to productive process, the aims of quality established during the initial stages of project development.

In spite of technological advances and the use of machines in many stages of the industrial production of jewels during the firsts stages – conception and execution of the first model – the work processes still keep essential workmanship features. The limitation intrinsic to the work processes used in these stages- as well as by the designer as by the goldsmith – it ends creating mistakes that are transferred to the following stages, causing lack of results control.

Aiming to provide a better valuation of the products in their initial stages of development, informatics systems to help the project and production - CAD / CAM – start to find appliance in jewels industry. This research concludes that the use of these systems can help much to solve problems in the interface between the project and also in the execution in the jewels section. However, also are shows some obstacle to its rapid implementation on jewel sector, overcoat about the apprenticeship relative to use its and the necessary changes in the methods of the designers work , aiming to adjust their projects to the needs of the other production sections (among them the goldsmith as well),with the purpose of getting a final product that reaches the quality standard wanted.

Key-words: desing, goldsmith, rapid prototyping, CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aides Manufacturing)

- CAPÍTULO 1 -

INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Introdução ao tema de pesquisa

A joalheria sempre esteve presente na história da humanidade. Nossos ancestrais já utilizavam conchas, sementes e outros materiais para adorno pessoal. Desde então, a arte de transformar materiais, preciosos ou não, em peças para ornamento pessoal vem se desenvolvendo e atraindo a atenção e o fascínio do homem através dos tempos.

A arte da joalheria é uma das mais antigas artes decorativas existentes: mais de sete mil anos se passaram desde que um ancestral do homem moderno resolveu utilizar conchas e sementes como adorno pessoal. As jóias, os metais preciosos e as gemas sempre vieram ao encontro dos mais profundos sentimentos humanos: a atração por materiais raros e belos, o desejo pelo embelezamento do corpo, o status e a superstição representada pelo poder atribuído a determinadas gemas. A história da joalheria no progresso da civilização humana compreende o trabalho, a criatividade e o talento de sucessivas gerações de artesãos ao desafio de transformar materiais preciosos em ornamentos pessoais de elevado valor artístico. (PEDROSA, 2006)

O desenvolvimento das técnicas de ourivesaria acompanhou os movimentos das artes plásticas, que aconteceram principalmente na Europa. Os ourives artesãos buscaram nesses movimentos, inspiração para a confecção de jóias de época. Já a partir da Antiguidade, pode-se observar uma sofisticação das técnicas básicas e a busca pela perfeição das peças.

Ao longo de séculos os ourives foram os únicos profissionais que detiveram os conhecimentos acerca do processo de produção joalheira, criando e executando cada uma de suas peças à mão, cumprindo todas as etapas da produção até que a jóia fosse concluída.

A partir do desenvolvimento da produção industrial de jóias, ocorre a divisão de tarefas nas indústrias. O ourives deixa então de deter o controle total da produção para dividir seu trabalho entre outros profissionais. A etapa de projeto passou a ser responsabilidade do designer de jóias.

Com as etapas de produção divididas tornou-se necessária a formalização de processos que possibilitassem a comunicação entre as diferentes etapas produtivas. Entre as fases de

concepção e execução de jóias, o projeto é o meio que possibilita que o designer comunique sua idéia ao ourives e como deve ser o resultado final da peça depois de executada.

O projeto da jóia é passado ao ourives através de desenhos artísticos e técnicos que devem fornecer todas as informações para que a peça seja confeccionada atingindo aos objetivos de qualidade propostos. Porém, na prática, nem sempre isso acontece. Devido à própria limitação do meio de comunicação – o desenho bidimensional em papel – algumas características da peça não podem ser representadas com a mesma fidelidade de um modelo tridimensional. Além disso, o designer nem sempre têm conhecimentos relativos ao processo produtivo, o que faz com que os projetos desenvolvidos muitas vezes sejam inviáveis ou desconsiderem questões fundamentais para sua produção.

Esses problemas na interface entre as etapas de concepção e projeto de jóias já foram anteriormente abordados por Noguchi (2003):

A origem da pesquisa, das observações, dos estudos e das reflexões que compõe este trabalho está ligada a uma constatação básica: um dos graves problemas enfrentados pelos profissionais que se dedicam à produção de jóias em nosso país reside na interface entre os dois grandes segmentos da cadeia produtiva – o da concepção do produto e o de sua execução. (...)

Nas observações feitas e nos depoimentos dos envolvidos na produção de jóias na região metropolitana de Belo Horizonte, tais como ourives, designers e os profissionais terceirizados, evidenciou-se uma realidade que se repete rotineiramente no processo de produção de jóias: incompatibilidades, conflitos, resistências e dificuldades, localizadas principalmente na interface concepção e execução dos projetos.

Estes problemas não são desconhecidos nem menosprezados pelos ourives, muito menos pelos designers envolvidos com o processo de produção. (...)

Concluída a etapa de concepção e projeto, o ourives é responsável pela confecção do primeiro modelo físico da peça. No trabalho de modelagem - como é chamada essa etapa – o ourives vai esculpir as formas da peça em um bloco de material, geralmente cera (própria para modelagem de jóias) ou metal. Esse trabalho é totalmente artesanal. Os recursos utilizados pelos ourives são serras, limas, lixas, brocas, etc. e o resultado final depende de sua habilidade manual. O processo utilizado na confecção do modelo também é um fator limitante na confecção da jóia. Por mais habilidade que o profissional possua, algumas características da peça (peso, espessura, etc.) não podem ser facilmente controladas manualmente.

Todas as limitações citadas acabam por prejudicar o produto final. As deficiências na representação do projeto fazem com que, muitas vezes, algumas características da peça

tenham que ser “deduzidas” e se torna comum que o ourives, durante a confecção do modelo, utilizando seu conhecimento prático, sugira as melhores opções “mecânicas” para as peças e frequentemente interfira no projeto. Esses fatores levam, portanto, a uma falta de controle dos resultados previstos durante o projeto.

É nessa etapa, na passagem do desenho para o modelista ou ferramenteiro, que podem surgir as grandes “interferências”. Como quase sempre o “projeto” é uma representação artística do objeto ou um detalhamento técnico que ele nem sempre consegue traduzir ou, ainda, se o autor do projeto desconhece os processos de fabricação disponíveis, o modelista pode dar livre interpretação ao produto e modificá-lo completamente. (TEIXEIRA, 2002)

Os problemas de comunicação gerados pelo desenvolvimento industrial e a divisão de tarefas, já são amplamente conhecidos e têm sido alvo das empresas de vários setores, que buscam a eficiência na produção através da integração entre seus diferentes departamentos. Com esse propósito, surgiram muitas ferramentas de apoio ao trabalho utilizando novas tecnologias e sistemas informatizados.

No que diz respeito à integração entre as etapas de projeto e produção os sistemas CAD e CAM (Projeto Auxiliado por Computador e Manufatura Auxiliada por Computador – que serão melhor detalhados adiante) têm sido largamente utilizados em várias áreas, especialmente onde o design é fator importante para o sucesso dos produtos. São ferramentas que visam uma melhor avaliação do produto nas fases iniciais de seu desenvolvimento e um maior controle da etapa de produção, proporcionando também uma comunicação mais eficiente entre os envolvidos no projeto durante essas etapas.

Apesar de amplamente divulgadas e utilizadas em vários setores industriais, essas tecnologias só agora começam a encontrar aplicação na indústria joalheira. Acredita-se, no entanto, que a exemplo de outros setores industriais, essa seja uma tendência e que existe grande possibilidade de que essa implementação ganhe espaço crescente nas indústrias joalheiras.

1.2 Justificativa

O Brasil possui um enorme potencial para a produção joalheira devido à abundância de matéria prima encontrada no país. Apesar do considerável desenvolvimento da indústria e valorização do produto joalheiro nacional nos últimos anos, tanto no mercado interno como no externo, atualmente a maior parte da participação brasileira na produção joalheira mundial

ainda se dá através de produtos não acabados ou matéria-prima para o setor, como mostra a tabela abaixo:

TABELA 1
Maior participação nas exportações de produtos com valor agregado

US\$ milhões

	2000	2002	2004	2006
A – Matérias-Prima	393	397	461	740
B – Produtos Industrializados (*)	244	294	345	388
Total do Setor	637	691	806	1128
B / TOTAL	38%	42%	43%	34%

(*) Inclui Exportações a não residentes – DEE

Fonte: IBGM – Instituto Brasileiro de Gemas e Metais, 2007.

Existe, portanto, grande espaço para que o Brasil explore seus recursos e tenha condições de realizar todo o processo de produção de jóias internamente, desenvolvendo produtos com maior valor agregado através da utilização da grande variedade de matérias-primas nacional - que são um diferencial do Brasil - em seus produtos acabados, desta forma promovendo o fortalecimento da cadeia produtiva joalheira do país.

Em um mundo de crescente competição global, as nações tornaram-se mais importantes. À medida que a base da competição se voltou mais e mais para a criação e assimilação do conhecimento, o papel da nação cresceu. A vantagem competitiva é criada e sustentada por meio de um processo altamente localizado. Diferenças de valores, culturas, estruturas econômicas, instituições e histórias entre as nações contribuem para o sucesso competitivo. Há diferenças marcantes nos padrões de competitividade em cada país; nenhuma nação conseguirá ser competitiva em todos ou mesmo na maioria dos setores industriais. (...) (PORTER, 1990)

Na busca por espaço nesse amplo mercado globalizado, o design tem um papel fundamental na diferenciação dos produtos brasileiros. Mas o design vai muito além da simples diferenciação estética. Assim como em outros setores industriais, a importância do setor de projetos dentro das indústrias joalheiras tem crescido, já que as melhorias obtidas durante a etapa de desenvolvimento de produtos refletirão diretamente na qualidade final do produto. Durante essa etapa são determinadas as características dos produtos e dos processos, sendo esse, portanto, o momento mais propício para se obter os melhores resultados e eliminar

possíveis falhas que ocorreriam posteriormente, e que gerariam retrabalho, desperdício de tempo e custos mais altos durante o processo produtivo.

Um processo projetual bem estruturado e bem conduzido é uma peça-chave para a conquista e manutenção de mercados. O processo de design e o desenvolvimento de novos produtos assume importância crescente em um cenário de alta competitividade a nível mundial como vem ocorrendo desde o início da década de oitenta. Com a globalização da produção, de nada adiantarão produtos obsoletos, cuja vantagem competitiva seja sustentada somente pelo fator preço de compra. O destino destes produtos será cada vez mais os mercados marginais, seja interna ou externamente. (ROMEIRO, 1997)

Ocorre que no setor joalheiro, como já citado, a etapa de projetos sofre com as deficiências no processo de comunicação entre o designer e o ourives, o que acaba por comprometer a qualidade do produto final.

Acredita-se que os sistemas informatizados de auxílio ao projeto e produção – CAD/CAM - possam beneficiar a interface de comunicação entre a concepção e produção de jóias, representando um meio de comunicação muito mais claro entre os envolvidos e reduzindo consideravelmente os problemas vividos no processo convencional de produção joalheira.

O sistema CAD permite a simulação de um modelo perfeito tridimensional e um exame de formas e tamanhos representados visualmente como se esta tivesse sido realmente fabricada. A visualização em 3D possibilita melhor avaliação do produto durante o projeto, o que diminui consideravelmente os riscos e os custos de erros posteriores, durante a produção. Depois que o modelo virtual é aprovado, a confecção de um protótipo real pode ser feita através do sistema CAM, que pode produzir automaticamente um protótipo da peça. Esse processo elimina a etapa de confecção artesanal do modelo, atingindo um nível de precisão na execução que não seria atingido artesanalmente.

Além do domínio das ferramentas e técnicas - que representam um novo aprendizado para os profissionais - fatores relacionados aos métodos de trabalho utilizados atualmente e as estruturas de gestão administrativa das empresas joalheiras têm forte influência e são da mesma forma fortemente influenciados por essa recente introdução de sistemas CAD e CAM no setor joalheiro.

No processo convencional de produção joalheira, as etapas são nitidamente separadas: o designer é responsável pelo projeto, que é passado pronto ao ourives para ser então executado. No desenho em papel, vários detalhes técnicos podem passar despercebidos. No entanto, com

a utilização do CAD, devem ser considerados todos os elementos técnicos necessários para a construção do modelo. Caso contrário, se torna inviável sua utilização. Desta forma, o designer tem suas responsabilidades aumentadas, tendo que considerar durante o projeto, as várias questões que envolvem o produto e sua produção. Se a peça-modelo for ser confeccionada por processos automatizados, o designer estará, dentro da sua atividade, eliminando uma etapa do processo produtivo e agregando funções ao seu trabalho.

Diante do contexto apresentado, torna-se relevante o desenvolvimento de estudos relacionados ao tema. Todas as iniciativas nesse sentido - nas quais esse trabalho pretende se inserir como objeto de informação e abertura à discussão e novos projetos acadêmicos relacionados - vêm nesse momento colaborar para o fortalecimento da indústria joalheira nacional.

1.3 Delimitação do problema

Os processos de trabalho utilizados no setor joalheiro entre as etapas de concepção e produção do primeiro modelo da peça apresentam limitações que comprometem a eficiência dessas etapas e a qualidade do produto final.

A inadequação dos projetos aos processos produtivos e as limitações do processo artesanal utilizado na produção do primeiro modelo da jóia fazem com que os projetos sofram várias alterações ao longo de sua execução, gerando uma falta de controle dos resultados e fazendo com que o produto final não seja fiel às características estabelecidas durante o projeto joalheiro.

Como garantir que o produto final obedeça às características estabelecidas no projeto joalheiro?

1.4 Hipótese

As características do projeto joalheiro podem ser transferidas e controladas de forma mais eficiente, garantindo que o produto final seja fiel a essas mesmas características, através da utilização de sistemas informatizados como o CAD e o CAM durante o processo de concepção e produção do primeiro modelo.

1.5 Objetivos

1.5.1. Objetivo geral

Avaliar a hipótese de que através da utilização de sistemas informatizados como o CAD e o CAM durante o processo de concepção e produção do primeiro modelo, as características do projeto joalheiro podem ser transferidas e controladas de forma mais eficiente, garantindo que o produto final seja fiel a essas mesmas características.

1.5.2 Objetivos específicos

Avaliar as principais mudanças geradas pelo uso de novas ferramentas, para os designers, os ourives, as empresas e outros envolvidos diretamente nessa questão.

Levantar as mudanças nos métodos de trabalho e responsabilidades do designer a partir da introdução de novas ferramentas como o CAD e o CAM.

Verificar a viabilidade e adequação às necessidades do setor das principais ferramentas e recursos disponíveis para confecção de protótipos de jóias.

Analisar as principais ferramentas disponíveis para construção de protótipos por retirada e deposição de material.

Testar experimentalmente algumas formas de desenvolvimento de projetos joalheiros com a utilização de CAD e CAM.

Realizar contribuição acadêmica relevante ao tema, já que o setor joalheiro apresenta grande carência de estudos sobre o mesmo.

1.6 Estrutura da dissertação

A estrutura deste trabalho foi desenvolvida de forma a apresentar ao leitor, de forma consistente, um desenvolvimento lógico acerca do tema pesquisado, culminando na avaliação da hipótese – ou na validação do objetivo geral da pesquisa. O texto foi desenvolvido em oito capítulos, dispostos da seguinte forma:

O primeiro capítulo – Introdução geral – contextualiza o tema de pesquisa, apresentando informações gerais acerca da indústria joalheira dentro do enfoque do trabalho. Nesse capítulo é abordada a importância do fortalecimento da cadeia produtiva de jóias no Brasil, dado o potencial do país como grande produtor de matéria-prima para o setor joalheiro. Baseado

nesse contexto é apresentada a justificativa para a pesquisa, a hipótese a ser investigada e os objetivos do trabalho.

O segundo capítulo apresenta o método de pesquisa adotado para o desenvolvimento deste trabalho.

O terceiro capítulo traça um perfil do setor joalheiro. É abordado o desenvolvimento da atividade projetual na indústria joalheira ao longo da história e como o mesmo se encontra atualmente. São apresentadas as técnicas de produção joalheira, com ênfase na interface entre as etapas de design e modelagem.

O quarto capítulo descreve os problemas de interface entre as etapas de concepção e execução de jóias e aborda temas relacionados à utilização de metodologias de trabalho - desenvolvimento de produtos - mais adequadas às demandas do mercado atual.

O quinto capítulo apresenta as principais ferramentas tecnológicas de auxílio ao design e produção – CAD e CAM - e seus recursos.

O sexto capítulo aborda a aplicação dos sistemas CAD e CAM no setor joalheiro, considerando as vantagens e obstáculos relacionados a sua implementação.

O sétimo capítulo apresenta os estudos de campo e experimentos realizados.

No oitavo capítulo são apresentadas as conclusões e recomendações finais.

- CAPÍTULO 2 -

METODOLOGIA

Esse capítulo tem como finalidade apresentar o método de pesquisa adotado para que fosse atingido o principal objetivo da pesquisa: avaliar a hipótese de que através da utilização de sistemas informatizados como o CAD e o CAM durante o processo de concepção e produção do primeiro modelo, as características do projeto joalheiro podem ser transferidas e controladas de forma mais eficiente, garantindo que o produto final seja fiel a essas mesmas características.

Cervo e Bervian (1996) colocam que “a pesquisa parte de uma dúvida ou problema e, com o uso do método científico, busca uma resposta ou solução. (...) Em seu sentido mais geral, o método é a ordem que se deve impor aos diferentes processos necessários para atingir um fim dado ou um resultado desejado.”

O método científico obedece a uma ordem que compreende alguns passos gerais, aplicáveis a todas as ciências, que devem ser percorridos em qualquer pesquisa científica. Tais passos podem ser resumidos (CERVO e BERVIAN, op.cit) em:

- formular questões ou propor problemas e levantar hipóteses,
- efetuar observações e medidas,
- registrar os dados observados com o intuito de responder às perguntas formuladas ou comprovar a hipótese levantada,
- elaborar explicações ou rever conclusões obtidas a todos os casos que envolvem condições similares.
- prever ou prever, isto é antecipar que, dadas certas condições, é de se esperar que surjam certas relações.

Para que os passos ou etapas do método científico estejam adaptados aos diversos tipos de ciências, as técnicas de pesquisa utilizadas para investigação das hipóteses devem ser adequadas ao tipo de problema que se pretende responder.

Segundo Gil (2002) as pesquisas podem ser classificadas com base em seus objetivos em:

- pesquisa exploratória: tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Seu planejamento é bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado. Na maioria dos casos, essas pesquisas envolvem levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão.
- pesquisa descritiva: tem como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis. São inúmeros os estudos que podem ser classificados sob este título e uma de suas características mais significativas está na utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados, tais como questionário e a observação sistemática.
- pesquisa explicativa: tem como preocupação central identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos. As pesquisas explicativas nas ciências naturais valem-se quase exclusivamente do método experimental.

Considerando essas definições, para este trabalho, a pesquisa foi composta de duas etapas:

- pesquisa exploratória: realizada através de entrevistas, análises de exemplos práticos e revisão de literatura.
- pesquisa explicativa: realizada através de pesquisa de campo e pesquisa experimental.

Pesquisa exploratória:

a) Entrevistas e análises de exemplos práticos: Nessa etapa, foram realizadas visitas a empresas joalheiras com o objetivo de observar e colher informações para posteriormente descrever as características do processo convencional de produção de jóias. Além disso, foram colhidos relatos informalmente, junto aos profissionais do setor, com o intuito de confirmar o problema de pesquisa e suas implicações na atuação diária dos mesmos, assim como sobre sua percepção em relação ao tema. Esses relatos tiveram o objetivo de embasar os próximos passos da pesquisa, orientando a pesquisadora na busca das questões mais relevantes na investigação do tema proposto.

b) Revisão de literatura: essa etapa tem como objetivo realizar um levantamento das documentações - os livros, artigos, documentos, etc. - existentes sobre o assunto e sobre temas relacionados ao mesmo. Esses dados formaram o referencial teórico da pesquisa.

Nas fases da pesquisa de campo e experimental, “inicialmente devemos realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto em questão. Tal estudo nos informará sobre a situação atual do problema, sobre os trabalhos já realizados a esse respeito e sobre as opiniões reinantes; (...). (RUIZ, 1996)

Visto que as fontes de pesquisa que tratam de temas específicos sobre o setor joalheiro são bastante restritas, a pesquisadora buscou, além dos poucos dados encontrados e dos relatos dos profissionais do setor, embasar sua pesquisa relacionando essas informações às teorias gerais que tratam de assuntos relacionados ao tema estudado, sobretudo no que diz respeito aos métodos de trabalho antes e depois do uso de sistemas informatizados.

Pesquisa explicativa:

a) Pesquisa de campo: esse tipo de pesquisa é caracterizado pelo aprofundamento das questões pesquisadas levando em consideração a realidade de um grupo específico ou uma situação distinta. É realizado no local onde ocorrem os fenômenos observados.

A pesquisa de campo “não é experimental no sentido de não produzir ou de não reproduzir os fatos que estuda. A pesquisa de campo consiste na observação dos fatos tal como ocorrem espontaneamente, na coleta de dados e no registro de variáveis presumivelmente relevantes para ulteriores análises. Essa espécie de pesquisa não permite o isolamento e o controle das variáveis supostamente relevantes, mas permite o estabelecimento de relações constantes entre determinadas condições – variáveis independentes – e determinados eventos – variáveis dependentes -, observadas e comprovadas.” (RUIZ, 1996)

“Basicamente, a pesquisa é desenvolvida por meio da observação direta das atividades do grupo estudado e de entrevistas com informantes para captar suas explicações e interpretações do que ocorre no grupo. Esses documentos são geralmente conjugados com muitos outros, tais como análise de documentos, filmagem e fotografias.” (GIL, op.cit)

Foram realizadas três pesquisas de campo. A primeira junto a um profissional autônomo e as duas seguintes em empresas do setor, todos já utilizando os processos estudados – CAD e CAM - aplicados à joalheria. Essas pesquisas objetivaram o levantamento de novos dados - agora baseados em observações práticas - a respeito das vantagens e restrições apresentadas em cada situação pesquisada.

d) Pesquisa experimental: essa etapa teve como objetivo testar, em condições criadas para esse fim, algumas situações envolvendo a utilização de CAD/CAM no setor joalheiro.

“Enquanto a pesquisa descritiva procura classificar, explicar e interpretar os fenômenos que ocorrem, a pesquisa experimental pretende dizer de que modo ou por que causas o fenômeno é produzido.” (CERVO e BERVIAN, op.cit)

“A pesquisa experimental está interessada em criar condições para interferir no aparecimento ou na modificação de fatos a fim de poder explicar o que ocorre quando dois ou mais fenômenos são relacionados. A pesquisa experimental inclui os objetivos da pesquisa descritiva [ou exploratória] indo, no entanto, mais além.” (RUDIO, 1978)

“As hipóteses devem ser postas à prova, verificadas, aprovadas ou reprovadas pelos fatos. (...) Na formulação das hipóteses, a reflexão antecipa-se às evidências demonstradas. Na experimentação, falam os fatos e não o gênio do pesquisador. Na hipótese, as idéias prejudgam os fatos; na experimentação, os fatos é que julgam a adequação ou não das idéias, isto é, das hipóteses.” (RUIZ, 1996)

Foram realizados dois experimentos. Ao contrário das pesquisas de campo, nas quais foram visitadas empresas a fim de analisar os procedimentos realizados, as pesquisas experimentais foram realizadas a partir da criação de situações em laboratório (o experimento) a fim de verificar efetivamente a utilização de CAD e CAM para produção de modelos de jóias.

Com base nos dados obtidos através das pesquisas exploratórias, de campo e experimentais, foi possível promover uma análise relacionando as informações levantadas em todas essas fontes, possibilitando apresentar de forma consistente as conclusões sobre o tema pesquisado.

- CAPÍTULO 3 -

A INDÚSTRIA JOALHEIRA

*“O processo da jóia em ouro é um processo de artesanato, arte e tecnologia”
(World Gold Council)*

3.1 O desenvolvimento da atividade joalheira - do artesanato à produção industrial

O que caracteriza o trabalho artesanal é o domínio da atividade por um único indivíduo – o artesão – ou um grupo restrito de artesãos. O conhecimento acerca das atividades que envolvem o trabalho é passado do mestre para o aprendiz, de maneira informal, sem procedimentos padronizados que orientem esse trabalho e está baseado sobretudo no conhecimento tácito, orientado para o “saber fazer”, construído através da experiência adquirida em anos de trabalho e constante acompanhamento do processo produtivo.

... os conhecimentos sobre produtos e processos eram dominados e integrados por uma pessoa. O artesão conhecia os dois aspectos: ele “projetava” e desenhava os produtos que iria produzir, obtinha as ferramentas necessárias e desempenhava as tarefas de produção, geralmente com o auxílio de aprendizes. À medida que estes aprendiam com o mestre artesão, garantia-se a continuidade do ofício e dos conhecimentos e habilidades a ele associados. (Fleury & Fleury¹ apud NOGUCHI, 2003)

O domínio de todas as fases da produção de um objeto, desde a criação até a execução final, proporciona um nível de conhecimento que torna o artesão altamente qualificado em sua atividade. O alto nível de compreensão do processo e suas variáveis, possibilita que o artesão possa adequar os recursos que possui em função de seus objetivos finais, desenvolvendo métodos e novas técnicas para seu trabalho.

O conhecimento adquirido com as técnicas artesanais em geral serviu de subsídio para o aprimoramento das técnicas subsequentes, que tornaram possível a criação e construção de produtos mais complexos. Começaram a surgir as primeiras máquinas, gerando a partir daí avanços constantes nas técnicas de manufatura e produção, o que culminaria na Revolução Industrial no séc. XVIII.

O processo de colonização de novos territórios, possibilitado pelos avanços nas técnicas de construção de navios, representou um impulso fundamental nesse processo. As colônias representavam um significativo crescimento na demanda por novos produtos, tornando-se consumidores dos bens manufaturados e potenciais fornecedores de matéria-prima; fato que estimulou mais os investimentos nas técnicas para o aumento da produção e proporcionou uma maior concentração de capital pelos países hoje tidos como desenvolvidos. Vinculados a uma demanda crescente, esses fatores criaram o ambiente que daria início à Revolução Industrial no séc. XVIII.

A partir da Revolução Industrial o trabalho teve que ser reorganizado. O objetivo era produzir cada vez mais. Ao contrário do artesanato, onde uma só pessoa é responsável por todas as etapas da produção, dentro das indústrias o trabalho passou a ser dividido entre vários profissionais, responsáveis por diferentes etapas. Começaram então a surgir profissionais cada vez mais especializados em cada uma dessas etapas. Foi criada a produção em série, com cada trabalhador em um posto específico de trabalho, produzindo apenas uma pequena etapa do processo, que seria encaminhado para a próxima etapa, onde estaria outro trabalhador, responsável pela etapa seguinte e assim sucessivamente.

As teorias sobre administração do trabalho nas organizações surgiram nessa época e estavam fundamentadas na estruturação e controle do trabalho através da divisão de tarefas e a forte divisão hierárquica nas organizações. Ainda hoje, grande parte das empresas reflete as características desses modelos – sobretudo os modelos taylorista e fordista² - na gestão administrativa e na forma como organizam a produção e o trabalho em si.

¹ FLEURY A.C.C. & FLEURY M.T.L. *Aprendizagem e inovação organizacional: as experiências do Japão, Coréia e Brasil*. São Paulo: Atlas, 1995.

² O Taylorismo se fundamentou na racionalização do trabalho, na divisão hierárquica e no rigor no planejamento e controle do trabalho operário. Os operários eram treinados para realizar sua tarefa de forma padronizada e controlada, buscando a máxima produtividade. Posteriormente, Ford (daí o fordismo) foi o grande precursor das linhas de montagem nas fábricas, organizando o trabalho de forma seriada, com as etapas nitidamente separadas. Esses dois “marcos” nas teorias de administração influenciaram fortemente a organização do trabalho a nível mundial.

Com a produção em série e da divisão de tarefas, as fábricas puderam aumentar seu desempenho produtivo e desde então gerar uma contínua evolução da indústria. No entanto, junto com várias vantagens, posteriormente ficariam evidentes os problemas relacionados à interface de comunicação durante a transferência de tarefas entre os profissionais envolvidos nas diferentes etapas que compõe o processo.

A partir dos avanços iniciais da indústria, as organizações vêm se desenvolvendo e mudando os conceitos que norteiam seus sistemas produtivos. À medida que as condições de produção foram sendo melhoradas, aumentou-se consideravelmente a oferta de produtos industrializados, acirrando a competição entre as empresas. Desta forma, as organizações começaram a investir em práticas internas de gestão e organização da produção e trabalho, com o objetivo de se adequarem melhor às demandas de mercado.

É difícil, se não impossível, medir a eficiência do trabalho de um artesão, na medida em que os produtos que fabrica constituem obras únicas que não podem ser comparadas com as demais. Se duas obras, de dois artesãos, não são diretamente comparáveis, não é possível comparar a eficiência no trabalho de ambos. Com a produção industrial, porém, esse problema desaparece. No momento em que o sistema da concorrência entre as empresas exigia uma comparação de eficiência, essa comparação se tornou possível graças ao sistema industrial. E foi no momento que o homem percebeu que a eficiência do trabalho não só era economicamente importante como também podia ser medida, que a preocupação, a pressão por maior eficiência teve verdadeiramente início. (MOTTA e PEREIRA, 2004)

Genericamente, podemos dizer que num primeiro estágio os sistemas de produção estavam voltados para aspectos ligados à própria melhoria da capacidade produtiva. A questão era: como produzir mais e melhor? Esse momento teve como pontos marcantes o desenvolvimento e implementação de programas de qualidade e redução de custos nas empresas.

Até a década de 1970, o mercado era vendedor (ou seja, a demanda era maior que a oferta, aquilo que fosse produzido tinha mercado e portanto quem produzia ditava as regras) (...) A partir da segunda metade da década de 1970, a situação passa a se inverter. (...) a oferta passou a ser maior que a demanda, acirrando-se a competitividade e reduzindo-se o espaço de manobra das empresas em geral. Como o espaço diminuiu, iniciou-se um profundo processo de reestruturação das empresas e entre as empresas. Na medida em que o mercado se torna comprador, quem passa a “ditar as regras” são os clientes e consumidores e o movimento da qualidade emerge como um dos bastidores do desenvolvimento empresarial. (FLEURY, 1999)

Alcançadas condições similares de produção e tecnologia, as empresas percebem que não podem mais se diferenciar no mercado a partir somente desses fatores. Num segundo estágio, os esforços das indústrias avançam das melhorias na produção para as melhorias no próprio produto. As novas questões a serem respondidas pelas empresas são: o que produzir, como e para quem? Nesse momento emergem questões relacionadas ao Marketing e Design, voltadas para o atendimento das necessidades dos clientes e o desenvolvimento de produtos diferenciados. É também nesse momento que novos profissionais com conhecimentos específicos são exigidos para suprir às novas exigências do mercado. A partir daí, o design ganha importância crescente dentro das indústrias. (ver fig.1)

O rápido avanço tecnológico, das técnicas de produção e da disseminação da informação, aliados à globalização do mercado em nível mundial são fatores que possibilitam uma relativa igualdade de condições produtivas a empresas localizadas em várias partes do mundo. Aqui é importante também considerar o advento das vendas por internet, além dos investimentos para facilitar o comércio externo (importação e exportação), que fazem com que as barreiras territoriais já não sejam intransponíveis ou tenham a mesma relevância anterior. Esse cenário permite que as empresas de todo o mundo concorram no mercado mundial, ampliando enormemente suas possibilidades comerciais. Empresas que anteriormente concorriam apenas no mercado interno e desta forma se pautavam por padrões de concorrência locais são agora forçadas a se preparar cada vez mais para distinguir seus produtos e estabelecer seu diferencial num mercado muito mais amplo. Mais do que nunca, o design é valorizado como principal ferramenta para essa diferenciação. O produto representa a “alma” da empresa, o fator que lhe confere identidade. Desta forma, o processo de desenvolvimento de novos produtos passa a ser uma das atividades centrais das empresas.

Muitas etapas - destacando-se aquelas compostas de atividades mais padronizadas, que influenciam menos na criação da identidade da empresa – começam a ser terceirizadas. A terceirização dessas etapas para empresas especializadas muitas vezes diminui custos com pessoal, maquinário, manutenção, treinamento, e tornam o processo interno mais “leve” e concentrado nas atividades determinantes para a diferenciação e manutenção da empresa no mercado.

O conhecimento é, cada vez mais, o principal fator de produção. Em uma economia baseada em conhecimento, o que adiciona valor são as atividades inteligentes. (...) Essas teorias nos auxiliam a compreender uma série de movimentos das empresas que, de alguma forma já estão operando a partir da lógica de uma economia baseada em

conhecimento. Tais empresas procuram focar suas atividades naquelas que sejam realmente agregadoras de valor, ou seja, nas atividades que são mais “intensivas em inteligência”. Por exemplo, as montadoras de automóveis ou de eletroeletrônicos, estão cada vez mais focalizando suas atividades em Design, Marketing e Finanças, que são as atividades estratégicas dessas indústrias. O que mais interessa é a concepção de produtos e sistemas de produção, assim como a normatização das atividades de detalhamento e manufatura, que podem assim serem entregues a terceiros. (FLEURY, 1999)

A criação de redes mundiais de computadores, como a Internet, a crescente difusão destas redes e sua expressiva e explosiva popularização possuem um enorme potencial para alterar profundamente as formas de produção, agora cada vez mais globalizadas. (ROMEIRO, 1997)

O esquema a seguir traça um paralelo entre o desenvolvimento dos conceitos de produção industrial e o desenvolvimento da indústria joalheira no Brasil, com ênfase no papel do designer dentro desse contexto:

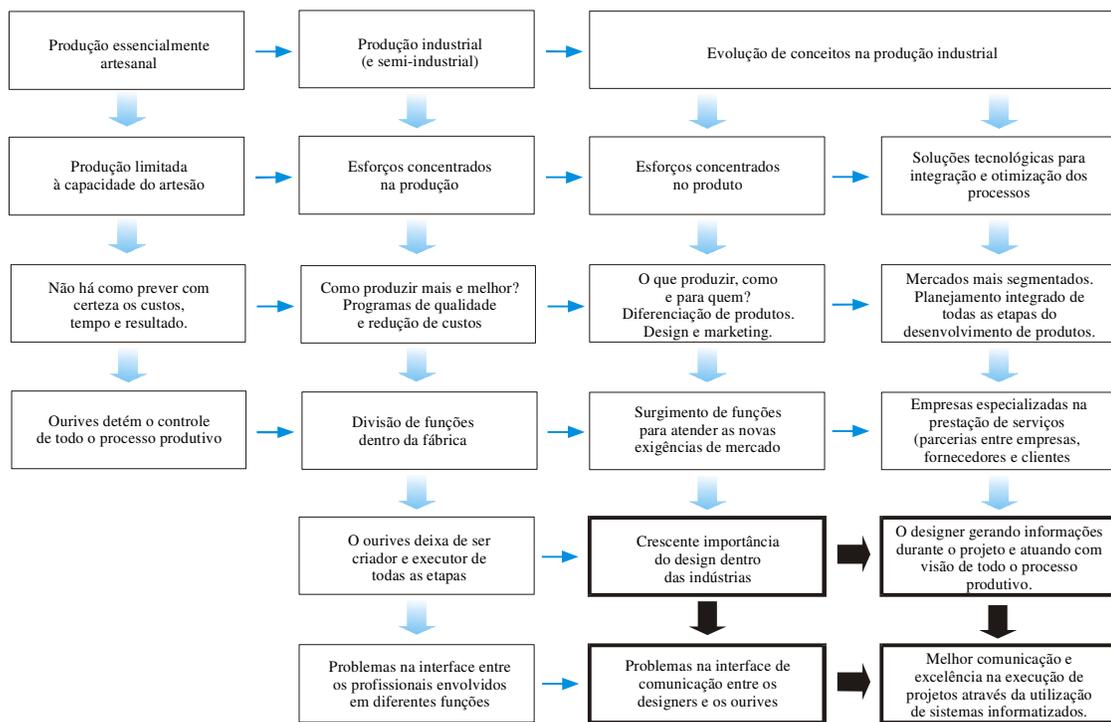


FIGURA 1 - Evolução dos Conceitos de Produção X Produção Joalheira no Brasil
Fonte: elaborado pela autora

3.1.1 A indústria joalheira no Brasil

O histórico de colonização prejudicou o desenvolvimento industrial do Brasil, uma vez que o processo brasileiro de industrialização foi, ao longo da história, caracterizado pela dependência dos países desenvolvidos. Desta forma, durante séculos o Brasil se limitou a fornecer matéria-prima para esses países, detentores de um parque industrial e tecnologias de produção mais avançadas. Isso aconteceu também no setor joalheiro. Apesar de ser reconhecidamente um dos países com maior abundância de matéria prima para joalheria, no mercado mundial a maior parte da participação brasileira ainda acontece através da exportação dessa matéria prima em forma bruta, como já citado. A tabela abaixo apresenta dados sobre a exportação brasileira por item:

TABELA 2
Exportação Brasileira do Setor – 2006/2005

Principais Itens	2006	2005	US\$ mil
			2006/05 %
Pedras em Bruto	47.608	60.967	-22
Pedras Lapidadas	72.664	61.855	17
Obras e Artefatos de Pedras	14.410	15.622	-8
Ouro em Barras, Fios e Chapas	658.533	458.866	44
Produtos de Metais Preciosos p/ Indústria	75.326	43.140	75
Joalheria / Ourivesaria Metais Preciosos	115.791	99.904	16
Folheados de Metais Preciosos	92.839	72.883	27
Bijuterias de Metais Comum	9.705	9.405	3
Platina em Formas Brutas ou em Pó	34.181	7.975	
Outros Produtos	7.429	3.422	117
TOTAL	1.128.486	834.039	35

Fonte: MDIC/SECEX/DECEX

Elaboração: IBGM

(*):Inclui vendas a não residentes no País (antigo DEE)

Fonte: IBGM – Instituto Brasileiro de Gemas e Metais, 2007.

A herança histórica de falta de investimentos em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias nos vários setores industriais do país gerou uma “inércia” que influenciou negativamente a visão das empresas e empresários acerca da importância do desenvolvimento de produtos. A pouca ênfase dada ao setor de projetos nas empresas é reflexo desse contexto, que fez com que o Brasil adiasse o desenvolvimento de produtos internamente.

Até o início da década de 1950, o desenvolvimento industrial no Brasil caracterizou-se pelo reduzido grau de sofisticação tecnológica e pela simples importação de tecnologia, principalmente incorporada aos bens de capital. A partir da metade dos anos 50, (...) começaram a ser introduzidos no país os segmentos produtores de bens de consumo duráveis e de bens intermediários de maior complexidade tecnológica, cuja base técnica, em nível mundial, já se encontrava em adiantado grau de maturação. (...) Avolumou-se a importação explícita de tecnologia e serviços tecnológicos, sem que se manifestasse de forma sistemática esforço tecnológico interno paralelo ou subsequente ao processo de compra externa de tecnologia. (...) Ao final dos anos 70 e princípio dos 80, a estrutura industrial brasileira apresentava elevados graus de diversificação da produção, porém com insuficiente capacitação tecnológica interna. (COUTINHO e FERRAZ, 1994)

Além desses fatores, algumas características da indústria de jóias no Brasil colaboram para o quadro de falta de investimentos em desenvolvimento de novos produtos nas indústrias de jóias. O setor é composto em sua maioria de pequenas e médias empresas, sobretudo familiares. Essa característica confere às empresas joalheiras um tipo de gestão com decisões e informações centralizadas em torno da direção - geralmente composta por membros da família -, muitas vezes sacrificando a profissionalização e crescimento das empresas. “O segmento de empresas fabricantes de jóias é integrado, basicamente, por microempresa (até 20 empregados), que representam 73% do universo. As de pequeno porte (de 20 a 99 empregados) representam 23%, as de médio porte (acima de 100) com apenas 3,9%.” (IBGM – Instituto Brasileiro de Gemas e Metais, 2007)

Outro fator, talvez o mais decisivo nesse sentido, é a elevada carga tributária imposta ao setor, que inviabiliza o desenvolvimento pleno do mesmo e gera um alto índice de informalidade, que chega a ser superior a 50% (IBGM – Instituto Brasileiro de Gemas e Metais, 2007).

A informalidade predominante no setor prejudica ainda mais os investimentos em desenvolvimento de produtos, uma vez que os profissionais que trabalham na informalidade geralmente querem retorno imediato, não pensando em investimentos em longo prazo e fortalecimento de uma identidade da marca do produto ou da empresa, já que não possuem uma.

Apesar desses obstáculos, vários avanços já foram promovidos no sentido de aumentar as condições de competitividade do setor. Ao contrário de um ambiente ideal, onde as empresas investem constantemente em desenvolvimento de produtos, as mudanças ocorridas no setor joalheiro brasileiro se dão sobre o histórico conservadorismo dos empresários e profissionais, e são provocadas sobretudo por fortes pressões do mercado que tem sido - como já foi citado - caracterizado pela concorrência em nível mundial, fato que “obriga” as empresas a diferenciarem seus produtos e garantirem a qualidade de seus processos.

Principalmente a partir da abertura de mercado no Brasil nos anos 90, posteriormente reforçada pelo dinamismo das relações comerciais trazidas pela globalização econômica, as empresas do setor joalheiro se viram forçadas a buscar seu aprimoramento para competir nesse mercado. A ampliação da concorrência interna e a possibilidade de concorrer no mercado externo tornaram evidente a necessidade de aprimoramento da capacidade competitiva das empresas, fator que envolve toda a cadeia produtiva, desde o desenvolvimento de produtos até os processos de produção, gestão administrativa, marketing, etc.

Nesse ambiente de maior competitividade, várias iniciativas envolvendo entidades do setor, iniciativas privadas e governamentais têm sido implementados com o objetivo de fortalecer a indústria joalheira nacional, capacitando e viabilizando o crescimento dos vários setores que compõe a cadeia produtiva joalheira. Tudo isso tem como objetivo agregar valor à matéria prima nacional através da sua utilização em produtos já acabados para consumo interno e para exportação.

Através desses incentivos e principalmente das possibilidades comerciais no exterior que puderam ser vislumbradas pelas empresas brasileiras, as mesmas se viram mais motivadas para investir em recursos humanos, tecnologia e design. A possibilidade de competir mundialmente gerou um grande incentivo para diferenciar os produtos para competir no mercado nacional e internacional. O design foi a principal ferramenta para distinguir as jóias brasileiras e ganhar espaço no mercado mundial.

Nos últimos anos, o Setor vem apresentando significativos avanços. Hoje, a indústria se prepara para enfrentar os desafios de uma maior participação no mercado internacional, dispondo de razoável infra-estrutura de suporte técnico. Além disso, o mercado de Gemas e Jóias conta com forte compromisso dos diversos órgãos governamentais em apoiar ações concretas para seu fortalecimento, principalmente nos Pólos e Arranjos Produtivos Locais.

Apesar disso, há muito que realizar para alcançar níveis internacionais de competitividade. Essas são as principais prioridades a serem implementadas: O aumento de escala de produção, a integração de esforços entre as empresas e as instituições de pesquisa e ensino, o melhor direcionamento das ações de fomento às reais necessidades do setor produtivo, o combate à informalidade, a adequação tributária e o fortalecimento da imagem da jóia brasileira no mercado externo. (IBGM e Ministério do Desenvolvimento da Indústria e Comércio Exterior, 2005)

Tudo isso tem apresentado resultados muito positivos para o setor. O Brasil tem aumentado gradativamente sua participação nas exportações mundiais de jóias acabadas, tendo

apresentado um crescimento de 59% de 2003 para 2004, como podemos ver na tabela a seguir:

TABELA 3
Principais Exportadores Mundiais
Artefatos de Joalheria de Ouro – US\$ mil

Países	2002	2003	2004	2004/2003 %
Estados Unidos	2.019.651.585	2.043.767.827	2.571.021.807	25.80
Hong Kong	1.579.178.609	1.821.738.285	2.193.145.381	20.39
Suiça	1.848.033.508	1.900.986.202	2.165.502.971	13.91
China	1.200.780.304	1.241.671.673	1.580.634.476	27.30
Índia	1.302.519.540	1.599.221.768	*	*
Reino Unido	1.068.776.797	1.217.369.283	1.357.887.875	11.54
Tailândia	673.659.100	719.559.879	809.064.379	12.44
França	672.594.149	711.945.034	796.340.940	11.85
Malásia	337.195.307	410.002.155	*	*
Alemanha	473.423.640	552.866.593	*	*
Coreia do Sul	276.132.993	883.259.741	*	*
Canadá	213.547.867	193.139.329	198.917.768	2.99
Espanha	134.862.037	155.500.932	*	*
Japão	92.201.796	118.856.508	159.306.519	34.03
Bélgica	71.336.385	87.643.681	*	*
África do Sul	43.292.646	62.188.591	77.471.454	24.58
Brasil	21.077.463	25.871.580	41.382.453	59.95
Dinamarca	31.024.568	21.902.400	*	*
Áustria	26.307.333	26.230.893	*	*
Grécia	14.473.055	19.497.237	*	*
Taiwan	17.045.768	11.806.640	16.276.141	37.86
Suécia	8.493.054	7.340.329	*	*
Países Baixos	10.980.013	10.656.526	*	*
Portugal	14.302.849	11.062.130	*	*
Irlanda	12.605.099	6.940.008	*	*
Finlândia	4.491.366	4.631.725	*	*
Luxemburgo	2.420.682	3.266.038	*	*
Venezuela	711.701	573.801	*	*
Argentina	408.348	399.201	410.724	2.89
Chile	84.763	18.300	22.180	21.20
Total	16.328.755.317	17.710.628.625		

Fonte: IBGM – Instituto Brasileiro de Gemas e Metais, 2007.

No entanto, considerando o potencial brasileiro na produção de matérias-primas para o setor, ainda há muito que fazer para fortalecer a cadeia produtiva joalheira no sentido de produzir jóias internamente, com maior valor agregado. Os dados abaixo mostram que o Brasil

produziu 43 toneladas de ouro em bruto no ano de 2005 e, desse total, apenas 22 toneladas foram usadas na fabricação de jóias de ouro.

TABELA 4
Principais Países Produtores de Ouro em Bruto
Em toneladas

		2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	Africa do Sul	428	394	395	376	343	296
2	Austrália	296	285	264	283	258	263
3	Estados Unidos	355	335	299	281	262	262
4	China	164	173	202	206	217	224
5	Peru	133	134	157	172	173	207
6	Rússia	154	165	181	182	182	176
7	Indonésia	140	183	158	164	114	167
8	Canadá	155	157	148	141	129	119
9	Uzbequistão	88	85	87	80	84	79
10	PNG (Papua/Nova Guiné)	76	68	65	69	75	69
11	Gana	74	72	70	69	58	63
12	Tanzânia	17	34	39	45	48	49
13	Mali	30	45	56	47	39	46
14	Brasil(*)	53	51	46	43	42	43
15	Chile	50	40	35	38	39	40
16	Filipinas	35	32	33	34	29	32
17	Argentina	26	31	33	30	28	28
18	Colômbia	-	20	20	25	24	25
19	México	27	26	23	22	24	22
20	Zimbabwe	-	-	-	21	24	-
21	Outros Países	258	271	256	268	274	278
Total		2.559	2.601	2.567	2.596	2.466	2.488

(*): Produção do Brasil em Ouro Bruto : 42 Toneladas sendo **28t (Minas)** e **14t (Garimpos)**
Fonte: IBGM – Instituto Brasileiro de Gemas e Metais, 2007.

TABELA 5
30 Maiores Países Fabricantes de Jóias de Ouro
Em toneladas

	Principais países	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	Índia	655	637	514	495	573	633
2	Itália	510	477	413	328	305	275
3	Turquia	199	136	146	213	241	251
4	China	196	201	190	194	217	239
5	Estados Unidos	182	158	154	143	132	130
6	Arábia Saudita e Yemen	153	147	121	110	118	125
7	Indonésia	99	106	99	86	90	86
8	Malásia	86	82	69	56	64	74

9	Egito	107	97	76	65	70	71
10	Tailândia	77	75	68	59	62	66
11	Paquistão e Afeganistão	53	44	47	56	59	64
12	Emirados Árabes Unidos	47	49	46	43	46	53
13	Rússia	28	38	45	45	48	50
14	Coreia do Sul	70	75	68	53	47	45
15	Irã	40	37	31	31	33	37
16	México	46	40	39	36	32	32
17	Suíça	33	37	34	25	27	32
18	Vietnam	23	26	26	24	27	28
19	Espanha	41	36	32	34	30	26
20	Reino Unido e Irlanda	36	36	34	29	28	24
21	Japão	25	25	23	22	22	22
22	Brasil	28	24	19	16	20	22
23	Iraque e Síria	29	26	23	21	20	21
24	Alemanha	30	26	22	19	20	19
25	Taiwan	45	31	14	13	15	16
26	Canadá	21	20	19	18	17	16
27	França	30	27	23	20	17	15
28	Bangladesh e Nepal	36	37	25	16	14	14
29	Marrocos	12	14	14	14	14	14
30	Kuwait	21	21	14	14	13	12
	Demais Países	251	231	219	183	189	186
	Total	3.208	3.012	2.661	2.484	2.619	2.698

(*) Ouro já em ligas

Fonte: IBGM – Instituto Brasileiro de Gemas e Metais, 2007.

Em relação às gemas, o Brasil destaca-se como o maior produtor mundial, sendo o Estado de Minas Gerais responsável pela maior parte dessa produção. Assim como acontece com o ouro, o país ainda exporta grande quantidade dessa matéria-prima em estado bruto, como podemos ver nas tabelas abaixo:

TABELA 6

Principais Exportadores Mundiais de Pedras Preciosas Brutas
(não considera diamantes)
US\$ mil

Países	US\$ Mil			
	2002	2003	2004	2004/03%
Brasil	30.271.312	35.042.146	39.466.865	12.63
Hong Kong	23.999.103	23.922.584	31.129.108	30.12
Estados Unidos	21.980.158	24.570.824	27.842.878	13.32
Tailândia	13.506.624	21.192.406	21.950.665	3.58
China	6.400.850	10.241.875	18.109.180	76.82
Alemanha	6.855.913	8.389.823	*	

África do Sul	5.066.485	7.590.350	6.505.862	-14.29
Índia	13.603.348	16.453.635	*	
Suiça	907.861	680.161	1.803.955	165.22
Reino Unido	988.575	2.396.850	1.748.245	-27.06
Áustria	2.477.934	3.061.840	*	
Itália	786.487	1.003.175	*	
França	694.435	610.567	823.455	34.87
Canadá	223.879	1.302.019	722.196	-44.53
Argentina	151.268	413.974	672.618	62.48
Bélgica	603.526	707.369	*	
Malásia	87.449	13.008	*	
Taiwan	812.726	274.884	212.845	-22.57
Grécia	1.192	10.387		
Chile	102.038	82.537	176.265	113.56
Japão	285.686	88.569	110.783	25.08
Irlanda	-	-	*	
Suécia	3.155	24.585	*	
Coréia do Sul	108.573	150.774	*	
Países Baixos	150.265	8.267	*	
Dinamarca	29.774	30.398	*	
Luxemburgo	33.049	1.502.053	*	
Espanha	53.381	146.276	*	
Portugal	35	-	*	
Finlândia	-	5.855	*	
Total	130.185.081	159.917.191		

(*) Dados não disponíveis no momento

Fonte: IBGM – Instituto Brasileiro de Gemas e Metais, 2007.

TABELA 7

Principais Exportadores Mundiais de Pedras Preciosas Lapidadas
(não considera diamantes)
US\$ mil

Países	2002	2003	2004	US\$ Mil
				2004/03%
Hong Kong	173.491.852	185.192.327	231.304.468	24.90
India	148.854.889	146.695.210	*	
Alemanha	89.663.899	102.652.436	*	
Estados Unidos	54.894.991	66.981.052	77.408.947	15.57
Tailândia	64.791.457	59.371.779	74.754.932	25.91
Brasil	32.487.472	33.610.980	47.391.259	41.00
Suíça	15.635.026	13.512.049	18.452.479	36.56
China	9.461.470	10.552.982	12.448.200	17.96

Reino Unido	18.430.587	4.576.478	8.109.227	77.19
Suécia	7.024.315	7.541.714	*	
Itália	3.305.618	4.726.285	*	
França	4.021.836	4.044.941	3.638.443	-10.05
Canadá	3.802.429	3.096.125	3.187.316	2.95
África do Sul	969.951	1.231.343	2.293.779	86.28
Japão	383.685	2.111.270	1.923.243	-8.91
Taiwan	1.380.504	866.007	924.463	6.75
Bélgica	640.271	912.959	*	
Espanha	254.756	404.957	*	
Áustria	210.296	234.766	*	
Coréia do Sul	808.992	393.381	*	
Grécia	48.466	62.415	*	
Países Baixos	1.644.961	99.428	*	
Malásia	68.136	250.103	*	
Dinamarca	87.749	227.910	*	
Argentina	2.391	11.899	26.014	118.62
Chile	-	2.135	15.313	617.18
Portugal	35.284	19.283	*	
Finlândia	5.811	12.407	*	
Venezuela	-	-	*	
Luxemburgo	2.890.647	35.472	*	
Total	635.297.741	649.430.093		

(*) Dados não disponíveis no momento

Fonte: IBGM – Instituto Brasileiro de Gemas e Metais, 2007.

3.1.1.1 O design de jóias brasileiro

O processo de desenvolvimento de design próprio pelas empresas joalheiras no Brasil é, como já se viu, bastante recente e ainda há muito que se fazer nesse sentido. Anteriormente a esse processo as joalherias brasileiras importavam a grande maioria de suas peças prontas, principalmente com design Italiano. Os ourives reproduziam essas peças ou faziam pequenas alterações no design das mesmas. Dessa forma, o estilo das peças era basicamente igual e os materiais utilizados pouco variados. A utilização de matéria prima nacional, principalmente a grande variedade de pedras preciosas características do Brasil, eram pouco valorizadas pelas indústrias, porque não se desenvolveu no país um estilo próprio que valorizasse esse material.

A leitura do mercado, sua pesquisa junto a atual e freqüente necessidade de renovação, bem como a visão futura para a criação de novas tendências, aparecem como um produto em falta à nós, e como não, na própria profissionalização de nossos colaboradores.

Não cabe culpas ou culpados, conseqüência de um regime colonialista que criou dependências, somos exímios copiadores em tudo, inclusive nos erros. Buscamos cópias em modelos (peças) italianas, alemãs e em nossas próprias, porém não nos preocupamos com o processo necessário ao seu desenvolvimento, assim copiamos apenas parte do modelo. (SILVA, J.C., 2005).

A partir dos incentivos já citados para o fortalecimento da cadeia produtiva e produção de peças com maior valor agregado, houve maior conscientização dos empresários no que diz respeito à importância da diferenciação dos produtos e a partir disso, os investimentos em design aumentaram significativamente. Desta forma, a jóia brasileira foi aos poucos ganhando características próprias e passou a ser reconhecida mundialmente, seja através da utilização de materiais característicos - como as muitas pedras nacionais - ou pelo design diferenciado caracterizado pelo movimento, pelas cores e a sensualidade da cultura brasileira, que são traduzidos para as formas das peças.

No ambiente econômico atual, marcado pela competitividade, os padrões de qualidade e produtividade das empresas tendem a convergir e se igualar. Neste novo contexto, o Conceito, o Design e a Tecnologia tornaram-se os fatores de diferenciação e os determinantes de venda. As empresas vencedoras já perceberam esta nova tendência e investem cada vez mais em pesquisa conceitual, na gestão do design e na modernização do parque industrial para o lançamento de suas coleções.

O design dispensa apresentações. Nos últimos anos, o binômio design e inovação tornaram-se o elemento dinâmico e propulsor da indústria nacional joalheira. (...) o design de jóias brasileiro vem conquistando espaço e prestígio no mercado internacional. Somente nos últimos 03 anos, o país conquistou mais de 25 prêmios no circuito internacional do design de jóias. (SILVA, E.D., 2005)

O incentivo ao design nacional vem também dos vários concursos de design de jóias realizados todos os anos, em nível mundial, promovidos por empresas e entidades nacionais e estrangeiras. Esses concursos representam uma “vitrine” para novos e também antigos profissionais, que podem mostrar suas criações em eventos de grande repercussão dentro do setor. Os designers brasileiros, especialmente os mineiros, têm se destacado bastante nesses concursos, o que mostra que, além de matéria-prima, o Brasil tem também talentos humanos. A repercussão do sucesso dos designers brasileiros tem sido bastante abordada também pela imprensa não especializada e a cada ano tem aumentado a procura por cursos relacionados ao design de jóias e crescido o número desses profissionais atuando no setor.

Abaixo seguem algumas fotos de peças premiadas em concursos:

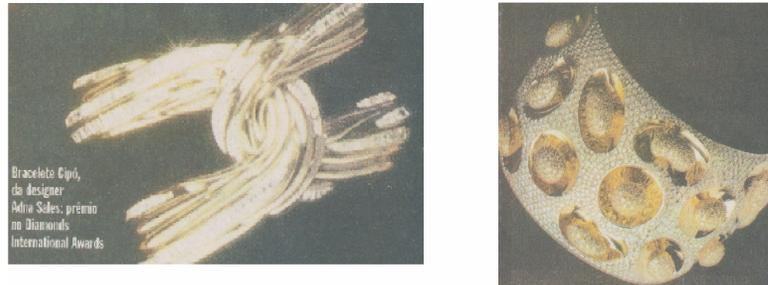


FIGURA 2 – Jóias premiadas em concursos de design (a).
À esquerda Bracelete Cipó, da designer mineira Adna Sales, premiado no Diamonds International Awards 1998.
À direita Bracelete Ilhas, da designer mineira Wanda Gontijo, escolhida como uma das cem jóias mais expressivas do século 20.
Fonte: CHALFIM, 2003.

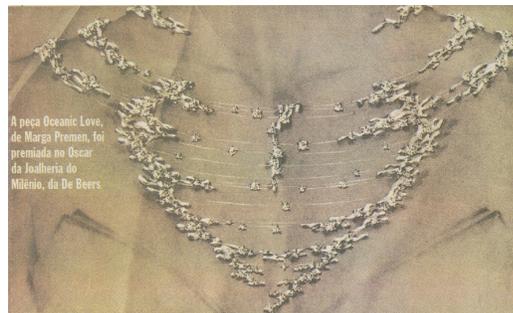


FIGURA 3 – Jóias premiadas em concursos de design (b).
Colar Oceanic Love, da designer mineira Marga Premon, premiado no De Beers Diamond International Awards 2000, o Oscar da Joalheria do Milênio.
Fonte: CHALFIM, 2003.



FIGURA 4 – Jóias premiadas em concursos de design (c).
À esquerda o Colar Hidra, criado pelos mineiros Adriano Mol e Fernando Maculan. Vencedor do *Antwerp Diamond High Council Awards* 2003, concurso disputado por 900 designers em todo o mundo. À direita o bracelete White Dreams da designer também mineira Gláucia Silveira, segundo lugar no mesmo concurso.
Fonte: CHALFIM, 2003.



FIGURA 5 – Jóias premiadas em concursos de design (a).

Peças vencedoras do concurso *10º Samshin International Diamond Jewelry Design Awards*, - no ano de 2005 - um dos mais importantes concursos mundiais, realizado na Coreia do Sul. Todas as peças acima são de designers mineiros e foram premiadas nesse concurso. À esquerda, o colar da designer Adna Salles, que conquistou medalha de prata no concurso. Os brincos ao centro (designer Raquel Távora) e o anel à direita (designer Mariana Tomazi) também foram premiados. Somente nesse concurso, mais cinco brasileiros receberam prêmios. Fonte: www.joiabr.com.br

Mais fatores também colaboram para que o design ganhe cada vez mais espaço também nas indústrias joalheiras. Atualmente o mercado é mais dinâmico. As próprias usuárias compram suas peças e exigem inovação e exclusividade. Não querem mais as peças clássicas, valorizadas apenas pelo valor financeiro. O “valor” está atribuído muito mais à sua identificação com os aspectos visuais da peça. Querem peças que tenham a “cara” do seu tempo, que acompanhem vários estilos, sejam versáteis e possam ser usadas no seu dia-a-dia. Desta forma, a renovação das peças ocorre em um menor espaço de tempo. As jóias, dependendo do segmento a que se destinam e dos materiais utilizados, acompanham os movimentos da moda e mudam a cada estação. Por causa desse dinamismo, os designers têm investido mais na utilização de diferentes materiais, o que lhes confere maior liberdade de criação.

A produção joalheira abrange e pode ser direcionada a diferentes categorias de peças: jóias (caracterizadas pela utilização de metais “nobres”), folheados (recebem apenas um “banho” de metal “nobre”) e bijuterias. O design é desenvolvido observando as peculiaridades de cada segmento. As bijuterias oferecem maior liberdade de criação, uma vez que não existem tantas limitações de tamanho e materiais utilizados. Por enfrentarem grande concorrência, as coleções são renovadas num prazo curtíssimo, enquanto as coleções de jóias e folheados são lançadas com um intervalo mais longo entre uma coleção e outra.

Porém, de forma geral – e isso pode ser observado em vários segmentos – os prazos de desenvolvimento de produtos têm sido diminuídos para estimular as vendas. Além disso,

principalmente os segmentos de bijuterias e folheados têm apresentado um crescimento de consumo expressivo nos últimos anos. Esses fatores que vêm ampliar as possibilidades de trabalho para o designer.

3.2 O desenvolvimento do design e da produção no setor joalheiro

3.2.1 A atividade do designer

A atividade do designer tem início quando ele recebe a encomenda de uma peça ou coleção de jóias. Normalmente essa encomenda vem acompanhada de especificações referentes a custo, peso da peça, público-alvo, etc.

A partir dessas especificações e também de referências relacionadas aos materiais, temas específicos, pedras preciosas, etc., as idéias começam a surgir de forma desordenada, embasadas também pelo aprendizado anterior do profissional. A maneira como esse aprendizado, esse conhecimento subjetivo vai se organizar é um processo extremamente individual, ao qual nos referimos como o próprio processo criativo.

Teixeira (2002) relata os depoimentos de alguns designers, sobre como se dá o processo de criação:

“É muito treinamento. A criatividade funciona assim. Quanto mais você cria mais idéia você tem. As criações vão amadurecendo o processo. É a maturidade profissional mesmo.”

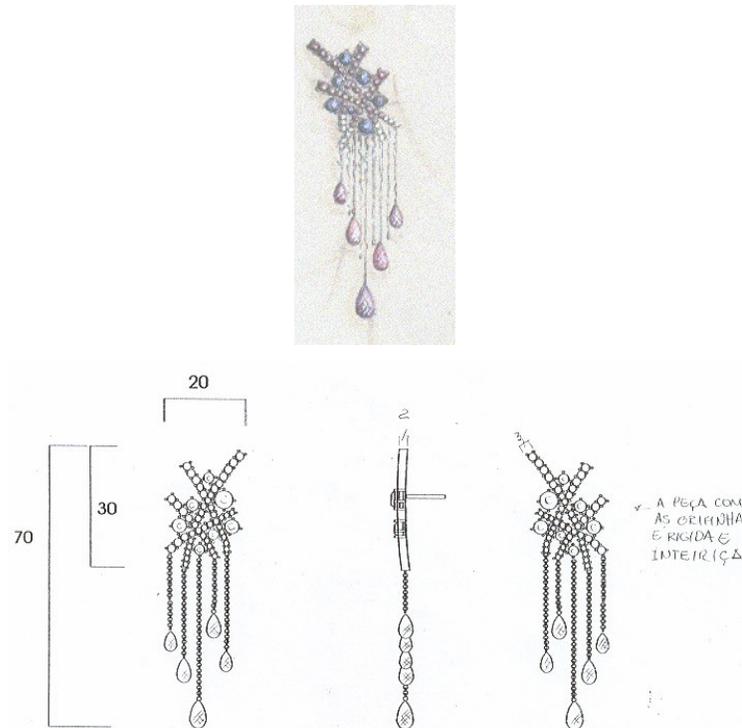
“O processo de criação é tão louco. É tão difícil explicar isso. Teoricamente tem uma seqüência (metodologia). As pessoas acham que tem que estar inspirado. Mas quando tem muito projeto ou em fases mais férteis eu deito e as formas começam a dançar na minha cabeça. (...)”

“Você parte de uma tendência, de alguma forma proposta ou de um artista, de uma idéia, sei lá.”

“A forma final é resultado de uma pesquisa. Começa de algum ponto, uma pedra ou um tema que vai me inspirar.”

A síntese dessas inúmeras possibilidades que surgem durante a etapa de criação dá origem aos primeiros esboços e a partir de diversos estudos, uma idéia é escolhida e desenvolvida. Após a definição das características da peça, é feita sua representação formal - o projeto propriamente dito -, que será passada para a produção.

Convencionalmente, a apresentação do projeto é feita através da representação da jóia com uma vista em perspectiva (colorida, onde é possível visualizar como a peça deve ser acabada) e um desenho técnico (com as vistas necessárias para a execução - normalmente vista superior e lateral, indicações de medidas e materiais utilizados, tipo de acabamento, ampliações de detalhes, encaixes, etc.). As figuras abaixo exemplificam projetos joalheiros:



PEÇA BRINCO		DATA	DESIGNER		
		01/03/2004	PATRICIA/SONAYA		
GEMAS	QUANT.	LAPIDAÇÃO	DIMENSÕES	CRAVAÇÃO	
DIAMANTE	17x2 = 34	BRILHANTE	0,01 ct	Grifinha	
AMETISTA	18x2 = 36	"	1,5 mm	Grifinha Obs.: degradê de cor	
AMETISTA	6x2 = 12	"	1,8 mm	Grifinha	
AMETISTA	12x2 = 24	"	2,0 mm	Grifinha	
Fluorita	7x2 = 14	"	4,5/3,5/3,0 x 25mm	2 x 4,5 mm 4 x 3,5 mm	2 x 3,0 mm 6 x 2,5 mm
AMETISTA	10	Gota briolet	7x4/5x3 e 6x3 mm	2 x 7x4 mm 4 x 5x3 mm	4 x 6x3 mm
OURO Branco					
ACABAMENTOS/OBSERVAÇÕES					
A AMETISTA PODE SER SUBSTITUÍDA POR TORMALINA ROSA.					

FIGURA 6 – Projeto formal de joalheria I (incluindo desenhos colorido e técnico, com detalhamento). (Desenvolvido para a empresa Martinelli pelas designers Patrícia Amorim e Sonaya Cajueiro).
Fonte: projeto gentilmente cedido pelas designers.

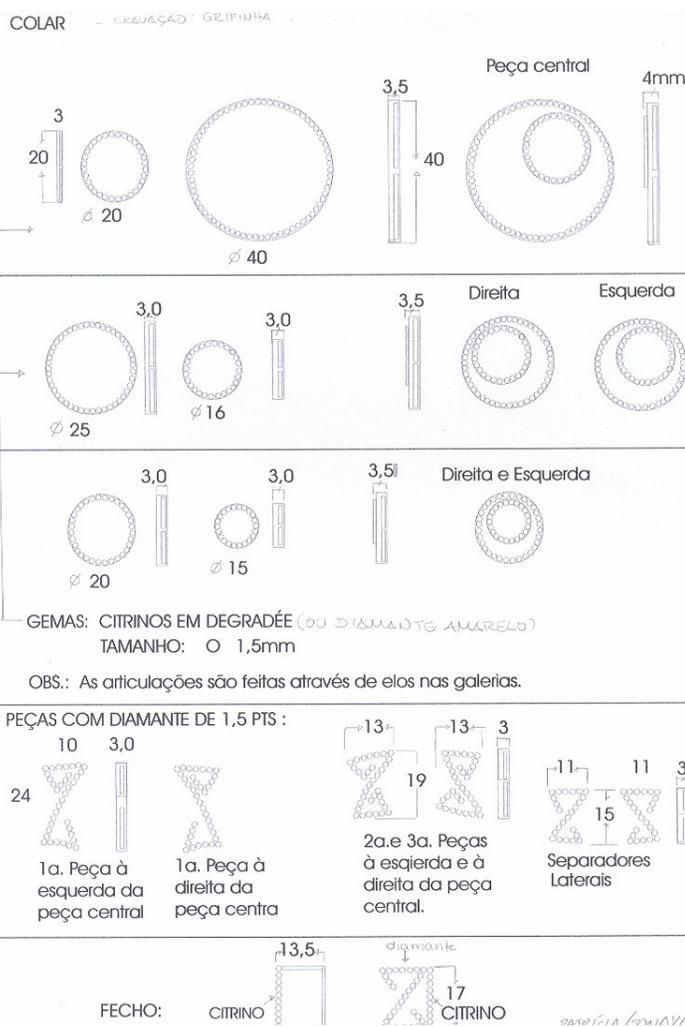
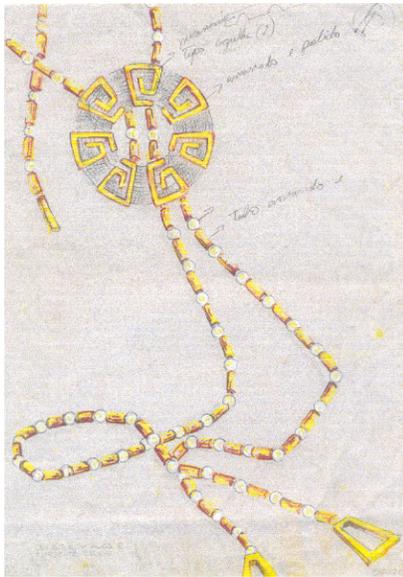


FIGURA 7 – Projeto formal de joalheria II (incluindo desenho colorido e desenho técnico, com detalhamento das partes). (Desenvolvido pela designer Patrícia Amorim).
Fonte: projeto gentilmente cedido pela designer.

Ocorre que, na prática, a apresentação formal – composta de desenho artístico em perspectiva, desenho técnico, assim como ampliações de itens (quando necessário) e detalhamento do projeto (materiais utilizados, espessuras, etc.) nem sempre é realizada. Em sua maioria, os projetos são apresentados ao ourives com representações parciais ou alternativas (com técnicas improvisadas pelo designer) de várias formas:

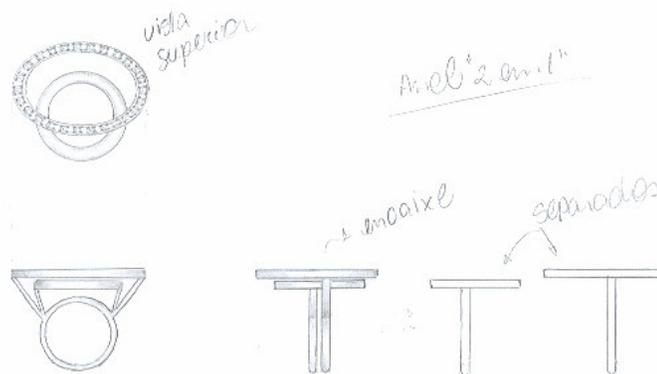
- desenho colorido de uma vista da peça, acompanhado de desenho técnico com medidas.
- Desenho técnico de 3 vistas (superior, lateral e frontal) de acordo com normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.
- Detalhamento técnico com descrição de material, dimensões, etc.
- Croquis ou esboços
- Protótipos em material alternativo (massinha, papelão, etc)



a)



b)



c)

FIGURA 8 – Exemplos de projeto.

- a) Projeto incluindo apenas desenho colorido com indicações dos materiais. (Desenvolvido pela designer Patrícia Amorim).
Fonte: gentilmente cedido pela designer.
- b) Projeto incluindo apenas desenho colorido com indicações dos materiais.
Fonte: projeto desenvolvido pela autora.
- c) Projeto incluindo apenas desenho em 3 vistas com indicações de encaixe.
Fonte: projeto desenvolvido pela autora.

Sobre as formas de representação, Teixeira (op.cit) cita o depoimento de designer: “Algumas peças são desenhadas com desenho técnico, vistas, cortes, tudo. E você ainda faz um modelo em massinha quando o ourives não é muito experiente. Algumas vezes, quando estou cansada de desenhar só faço o mock up, a forma direta, outras vezes só um rafe no papel. Quando o ourives é experiente ele já sabe se vai ficar bom.”

Eliminando ou adaptando etapas de representação do projeto, na prática os profissionais acabam encontrando outros meios para se comunicar e para isso utilizam recursos que ultrapassam o próprio projeto. Schon *apud*³ Noguchi (1983) cita que “desenho e fala são caminhos paralelos de projeto e juntos fazem o que eu chamarei de “linguagem de projeto”. As dimensões verbais e não verbais estão intimamente conectadas”.

Na concepção de um produto como a jóia, a complexidade, própria da natureza do setor, destaca a importância das várias formas e níveis de representação, como forma de traduzir as idéias e mediar a comunicação entre os atores. Esses registros constituem-se na documentação e na memória física e mental do objeto contruído. Esse acervo é constituído, ao longo do processo, de instrumentos de várias naturezas contemplando as linguagens e peculiaridades próprias do setor, bem como aquelas que se evidenciam e variam de uma empresa a outra, dando unicidade às competências e objetivos. Eles reduzem as lacunas entre as fases que são específicas, interagindo os atores e facilitando o fluxo de comunicação entre eles. São elementos vitais dentro do processo, na construção da informação tecnológica, isto é, o conhecimento relacionado ao modo específico de conceber e desenvolver o produto em cada empresa. (TEIXEIRA, 2002)

3.2.2 A atividade do ourives modelista

A atividade do ourives começa na confecção do primeiro modelo físico da peça. As habilidades necessárias em várias etapas de confecção da jóia são muito similares - estão relacionadas ao manuseio dos materiais e ferramentas - e fazem parte do repertório de conhecimentos desses profissionais. Isso faz com que os ourives estejam presentes ao longo

³ SCHON, D. *The reflective practitioner*. USA: Basic Books, 1983. p.3-104.

de todo o processo, embora atualmente, em grandes indústrias, cada profissional desempenhe apenas uma pequena parcela desse processo.

Após concluído, o projeto é passado ao ourives para ser executado. Essa etapa – de confecção do primeiro modelo da peça - é chamada modelagem e o ourives que atua na mesma é o “modelista”.

A produção do primeiro modelo pode ser feita diretamente no metal (ouro, prata, etc.) ou em um tipo especial de cera, própria para modelagem de jóias. Sua decisão vai depender da complexidade da peça e adequação do material às técnicas necessárias à confecção da mesma. A principal vantagem da cera é sua maior maciez em relação aos metais, o que torna o processo de modelagem mais fácil, sendo por isso mais utilizada. Além disso, traz outras vantagens como: baixo custo, grande variedade de modelos pré-fabricados (a cera é encontrada em formas pré-fabricadas e composições especiais, com cores e características distintas, como dureza, flexibilidade e ponto de fusão, adequados à confecção de diferentes tipos de peças), além da facilidade para reproduzir e alterar os modelos com maior velocidade.

Para confeccionar o modelo da jóia, com o auxílio de ferramental próprio (lixas, limas, serras, espátulas, brocas, etc.) ele vai dando ao material a forma desejada (semelhante a um processo de escultura). Essa etapa é totalmente artesanal e seu resultado depende fundamentalmente da habilidade do profissional.

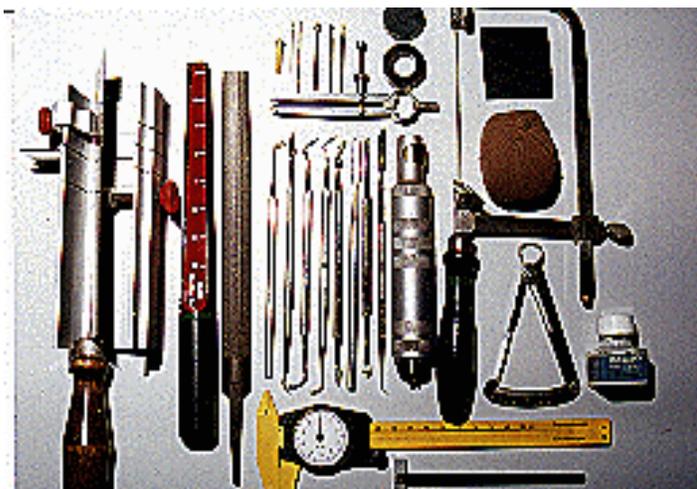


FIGURA 9 - Ferramentas utilizadas pelos ourives.

Fonte: IBGM; Núcleo Setorial de Informações e Gemas, Jóias, Bijuterias e Afins; Rede de Núcleos de Informação Tecnológica. Modelagem em Cera – Manual Prático.



FIGURA 10 – Ourives utilizando ferramentas (para polimento de um modelo em metal).
Fonte: foto produzida pela autora.

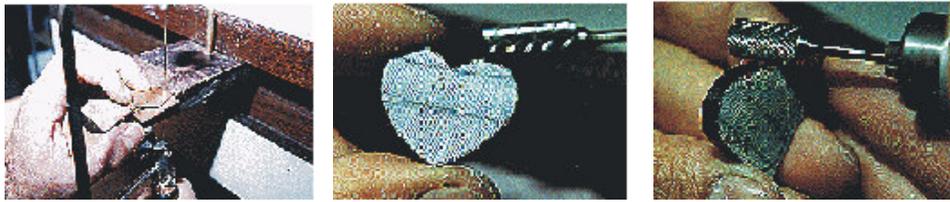
São vários os instrumentos de corte que podem ser usados na modelagem de cera. Os mais comuns são os de técnico-dental, que são espátulas e fresas. Pode ser utilizar outros tipos de ferramentas, tais como: limas (várias), fresas, lixas, tribulé, motor com chicote, bisturis, serras (várias), etc. Também é possível adaptar outros tipos de ferramentas para a modelagem em cera procurando, assim, uma melhor solução para cada modelo e satisfação para o artífice. Atualmente, existem no mercado vários instrumentos projetados especificamente para a modelagem em cera. Da mesma forma, existem outros que podem ser adaptadas. (IBGM; Núcleo Setorial de Informações e Gemas, Jóias, Bijuterias e Afins; Rede de Núcleos de Informação Tecnológica. Modelagem em Cera – Manual Prático)

A habilidade do modelista experiente chama a atenção pela rapidez com que consegue dar forma ao modelo usando os mais diferentes materiais. Ele mescla objetos comuns ou adaptados com os tecnológicos. Isto inclui desde espátulas, brocas e bisturis utilizados na odontologia, até aqueles específicos, disponíveis no mercado internacional, como as injetoras de cera, espátulas com aquecimento controlado e pequenos tornos. Outras ferramentas de uso comum são o buril de chapa, amêndoa ou raiado, escalímetro, diziâmetro, limas, brocas, pinças, compasso, etc. Outros utensílios como lamparinas, escovas de pêlos e de dentes também são utilizados. (TEIXEIRA, 2002)

Abaixo segue seqüência de fotos que ilustram como é realizado o processo de confecção de um modelo em cera:



1 – O desenho é transferido para o bloco de cera.



2- Então o ourives, utilizando serras e brocas, vai dando a forma ao bloco de cera.



3- Durante a confecção da peça, o ourives utiliza várias ferramentas para esculpir o modelo e atingir as formas desejadas. Na figuras acima pode-se ver a utilização de brocas, espátulas e a conferência da espessura da peça feita com o diâmetro (aparelho usado para essa finalidade).



4- Para terminar, é feito o polimento da peça e finalmente obtém-se o modelo final.

FIGURA 11 – Processo de confecção de modelos em cera

Fonte: IBGM; Núcleo Setorial de Informações e Gemas, Jóias, Bijuterias e Afins; Rede de Núcleos de Informação Tecnológica. Modelagem em Cera – Manual Prático.

Nas fotos abaixo um exemplo da seqüência de construção do modelo em cera de um anel:

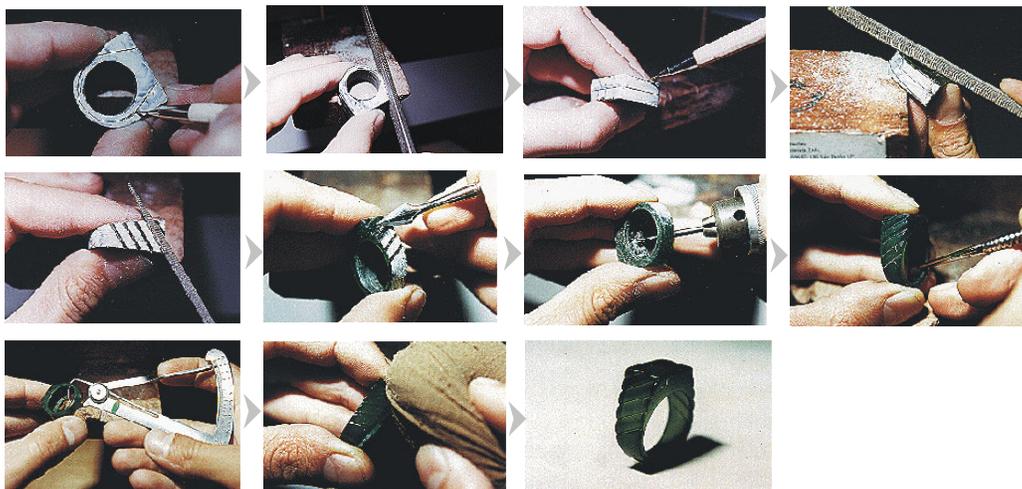


FIGURA 12 – Seqüência de produção do modelo de cera de um anel.

Fonte: Adaptado de: IBGM; Núcleo Setorial de Informações e Gemas, Jóias, Bijuterias e Afins; Rede de Núcleos de Informação Tecnológica. Modelagem em Cera – Manual Prático.

3.2.3 Processo convencional de produção joalheira

Através do processo de fabricação industrial joalheira, milhares de peças podem ser produzidas diariamente. O processo de fundição por cera perdida é o mais utilizado nas indústrias, devido a sua adaptação aos processos requeridos, sua alta produtividade e baixo custo.

Qualquer jóia produzida pela primeira vez passa necessariamente pelo processo artesanal de confecção do primeiro modelo – como descrito no item anterior - pelo ourives modelista. Na produção industrial, esse modelo servirá de base para todas as etapas seguintes do processo de produção. No caso de peças exclusivas, o ourives finaliza seu trabalho com a confecção da primeira peça em metal.

Após a confecção do primeiro modelo em cera, a etapa seguinte consiste em produzir a cópia desse modelo em metal (a confecção do primeiro modelo já em metal elimina essa etapa) (ver fig.11).

- O modelo em cera é fixado a uma haste (chamada jito, também em cera) e colocado dentro de um recipiente cilíndrico de metal, no qual é derramado o revestimento (um tipo de gesso).
- Após a secagem e endurecimento do revestimento, o cilindro é levado ao forno. Com o aquecimento, o modelo em cera derrete e escorre pelo canal do jito, que o comunica ao exterior, ficando o molde vazado de gesso.
- Nesse molde vazado, é derramado o metal fundido (ouro, prata, platina, latão, etc.).
- Esse cilindro é agitado em uma centrífuga apropriada para esse fim, com o propósito de que o metal preencha toda a cavidade do molde, retirando bolhas de ar que poderiam gerar falhas na peça.
- Esse recipiente é então retirado da centrífuga e resfriado para que o metal volte ao seu estado sólido.
- O cilindro de gesso é então lavado com água até derreter completamente e restar apenas o modelo em metal.
- São feitos os acabamentos necessários (retirada do jito, polimento, etc.) e a peça está pronta.

Esse primeiro modelo em metal servirá de base para a confecção de um molde de borracha, utilizado na produção industrial para reprodução em série do modelo.

- Um tipo especial de borracha de silicone é derramado sobre um recipiente contendo o modelo em metal. Essa borracha vai envolver o modelo, formando um molde que reproduz a peça em todos os seus detalhes.
- O recipiente (contendo a borracha com o modelo) é levado para cozimento, para o endurecimento da borracha de silicone, que adquire propriedades de resistência e flexibilidade necessárias ao processo.
- Depois de cozida, a borracha é cuidadosamente cortada ao meio (num movimento de “zig-zag”, que permite seu encaixe posterior) e a peça em metal é retirada.
- Em um dos lados desse molde de borracha fica localizado um furo que será encaixado numa máquina de injeção de cera. (ver fig.5-a)
- Através da injeção de cera poderão ser rapidamente produzidas várias cópias em cera⁴, idênticas ao modelo inicial.

Essas cópias são fixadas a uma haste central também em cera, formando o que chamamos de “árvore” de cera. Essa árvore passará pelo mesmo processo de fundição por cera perdida já descrito na confecção do primeiro modelo, só que dessa vez reproduzindo de uma só vez um número muito maior de peças. (fig.2 - seqüência b até e)

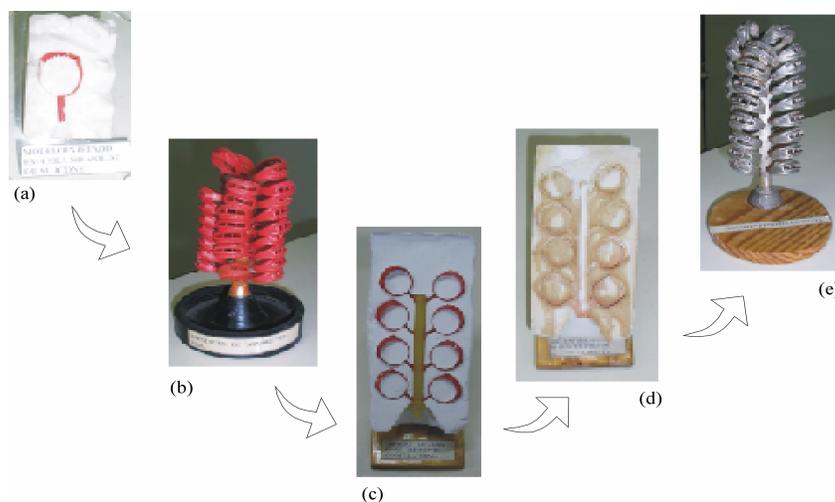


FIGURA 13 – Etapas do processo de construção da árvore de metal (através de fundição)
Fonte: fotos produzidas pela autora. Local: Senai Américo René Gianetti.

⁴ A cera utilizada na máquina de injeção possui propriedades diferentes da cera usada para a modelagem inicial. Possui menor ponto de fusão e maior flexibilidade, entre outras características que a tornam mais adequada ao processo.

O fluxograma abaixo apresenta as etapas de produção industrial de jóias:

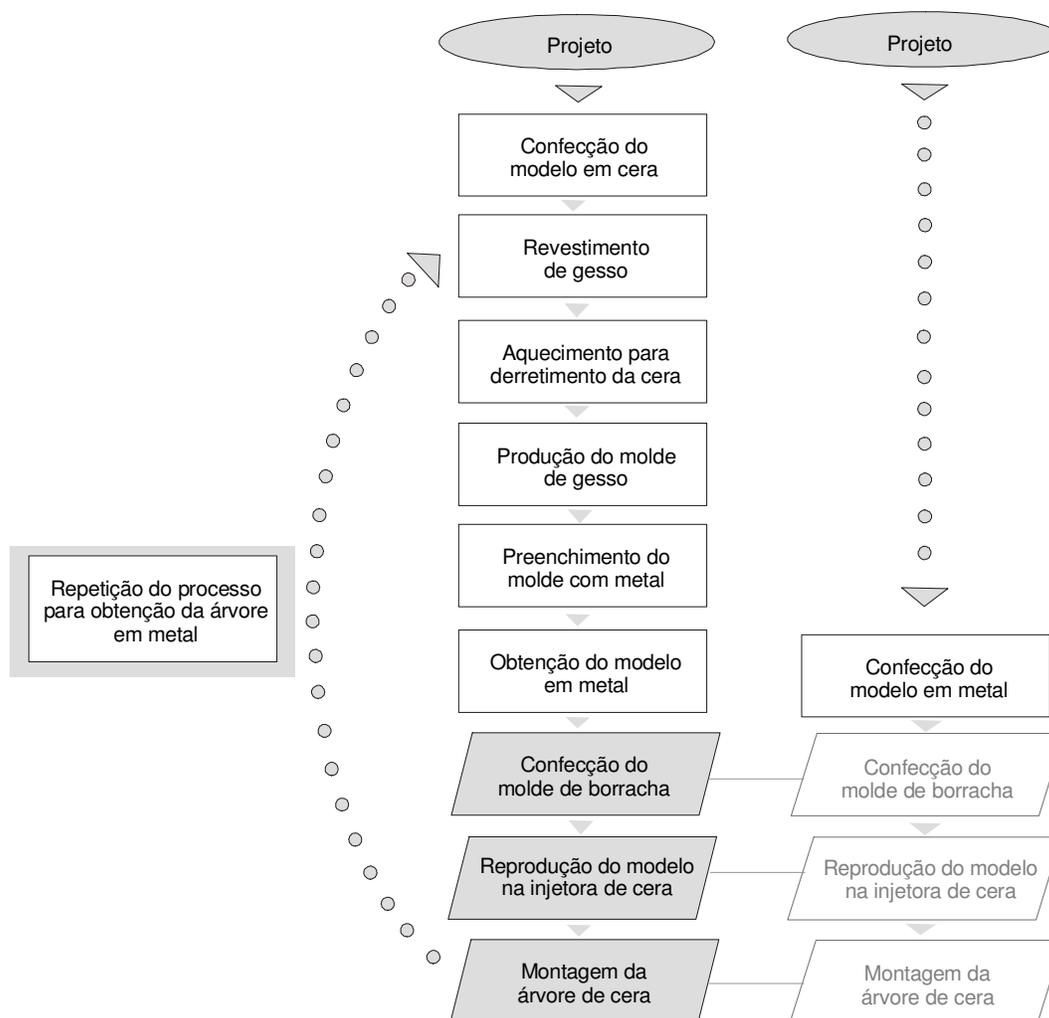


FIGURA 14 – Fluxograma do processo de produção industrial de jóias.
Fonte: elaborado pela autora

- CAPÍTULO 4 -

DEMANDAS ATUAIS PARA O SETOR DE PROJETOS DA INDÚSTRIA JOALHEIRA

“Mas o que distingue o pior arquiteto da melhor abelha é que ele figura na mente sua construção antes de transformá-la em realidade. No fim do processo do trabalho aparece um resultado que já existia antes idealmente na imaginação do trabalhador.”

Karl Marx

4.1 Os problemas na interface entre concepção e execução na indústria de jóias

A proximidade do artesão com seu cliente possibilita que os produtos atendam muito adequadamente as necessidades específicas desses clientes, uma vez que o processo de comunicação entre os envolvidos se dá de forma objetiva e direta. A divisão de tarefas e a produção em série tornam essa transferência de informação muito mais complexa. São vários profissionais envolvidos e o processo de comunicação entre as etapas necessita de um projeto eficiente - assim como de um rigoroso controle dos processos produtivos - para que as informações não se percam ao longo do processo e o produto final esteja de acordo com os níveis de qualidade estabelecidos.

A interface de comunicação entre as etapas produtivas é, portanto, orientada pelo projeto do produto. No setor joalheiro, os itens que compõe esse projeto são, como já foi citado, o desenho artístico em perspectiva e o desenho técnico. A qualidade desses desenhos é importante; porém, nem sempre as informações que contêm são suficientes e muitas vezes não excluem a necessidade de se utilizar outros recursos. Devido à própria limitação do meio de comunicação – o desenho bidimensional em papel – algumas características da peça tem que ser “deduzidas” pelo ourives, já que não podem ser representadas com a mesma fidelidade de um modelo tridimensional. Movimentos, sistemas de encaixes, volume e peso das peças são itens nem sempre estudados a fundo no processo de desenho convencional.

A comunicação é de fundamental importância na transformação de um projeto de jóia em produto final. É na interface da concepção/ designer e execução/ourives que se originam muitos problemas, mas é também ali que a comunicação pode atuar como instrumento preventivo, oferecendo condições para a troca de idéias e surgimento de soluções. O principal instrumento de comunicação entre as etapas é o desenho, pois ele fala por si e deve conter todas as informações possíveis, mas também o conhecimento dos termos técnicos e jargões utilizados contribui para um melhor entendimento entre as partes. (NOGUCHI, 2003)

Além das limitações referentes ao processo de representação, existem outros fatores, como o desconhecimento, pelos designers, das técnicas de fabricação, que algumas vezes podem dificultar ou até inviabilizar a execução do projeto.

As “interferências”, que são uma das razões de queixa dos designers, segundo os executivos, os modelistas e demais envolvidos, estão sempre associados à necessidade de adaptação do projeto ao sistema produtivo. Isto revela um despreparo e um desconhecimento por parte dos designers quanto aos recursos técnicos de produção da empresa e, ainda, uma falta de comunicação na relação criação/produção e empresa/design (...). (TEIXEIRA, 2002)

As dificuldades sentidas nessa interface entre concepção e execução são muitas e acarretam grandes problemas para as empresas. As deficiências no processo de transferência de informações entre essas etapas geram erros que serão levados para as fases seguintes, o que pode acarretar defeitos no produto final, provocando retrabalho, aumento dos custos operacionais e atrasos na entrega. Um projeto que não contenha as informações necessárias ao seu bom entendimento pode gerar, portanto, vários problemas no decorrer de todo o processo, o que pode ser constatado na indústria joalheira.

A partir dessas deficiências é comum que o ourives modelista acabe modificando alguma característica do projeto com a intenção de evitar problemas no modelo final. Essas modificações podem ocorrer respeitando as características do projeto - quando se tratam de adaptações específicas como espessura muito fina, o que faz com que a cera se rompa ou a cópia em metal apresente falhas, adequação de medidas, encaixes, etc. No entanto, em muitos casos, os ourives acabam alterando características importantes da peça, seja pela inviabilidade de confecção ou mesmo pela má interpretação do projeto.

Também durante o processo de confecção do primeiro modelo podem ocorrer problemas sobretudo gerados pelas limitações dos meios de trabalho utilizados. Essa etapa é totalmente artesanal e delicada – como já foi descrito - e depende totalmente da habilidade do

profissional. Por mais que o ourives tenha domínio sobre a técnica, alguns modelos apresentam detalhes e simetrias cuja perfeita produção não é possível artesanalmente. Geometrias complexas tornam inviável garantir o peso exato do metal ou a espessura de todos os pontos da peça. Por esses motivos, o produto final acaba não obedecendo exatamente ao que foi descrito no projeto.

A figura abaixo exemplifica uma das graves limitações do processo de confecção artesanal do modelo em cera. Para calcular a espessura da peça, o ourives coloca a peça contra a luz e com o auxílio de um gabarito, ele compara as cores das mesmas. Além desse recurso é utilizado o diziâmetro, que também é restrito, pois oferece a medida apenas do ponto tocado pelo instrumento.

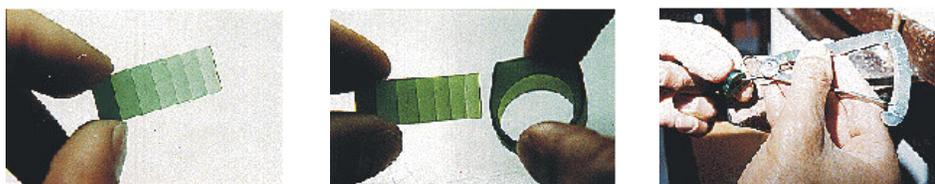


FIGURA 15 – Utilização de gabaritos de espessura da peça em cera e diziâmetro.

Fonte: IBGM; Núcleo Setorial de Informações e Gemas, Jóias, Bijuterias e Afins; Rede de Núcleos de Informação Tecnológica. Modelagem em Cera – Manual Prático.

4.2 As novas demandas para o setor de projetos na indústria joalheira

A grande quantidade de concorrentes e o alto nível de exigência dos consumidores fazem com que as empresas se aperfeiçoem cada vez mais na busca por atingir as expectativas desses consumidores e garantir seu espaço no mercado atual.

A etapa de projeto é o momento mais propício para se obter melhores resultados, através da melhor avaliação do produto. É durante o desenvolvimento do projeto que serão feitas todas as especificações necessárias para a correta produção. Para garantir que o produto final atinja os níveis de qualidade desejados, durante essa etapa devem ser considerados, além dos fatores estéticos, todos os temas que irão interferir na qualidade do produto final e conseqüentemente em sua aceitação no mercado.

Esses fatores envolvem tanto as questões internas quanto outras externas à empresa. Por isso, é necessário que o designer conheça as etapas que compõe o ciclo de vida do produto, considerando os aspectos que vão desde a concepção até o descarte e sua possível reciclagem. As necessidades de todos os demais setores envolvidos devem ser consideradas - o produto e os processos devem ser compatíveis com os recursos disponíveis (matéria-prima,

fornecedores, técnicas de produção, tecnologias, canais de distribuição, etc.). Outros temas como: aspectos ergonômicos, preocupação ambiental, vendas, estilo, valor de uso, marketing, e funcionalidade dos produtos também são exemplos de temas relacionados ao produto e que devem ser considerados durante o projeto.

A atividade do designer tanto está relacionada à criação, quanto a todo conhecimento estético, prático e funcional da moda e da indústria joalheira. Esses conhecimentos também envolvem processo de fabricação, estatística, custo, mercado, material e ergonomia. É relevante que o designer conheça os procedimentos funcionais internos e externos da empresa, como por exemplo, a tecnologia, o processo de fabricação, o meio de divulgação do produto (feira, revista e meio de comunicação) e o processo de venda (funcionalidade interna); os pontos de vendas (onde estão localizados?), maiores clientes (quem são?), quem são os usuários desses clientes (consumidores finais) e o público alvo que também deseja atingir (funcionalidade externa). (NOEBAUER, 2004)

Dessa forma, o trabalho do designer se torna cada vez mais complexo e dinâmico, visto também que as relações entre o homem e o objeto estão evoluindo constantemente. Considerando os constantes avanços tecnológicos que possibilitam a utilização de novos materiais e técnicas na confecção de produtos inovadores, os fatores a serem considerados no projeto tendem a aumentar constantemente, aumentando ainda mais a complexidade do trabalho de projetos.

O mercado atual exige que as indústrias tenham maior controle de seus resultados através de um planejamento mais rigoroso das etapas de produção, concebido durante o projeto. Desta forma, as expectativas em torno da atuação do designer romperam seus antigos limites e passou-se a exigir destes profissionais um conhecimento mais amplo sobre o produto. É necessário ter em mente um projeto viável, que considere as necessidades de todos os envolvidos e seja adequado aos mecanismos de produção. (...)

A inspiração criadora do indivíduo é forçada a se transformar numa atividade programada de design onde custos, métodos de produção e visual também passaram a contribuir para a questão do preço. Visão intuitiva e talento artístico apenas não são suficientes para fornecer informações e características necessárias para o entendimento e avaliação. Precisamos pesquisar, visualizar, analisar, corrigir e desenvolver idéias em muito curto espaço de tempo. (MOLINARI, MEGGAZINI e UNGARELLI, 1996)

Como já foi visto, os avanços no design de jóias brasileiro já têm gerado resultados positivos na conquista de novos mercados, o que torna bastante evidente a importância de investimentos nesse setor. Aliado a isso, também é esperado que as indústrias joalheiras

tenham maior controle de seus processos produtivos e conseqüentemente de seus resultados. As já descritas dificuldades de comunicação entre o designer e o ourives modelista demonstram que o projeto joalheiro apresenta deficiências bastante graves em relação à sua interpretação e adaptação aos processos produtivos.

Considerando a necessidade de integrar ao projeto informações que o tornem adequado à produção e demais setores, é necessário que o setor de projetos seja alimentado com informações de outros profissionais da empresa e que todos os envolvidos possam se comunicar de forma integrada.

Esses novos critérios e considerações acerca do processo projetual levantam questões relacionadas às mudanças nos métodos de trabalho do designer. Atualmente os métodos de desenvolvimento de projeto joalheiro não visam a integração entre os setores de design e produção, o que vêm colaborar para os problemas apresentados no produto final. Portanto, é fundamental que os designers de jóias revejam suas responsabilidades e possam utilizar métodos que atendam às necessidades atuais do mercado e das empresas.

Além das necessárias mudanças na organização e nos métodos de trabalho, visando a integração entre profissionais atuantes em diferentes etapas, recursos informatizados como o CAD e CAM (que serão melhor detalhados adiante) também têm sido utilizados em empresas de várias áreas com o propósito de melhorar a comunicação e o fluxo de informações entre os envolvidos no projeto. Essas tecnologias já demonstram benefícios bastante claros em suas aplicações em outros setores industriais, notadamente em empresas que têm em seus produtos um foco essencialmente voltado para o design.

4.3 Metodologia projetual no desenvolvimento do produto joalheiro

As metodologias de trabalho surgiram à medida que os processos de produção foram ficando mais complexos e exigiam o envolvimento de um número cada vez maior de profissionais. Os métodos visam orientar os profissionais no decorrer do desenvolvimento de seu trabalho, através da divisão de determinada tarefa em várias sub-etapas, que se tornam sub-objetivos de projeto. Essa divisão facilita a identificação de diferentes objetivos durante o desenvolvimento. Desta forma, é possível detectar falhas no projeto e exercer um controle mais preciso sobre o mesmo.

A aplicação de metodologias de trabalho se torna ainda mais relevante durante a etapa de desenvolvimento de produtos, visto que as melhorias proporcionadas durante o projeto

refletirão diretamente na qualidade de todo o processo produtivo – reduzindo erros, custo e tempo desperdiçados – e do produto final.

De acordo com Medeiros⁵ *apud* ROMEIRO (1997), os métodos podem ser definidos como sistemáticos ou intuitivos, sendo utilizados de acordo com o nível de complexidade do problema a ser resolvido:

A utilização de métodos sistemáticos se justifica na medida em que a explicitação do processo contribua para que se criem soluções levando em conta a experiência de um maior número de pessoas, inclusive pessoas não pertencentes à equipe de projeto; para que se possa produzir uma maior qualidade, e não só quantidade de soluções; e para que se possa acelerar o tempo gasto no processo de criar e avaliar soluções.

Embora se tratem de produtos pouco complexos, o que faz com que o processo utilizado no desenvolvimento de produtos em joalheria esteja muito mais caracterizado pelo processo intuitivo que pelo sistemático, os relatos dos profissionais do setor indicam que essa característica não exclui a passagem por todas as etapas de um desenvolvimento de projeto típico, mesmo que essas etapas não aconteçam numa seqüência rigorosa.

No entanto, quando confirmamos as dificuldades geradas a partir das deficiências do projeto joalheiro e da falta de integração entre os designers e ourives -, vemos que os métodos utilizados não têm resultado em projetos que consideram as necessidades dos demais setores envolvidos no processo (destacando-se aí os ourives).

As áreas mais importantes destacadas dentro do processo (na indústria joalheira) são a criação/design, a comercial/vendas e a modelagem. Embora o design se destaque como primeira prioridade do empresário, a visão quanto ao seu uso dentro da empresa é expressa de forma restrita, não o incluindo no planejamento do produto desde os estágios iniciais de seu desenvolvimento. (TEIXEIRA, 2002)

A elaboração de uma metodologia adequada para cada tipo de atividade surge a partir da observação dos processos de trabalho e das melhores alternativas para realizá-lo. Através da identificação das formas mais eficientes para atingir aos objetivos propostos, os métodos utilizados vão sendo descritos e formalizados, para que possam ser repetidos por outros profissionais.

⁵ MEDEIROS, Estevão Neiva. 1981. *Uma Proposta de Metodologia para o Desenvolvimento de Projeto de Produto*. Tese de Mestrado, Rio de Janeiro: COOPE/UFRJ.

Vários estudos sobre os melhores métodos de desenvolvimento de produtos já foram desenvolvidos e publicados. Munari (1998) cita que “acerca de metodologia de projeto existem diversos textos que foram publicados sobretudo para os projetistas técnicos, alguns dos quais se aplicam também ao design – ou seja, a esse tipo de atividade de projeto que considera também o componente estético.” Entre eles cita M. Asimov; J.C. Jones e B. Archer. O objetivo do projeto é sempre de atender a uma necessidade e o método deve significar para o profissional o melhor “caminho” para atender a essa necessidade. Dessa forma, o raciocínio se desenvolve na busca da melhor solução para atingir ao objetivo final. As etapas necessárias para alcançar essa solução vão consistir exatamente nas etapas do desenvolvimento.

O desenvolvimento de projeto de produto consiste basicamente na transformação de idéias e informações em representações bi ou tridimensionais. A atividade principal de transformação ocorre entre um estágio inicial de busca de informações, assimilação, análise e síntese; e um estágio conclusivo no qual as decisões tomadas são organizadas num tipo de linguagem que possibilite a comunicação e arquivamento dos dados e a fabricação do produto. (ROMEIRO, 1997)

Segundo Romeiro (op.cit) “o processo projetual pode desta forma ser dividido em etapas, de forma semelhante aos processos de resolução de problemas de qualquer tipo”

A atividade projetual se distingue da atividade de investigação pelo modo de estabelecer o trabalho e pelos resultados que obtém. Ambos os sistemas pertencem ao mesmo tipo de conduta: a solução de problemas. (...) Os resultados da investigação se expressam por conhecimento obtidos com as seguintes ações: análise, descrição, observação, verificação, explicação. Os resultados do projeto se manifestam em produtos, estruturas ou sistemas objetivos ou não objetivos que até aquele momento não existiam daquela maneira. (BONSIEPE, 1978)

Abaixo segue esquema representativo das etapas de desenvolvimento do projeto de produto:

ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE PRODUTO

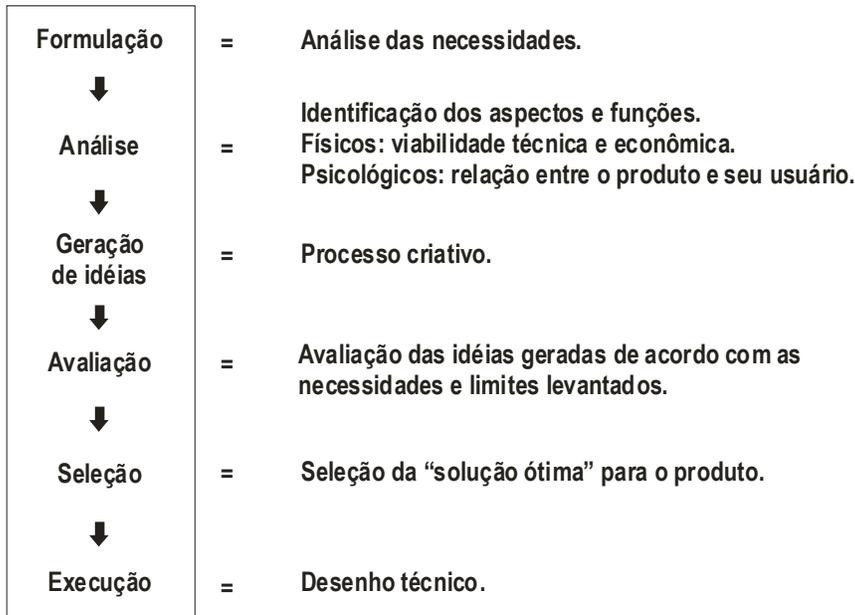


FIGURA 16 – Etapas de desenvolvimento do projeto de produto.
Fonte: Adaptado de ROMEIRO (1997).

Apesar das metodologias clássicas de desenvolvimento de produtos propostas por vários autores seguirem essa estrutura básica e estarem voltadas sobretudo para produtos e processos de produção complexos, a rigor o processo projetual não precisa obedecer a uma seqüência rigorosa entre as etapas e podem sofrer adaptações de acordo com a necessidade do produto a ser desenvolvido. Os métodos para desenvolvimento de projeto devem sobretudo considerar os vários elementos relacionados ao produto e ao processo produtivo – que vão variar de acordo com a complexidade dos mesmos – de forma que o mesmo seja produzido dentro dos níveis de qualidade desejados.

O método de projeto, para o designer, não é absoluto nem definitivo; pode ser modificado caso ele encontre outros valores objetivos que melhorem o processo. E isso tem a ver com a criatividade do projetista, que, ao aplicar o método, pode descobrir algo que o melhore. (MUNARI, 1998)

Romeiro (1997) cita que “qualquer objeto – um parafuso, um prédio, um avião – concebido pelo homem é um produto, embora as metodologias e processos apresentados estejam em sua maior parte centrados no desenvolvimento de produtos industriais, fabricáveis em série.”

Ainda segundo o autor:

O nível de sofisticação e detalhamento do processo metodológico adotado obedece às características do produto a ser desenvolvido. Naturalmente um produto tecnologicamente simples (um vaso cerâmico, por exemplo) não necessitará do rigor metodológico de produtos mais sofisticados (como um avião ou uma planta industrial), mesmo devido ao fato de que na maioria dos casos, os processos de concepção e tecnologias de fabricação de produtos mais “simples” estão amplamente disseminados, sendo muitas vezes possível seu inteiro domínio (concepção e fabricação) por um pequeno grupo ou mesmo por uma só pessoa, como no caso da produção artesanal.

4.3.1 - A qualidade do projeto

A grande quantidade de ofertas disponíveis no mercado atualmente possibilita que o consumidor final aumente seu nível de exigência em relação aos produtos que compra. Desta forma, as empresas orientam o desenvolvimento de seus produtos e processos no sentido de conquistar a preferência desse consumidor.

Segundo Baxter (2000) as chances de sucesso de novos produtos aumentam em até 5 vezes quando o projeto é orientado para o mercado, traduzindo os benefícios e valores esperados pelos consumidores.

Juran (1992), define o planejamento da qualidade como “a atividade de desenvolvimento dos produtos e processos exigidos para a satisfação das necessidades dos clientes” e apresenta passos para esse planejamento: estabelecer metas de qualidade → identificar os clientes → determinar as necessidades dos clientes → desenvolver características do produto que atendam às necessidades dos clientes → desenvolver processos que sejam capazes de produzir aquelas características do produto → estabelecer controles de processos e transferir os planos resultantes para as forças operacionais.

As metodologias de desenvolvimento de produtos que adotam uma visão voltada para o mercado geralmente obedecem a princípios similares. Todas partem das necessidades apontadas pelos consumidores, que são traduzidas em características específicas dos produtos. Essas características dão origem às especificações técnicas (metas do projeto), que orientarão os processos produtivos.

Dessa forma, o desenvolvimento do projeto voltado para as necessidades do consumidor integra o design aos demais departamentos da empresa, sobretudo marketing e produção. O setor de marketing, através de pesquisas específicas junto aos consumidores (e concorrentes),

levanta informações que traduzem hábitos de consumo dos mesmos, seus valores sociais e culturais, etc. A partir das necessidades levantadas nesse ambiente, é possível fazer um desdobramento dessas necessidades em características do novo produto. O setor de projetos vai então trabalhar visando desenvolver um produto que possua tais características - que atendam às necessidades e sejam valorizadas pelos consumidores – e que sejam adequados aos processos produtivos disponíveis.

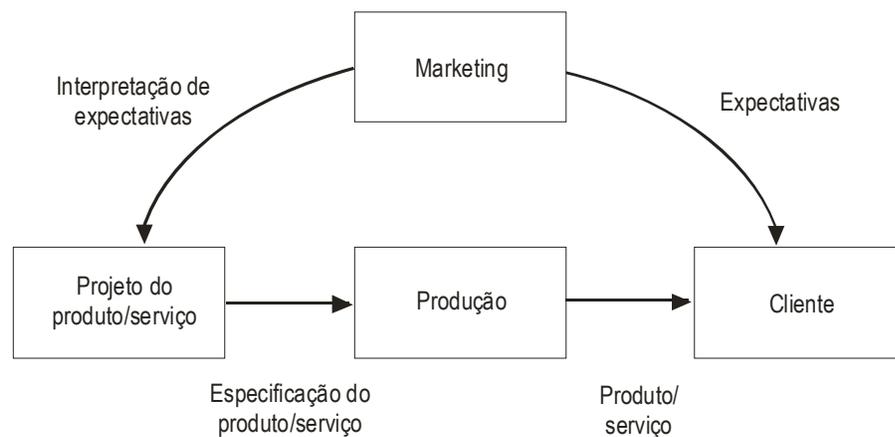


FIGURA 17 – O ciclo de realimentação cliente-marketing-projeto.
Fonte: SLACK, 2002.

Nesse contexto, a comunicação entre os profissionais envolvidos nesses setores se torna fundamental. O projeto centrado no usuário exige uma abordagem multidisciplinar, com a participação de equipes de profissionais de diferentes setores, capazes de abordar diferentes pontos de vista a respeito dos aspectos do produto. É preciso que o designer tenha conhecimento de que formas esses profissionais e os vários setores da empresa são afetados pelo projeto, e como este pode ser melhorado para garantir um melhor desempenho dos processos e do produto final. Quanto mais variáveis são consideradas no projeto, incluindo usos não planejados ou errados (obtidas através de pesquisas com usuários, observações de consumo, etc.), maiores são suas chances de sucesso.

O objetivo global da atividade de projeto é atender às necessidades dos consumidores, seja por meio do projeto dos produtos ou serviços, seja pelo projeto dos processos que o produzirão. É a atividade que molda a forma física e o propósito tanto de produtos e

serviços, como dos processos que os produzem. É uma atividade que começa com o conceito e termina com a tradução desse conceito em especificação de algo a ser criado. A atividade de projeto pode ser vista como um processo de transformação da mesma forma que qualquer outra operação. Pode, dessa forma, ser julgada em termos de qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo. Esses objetivos têm mais chances de serem satisfeitos se as atividades complementares do projeto do produto ou serviço e do projeto do processo forem coordenadas de alguma forma. (SLACK, 2002)

De acordo com Kotler (2000), todas as qualidades de produto que discutimos são parâmetros de design. O designer tem de imaginar quanto deve investir em forma, desenvolvimento de características, desempenho, conformidade, durabilidade, confiabilidade, facilidade de reparo e estilo. Salem (1998) faz as seguintes considerações sobre o designer de jóias:

é o profissional que planeja a peça desde a criação até o consumo, envolvendo modo de produção, custo e viabilidade econômica, tendência e comercialização, mas que não executa sua criação. O designer de jóia é um profissional que detém conhecimento técnico e talento. [...] O conhecimento prático de confecção de jóias, tanto de forma artesanal como industrial, se faz imprescindível para todos os designers que desejam atuar de forma eficiente nessa profissão. Um designer profissional deve ter contato constante com todas as fases do processo.

O designer de jóias deve ter conhecimentos sobre os processos básicos de fundição de metais, ligas, soldas e processos de confecção de peças de joalheria. Além disso, deve conhecer sobre lapidação das gemas, que é o processo em que se faz o corte, facetamento e o polimento da mesma. “O designer deve conhecer os diferentes tipos de lapidação e cravação para que possa utilizá-los de modo racional e harmonioso nas peças por ele concebidas.” (SALEM, op.cit).

Também é necessário que o designer do setor de jóias conheça as tendências de moda, arte e design e desenvolva pesquisas sobre novos materiais e tecnologias de produção, que subsidiem o desenvolvimento de novos produtos. Disciplinas como antropologia, estética, geologia, economia, tecnologia e ergonomia também fazem parte do repertório de conhecimentos necessários ao desenvolvimento de produtos joalheiros. O planejamento e especificação exigem que o designer esteja integrado à produção e seja capaz de desenvolver um produto que seja viável técnica e economicamente. Além disso, os objetivos do projeto devem estar integrados com os objetivos estratégicos da empresa e visando a qualidade.

Conforme Batista (2000), design de jóias significa “projetar, ordenar, planejar a produção em série das peças da joalheria, com prioridade à função estética, conforto (ergonomia) e durabilidade. Ou seja, é o conjunto de medidas que se toma, tendo em vista a seleção de

matérias-primas, o aspecto da peça, a praticidade, antes mesmo de ela entrar em linha de produção”.

A atividade do designer tanto está relacionada à criação, quanto a todo conhecimento estético, prático e funcional da moda e da indústria joalheira. Esses conhecimentos também envolvem processo de fabricação, estatística, custo, mercado, material e ergonomia. É relevante que o designer conheça os procedimentos funcionais internos e externos da empresa, como por exemplo, a tecnologia, o processo de fabricação, o meio de divulgação do produto (feira, revista e meio de comunicação) e o processo de venda (funcionalidade interna); os pontos de vendas (onde estão localizados?), maiores clientes (quem são?), quem são os usuários desses clientes (consumidores finais) e o público alvo que também deseja atingir (funcionalidade externa). (NOEBAUER, 2004).

4.3.2 Projeto integrado

O conceito de “projeto integrado” parte do princípio de que várias etapas do desenvolvimento do projeto podem ser desenvolvidas simultaneamente, sem a necessidade de que uma etapa termine para que se inicie a próxima. A aplicação do projeto integrado requer que o trabalho seja realizado por equipes multidisciplinares, de forma a existir um processo de comunicação contínua, que permita o desenvolvimento simultâneo de etapas interdependentes da produção sem que haja prejuízo na qualidade final do produto. Esse tipo de desenvolvimento integrado e simultâneo é denominado engenharia simultânea.

Costa (1994) define a engenharia simultânea como “uma metodologia para desenvolvimento de projetos que propõe a realização de muitos processos pertencentes ao ciclo de vida do produto de forma simultânea (paralela), usando um time de projeto multidisciplinar e dinâmico e ferramentas automatizadas para a realização dos processos componentes.”

A aplicação da engenharia simultânea visa - através do desenvolvimento simultâneo das atividades - diminuir o tempo necessário para a conclusão dos processos e antecipar a chegada do produto ao mercado. Para possibilitar o desenvolvimento paralelo de atividades interdependentes e garantir a qualidade dos processos e produtos, é preciso que os profissionais possam se comunicar constantemente. Para esse fim, a engenharia simultânea conta com utilização de recursos informatizados.

A utilização de sistemas CAD pode auxiliar em muito a difusão e intercâmbio de informações em tempo real, mesmo a grandes distâncias. (...) Os sistemas CAD permitem, desta forma, o desenvolvimento simultâneo de diversas fases do projeto, a

partir de um compartilhamento adequado das informações geradas. O CAD torna-se nestes casos uma poderosa ferramenta de integração, permitindo já na fase de projeto, se obter uma representação bastante precisa do aspecto final do sistema, simular sua operação e prever eventuais erros de projeto. Desta forma, o CAD vem de encontro às necessidades de uma forma específica de desenvolvimento de projeto, denominado Engenharia Simultânea. (ROMEIRO, 1997)

Os recursos de informática utilizados na implementação da engenharia simultânea incluem além dos já citados CAD/CAM, também o CIM (Manufatura Integrada por Computador) e o CAE (Engenharia Auxiliada por Computador) (que serão melhor detalhados adiante).

Existem também alguns softwares específicos para a implantação e monitoramento da engenharia simultânea, que trabalham recebendo as informações de vários profissionais e organizando-a segundo critérios estabelecidos, de forma que essas informações possam ser acessadas em diversos níveis, com o projeto em andamento - informações estas que só estariam disponíveis após o término do projeto. Através de um gerenciamento do fluxo dessas informações, profissionais de alguns setores podem ter acesso livre ou limitado sobre as informações do projeto, o que – principalmente em projeto mais complexos - pode significar uma importante economia de tempo na busca de dados e em informações repetidas ou pouco relevantes para determinado profissional envolvido.

Os recursos disponibilizados por esses softwares são bastante amplos e vão bem além da necessidade atual da indústria joalheira, dada a baixa complexidade dos produtos e o número reduzido de profissionais envolvidos, se comparados a outras indústrias. Entretanto, os conceitos da engenharia simultânea se aplicam ao setor joalheiro visto a necessidade de integração e compartilhamento de informações entre os profissionais de design e produção, e uma vez que essa integração pode ser viabilizada através da utilização de recursos informatizados.

As novas tecnologias envolvidas na atividade projetual associada às técnicas de desenvolvimento simultâneo trouxeram benefícios ao processo, uma vez que contribuíram para o aumento do fluxo de informações entre os envolvidos, fazendo com que a distância se tornasse menos evidente e que o nível de comunicação melhorasse qualitativamente. A intensidade de troca de dados, agora facilitada pelos sistemas informatizados, contribui para o enriquecimento das atividades projetuais, tornando viável a solução antecipada de problemas em fases iniciais de projeto. Ora, uma vez identificados os problemas em suas origens, observa-se uma melhoria no relacionamento entre as equipes e os diferentes setores, pois o volume de inconsistências que é repassado às etapas seguintes é diminuído consideravelmente. (FERNANDES, J.M., 2005)

Costa (1994) cita as potenciais aplicações da engenharia simultânea associada ao “*workgroup computing*” (trabalho em grupo apoiado em computador):

- compartilhamento de bases de conhecimentos: bases de conhecimento em rede para armazenar o conhecimento relacionado aos vários projetos existentes na empresa.
- roteamento de informações: utilização de sistemas de correio eletrônico para enviar mensagens e documentos eletrônicos de um usuário a outro.
- discussão e referência: utilização de sistemas de teleconferência, que permitem discutir projetos com os envolvidos à distância.
- colaboração: utilização de arquivos de referência, que permitem criar um desenho utilizando outro ou algumas partes de outro desenho como referência. Assim, é possível que profissionais com diferentes especialidades contribuam para a criação de um produto.

O autor também apresenta algumas restrições que impedem a implementação da engenharia simultânea:

- “inércia empresarial”, que dificulta, e às vezes, inviabiliza mudanças de cultura.
- restrições tecnológicas: infra-estrutura de telecomunicações do país é deficiente e existe falta de padronização de dados entre as aplicações de automação de engenharia existentes.

Embora os recursos informatizados representem uma importante forma de monitorar projetos – principalmente no caso de produtos mais complexos, compostos de muitos itens e processos distintos – não significa que essas ferramentas representem uma solução para os problemas de troca de informações. Antes da implantação desses sistemas é preciso que a empresa seja preparada para sua utilização plena. Essa preparação envolve sobretudo os métodos de trabalho adotados que - como já foi visto - devem considerar, durante o desenvolvimento do projeto, todas as informações necessárias à execução do produto. Se os problemas não são evitados durante o desenvolvimento ou as informações necessárias ao projeto não são consideradas, a informatização dos processos se tornará inútil. “Atingir uma performance mais competitiva está diretamente relacionado à minimização de barreiras de caráter tecnológico, cultural e inter-pessoal, os quais constituem entraves ao processo de integração necessário às empresas.”(FERNANDES, J.M., 2005)

Questionamos os fins, sem questionarmos os meios, mas o inverso é que é verdadeiro. Nossas empresas, doentes e carentes no aspecto de desenvolvimento de novos produtos, investem em design como se esta fosse a ferramenta para a solução de seus problemas, porém é parte da solução.

Gerar, criar jóias com diferencial competitivo, em quantidade e com qualidade ao atendimento das exigências do mercado, necessita de gerenciamento no desenvolvimento de novos produtos. Desenvolvimento de novos produtos é um processo, como o nome diz, na qual deve-se empregar o conceito do começo, meio e fim, porém não devemos nos esquecer que são participantes vários recursos – máquinas, equipamentos, ferramentas, materiais e outros, mas principalmente o ser humano. (SILVA, J.C., 2005)

- CAPÍTULO 5 -

FERRAMENTAS TECNOLÓGICAS DE AUXÍLIO AO DESIGN E PRODUÇÃO

“CAD e CAM representam as ferramentas da engenharia moderna que permitem reduzir o custo e tempo para o desenvolvimento e fabricação de um produto”

Gomes, 2005.

5.1 Ferramentas tecnológicas no auxílio ao projeto

As siglas CAD e CAM vêm do termo da língua inglesa e significam respectivamente “Computer Aided Design” (traduzida por “Projeto Auxiliado por Computador”) e “Computer Aided Manufacturing” (traduzida por “Manufatura Auxiliada por Computador”).

São sistemas complementares, porém distintos. O CAD está diretamente relacionado à atividade de desenho do projeto em si, enquanto o CAM é utilizado para facilitar o processo de produção. O CAD armazena os dados do projeto e os envia para o CAM, que irá comandar a execução do mesmo.

A necessidade de se desenvolver grande quantidade de desenhos com alto nível de detalhamento e precisão, fizeram com que as indústrias bélica e aeronáutica dos EUA fossem pioneiras na utilização dos sistemas CAD/CAM. Em seguida foi aplicado na indústria automobilística e a partir dos anos 70 houve significativo aumento da utilização na indústria eletrônica.

De lá para cá, ajudado pelo rápido aumento de usuários e crescente facilidade de acesso a computadores (pela gradual diminuição de custos dos equipamentos) os sistemas CAD foram sendo aprimorados rapidamente e direcionados à atividade de projeto, através do desenvolvimento de softwares mais específicos para diferentes segmentos industriais.

Existem várias aplicações e suas respectivas siglas para os sistemas de auxílio através de computadores. Neste trabalho a ênfase foi dada nos sistemas CAD e CAM. Também são citadas nesse trabalho, embora com menor frequência:

CAE – Computer Aided Engineering (Engenharia Auxiliada por Computador)

A Engenharia Auxiliada por Computador (Computer Aided Engineering) possibilita construir modelos e testá-los virtualmente considerando vários aspectos técnicos, relacionados ao comportamento e resistência de materiais e estruturas diversas.

CIM – Computer Integrated Manufacturing (Manufatura Integrada por Computador)

A Manufatura Integrada por Computador (CIM – Computer Integrated Manufacturing) utiliza a tecnologia do computador para a integração e gerenciamento do sistema de produção, visando alcançar a integração das informações durante todas as etapas da produção, que se inicia com o planejamento da produção (projeto do produto, do processo e estimativa de quantidades a produzir), continua com a programação (definição de quantidades a produzir por período, cálculo da necessidade de materiais, estabelecimento de prazos, capacidades e seqüências de produção), aciona a produção (através de máquinas comandadas por computador) e termina no controle.

5.1.1 CAD

O sistema CAD em três dimensões é um sofisticado meio de desenhar através de computador, que permite a simulação de um modelo perfeito tridimensional e um exame de formas e tamanhos representados visualmente como se esta tivesse sido realmente fabricada. Desta forma, a visualização tridimensional possibilita melhor avaliação do produto durante o projeto, o que diminui consideravelmente os riscos e os custos de erros posteriores, durante a produção.

Os sistemas CAD que permitem construir modelos tridimensionais podem construir esses modelos considerando apenas suas superfícies ou tratá-los como modelos sólidos, conferindo-lhes volume, peso e massa. Para isso, o software CAD utilizado deve possuir essa característica. Nesse caso, os arquivos são gerados no formato STL, em que os modelos são compostos por pequenos triângulos. Quanto menores forem esses triângulos, mais uniforme será a superfície e melhor será a definição de detalhes da peça. Também, quanto menores forem os triângulos, maior será o tempo de processamento.

O modelo virtual pode ser criado tendo-se como base um simples croqui feito em papel. As características principais do croqui são inseridas no computador e a partir do desenho em tridimensional é possível avaliar de forma muito mais eficiente o projeto. O tempo todo é possível girar o modelo possibilitando, desta forma, observá-lo de ângulos diferentes e modificá-lo em tempo real. Pode-se imediatamente observar os efeitos de cada modificação e ajuste atingindo assim o design ótimo para o produto desejado. O modelo virtual e suas diferentes versões podem ser impressos. Podem ser obtidas e impressas diferentes vistas da peça, incluindo suas dimensões, volume, diâmetro, etc. Desta forma evitando qualquer falha de interpretação.

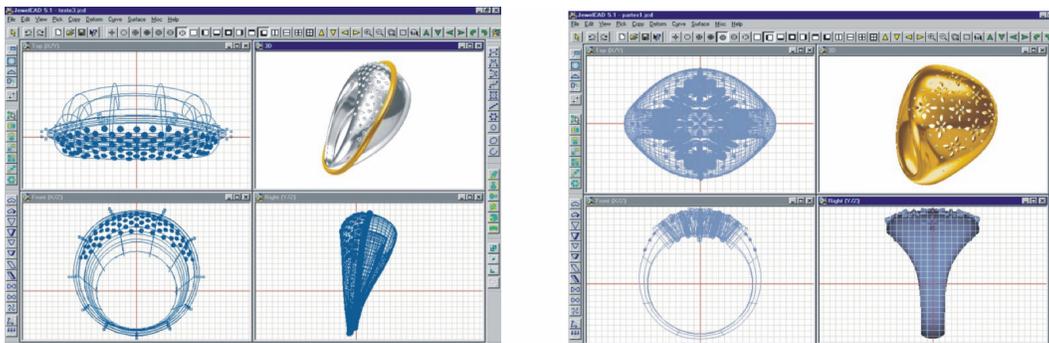


FIGURA 18 – Utilização de CAD para desenho de jóias
Fonte: MALAQUIAS, 2005.

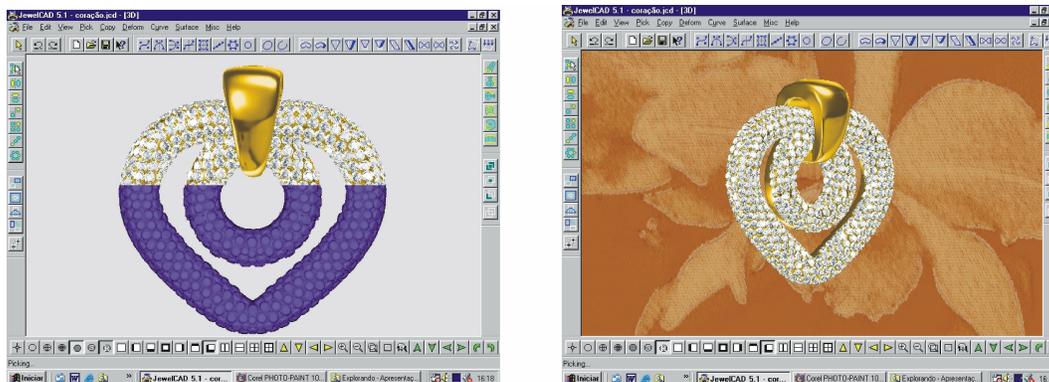


FIGURA 19 – Renderização de um modelo de jóia através de um software CAD
Fonte: MALAQUIAS, 2005.

Além de auxiliar na avaliação visual do modelo, através dos sistemas CAD podemos simular virtualmente o comportamento dos materiais que serão utilizados no produto final. A

simulação virtual consiste na criação de um modelo computacional antes do protótipo físico ser criado.

O sistema permite que sejam escolhidos materiais específicos para as peças e consideram suas propriedades físicas na simulação, além das condições ambientais a que serão submetidas. Dessa forma, podemos realizar testes de resistência e tensão de materiais e do funcionamento geral da peça, obtendo resultados como se essa fosse real.

Os recursos oferecidos pelo CAD vão além dessa avaliação visual minuciosa. Através da utilização de recursos de interface manual⁶, que utilizam luvas e óculos especiais, os projetistas podem tocar o modelo virtual, sentindo sua superfície e mexendo nesse modelo como fariam com o produto real.

A possibilidade de simulação virtual oferece muitos benefícios para vários tipos de indústrias, especialmente aquelas que fabricam produtos complexos, que utilizam muitos componentes e materiais. Esses mesmos testes só seriam possíveis com a produção de modelos reais em laboratório, utilizando os mesmos materiais e condições gerais de utilização da peça. A simulação virtual reduz enormemente o tempo e os custos com esses testes. Através desses testes, é possível detectar falhas e fazer todas as correções necessárias antes da confecção de um protótipo físico, o que reduz o tempo de desenvolvimento e garante que o produto atenderá aos critérios de qualidade necessários.

Pode-se afirmar que há uma melhoria no nível de qualidade do projeto, já que o CAD permite soluções mais complexas em diversos níveis do ciclo de desenvolvimento e em determinadas situações, como na projeção de componentes eletrônicos, mecânicos, etc., além de características oferecidas principalmente pelo “software” adotado, que permite que sejam detectadas possíveis falhas projetuais, como na construção de maquete eletrônica, análises estruturais, verificação de interferências, etc. antes do início da produção ou da construção, trazendo grande economia através da redução das modificações posteriores necessárias. Esta qualidade deve-se também ao desenvolvimento de um maior número de soluções ao longo do ciclo de desenvolvimento do projeto, devido às facilidades para a geração de imagens e alternativas. É sempre bom lembrar, entretanto, que a “qualidade do projeto” depende sempre, e sempre dependerá muito mais dos conhecimentos e das habilidades dos usuários do que das características do próprio sistema, por mais sofisticadas que sejam. (ROMEIRO, 1993)

Atualmente existem inúmeros *softwares* que utilizam a tecnologia dos sistemas CAD. Durante a pesquisa, foram levantados nomes de alguns dos softwares para modelagem de

⁶ Para serem utilizados, os recursos de simulação virtual e interação manual devem ser disponibilizados pelo software CAD escolhido pelo projetista.

objetos mais utilizados por profissionais de setores de projeto em geral: *Alias*, *Catia*, *Unigraphics*, *Rhinoceros*, *Pró-engineer*, *Solid Works*, *Vallum*. Além desses, temos o *Jewel Cad* e o *3Design*, os dois desenvolvidos especificamente para o design de jóias. Apesar disso não é são os mais usados no setor.

O software mais usado para modelagem de jóias, segundo o depoimento de profissionais do setor, é o *Rhinoceros*, produzido pela *Robert McNeel & Associates*. Esse software também é bastante utilizado em outros setores, fator que provavelmente colaborou na sua adoção pelo setor joalheiro, já que o acesso às informações necessárias para sua utilização é beneficiado pelo melhor acesso e distribuição do mesmo.

Embora não tenha sido desenvolvido especificamente para o desenho de jóias, o *Rhinoceros* possui uma interface apropriada para o desenvolvimento de desenhos orgânicos - muito utilizados em joalheria - e trabalha integrado a ferramentas como o *Flamingo* - utilizado na renderização dos desenhos, permitindo a construção e visualização de jóias de forma bastante real. Além disso, possui um *plug-in* - *Techgems* - que aparece como uma barra de ferramentas que oferece vários recursos específicos para a construção de modelos joalheiros, incluindo uma vasta biblioteca de gemas e materiais utilizados em joalheria. Esses recursos, unidos, dão condições, segundo os depoimentos de alguns profissionais do setor, de atingir níveis ótimos de qualidade na representação e avaliação do modelo. Abaixo seguem exemplos de modelos construídos no *Rhinoceros*, utilizando recursos do *Techgems* e renderizados no *Flamingo*.



FIGURA 20 - Peças modeladas no software Rhinoceros e renderizadas no Flamingo.

Fonte: www.rhino3d.com



FIGURA 21 – Exemplo de peça construída no Rhinoceros utilizando recursos do plug-in *Techgems* (tipos de cravação de pedras)

Fonte: www.techjewel.com



FIGURA 22 – Barra de ferramentas do plug-in *Techgems* com elementos específicos para construção de jóias

Fonte: www.techjewel.com

Além de podermos produzir um desenho totalmente novo utilizando softwares CAD, podemos também transferir as características de um objeto pronto para o CAD. A partir daí, podemos trabalhar com esse modelo da mesma forma que um modelo totalmente novo (podendo modificá-lo ou não).

Os equipamentos capazes de “ler” a superfície de um objeto já existente e enviá-la para os sistemas CAD são os digitalizadores tridimensionais de objetos. Esses equipamentos trabalham para obter as coordenadas tridimensionais de um objeto sólido real e transferir essas informações para o computador, formando a imagem do objeto original, que poderá ser posteriormente trabalhada com o software CAD.

O uso dos digitalizadores está diretamente relacionado aos conceitos de engenharia reversa, que consiste na construção de um modelo partindo de um objeto real já existente. O objeto original é lido ou tem suas partes desmontadas com o intuito de ser reproduzido da mesma forma ou modificado.

Os digitalizadores mais comuns são os de apalpador (braço mecânico com uma ponta que toca pontos seqüenciais da superfície do objeto), à laser (utiliza um filete de laser para realizar a leitura da superfície do objeto) e óticos (utilizam a fotografia digital do objeto).

Abaixo segue esquema representativo do processo de engenharia reversa utilizando um digitalizador tridimensional:



FIGURA 23 - Exemplo de aplicação de engenharia reversa utilizando um scanner tridimensional para leitura da peça pronta.

Fonte: www.rolanddga.com

Após o desenvolvimento do projeto, completa avaliação e aprovação do modelo em CAD, a confecção de um protótipo real pode ser feita. Dois métodos diferentes podem ser escolhidos: o “método tradicional” e os métodos utilizando a tecnologia CAM, que possibilitam a confecção de modelos fiéis ao projeto.

5.1.2 CAM

A manufatura auxiliada por computador (CAM) permite que, através do modelo tridimensional gerado em CAD, sejam produzidos protótipos físicos fiéis ao modelo. O sistema CAM captura as informações do CAD e transforma-as em dados (comandos) que vão orientar uma máquina que produzirá o protótipo.

A grande vantagem desse processo em relação aos processos artesanais da confecção do modelo é que aqui podemos ter um controle muito maior dos resultados, com a certeza de que o modelo produzido em CAM será fiel ao projeto. Em uma etapa que é referência para todas as etapas seguintes da produção e para o resultado final da mesma, a contribuição desses sistemas pode ser muito relevante no sentido de garantir que o produto atingirá as metas de qualidades estabelecidas no projeto.

Mesmo antes de o protótipo físico ser construído, através do sistema CAM podem ser gerados relatórios a respeito das características do produto e dos processos de produção, que serão úteis no controle das etapas seguintes.

Segundo Gomes (2005), entre as principais tarefas realizadas pelo CAM temos:

- “- estimativa do custo total (de material e produção) de um novo produto a ser fabricado;
- planejamento do processo, ou seja, planejamento da seqüência de operações e quais as máquinas que deverão ser utilizadas para a fabricação do produto e seus componentes;
- estudo de tempos de produção envolvidos na fabricação da peça;
- gerar programa para ser fornecido ao computador da máquina ferramenta de comando numérico que usará a peça.”

De forma geral, as indústrias utilizam três processos básicos para produção de objetos:

- Por subtração de material
- Por adição de material
- Por conformação de material

CHUA (2003) ilustra os três tipos de processo:

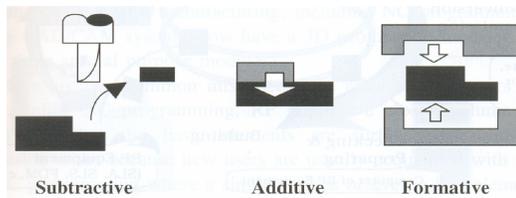


FIGURA 24 – Três tipos de processos de fabricação
Fonte: CHUA C.K., LEONG K.F. e LIM C.S. 2003.

Os processos por conformação são aqueles que utilizam fôrmas ou moldes que recebem o material, normalmente líquido, e que após sua solidificação são retirados do molde. Esse processo é utilizado em produção de jóias quando se faz a fundição por cera perdida (com o molde em gesso), repetida em vários momentos, da produção do primeiro modelo até a reprodução da “árvore” de modelos. Também na injeção de cera no molde de borracha de silicone estamos usando um processo por conformação de material.

Os processos por retirada de material utilizam máquinas capazes de cortar o material utilizando fresas até a construção completa do modelo enquanto os processos por adição de material utilizam máquinas que depositam o material camada a camada até que o modelo esteja construído.

Na indústria em geral tanto os processos por conformação quanto de subtração – através das máquinas de usinagem - já são utilizados há mais tempo. Já os processos por adição de materiais - que utilizam as máquinas de prototipagem rápida – são uma tecnologia mais recente. Na indústria joalheira, tanto a utilização dos processos de usinagem quanto os de prototipagem estão sendo inseridos recentemente para produção do primeiro modelo da jóia.

5.1.2.1 Usinagem

As primeiras máquinas de usinagem ou comando numérico computadorizado (CNC) surgiram em 1952 e têm sido desde então largamente utilizadas, destacadamente na indústria metal-mecânica. Essa técnica foi adaptada para produzir protótipos para joalheria em diversos materiais (cera, termoplástico, alumínio, etc). A utilização de máquinas de usinagem para fabricação de moldes e matrizes para jóias pode reduzir consideravelmente o tempo de produção em relação às técnicas tradicionais. Além disso, podem oferecer também grande precisão de medidas e acabamento, produzindo modelos idênticos ao projeto.

Primeiramente, o modelo computacional é criado em CAD. Definida a peça, o projeto pode ser transferido para o sistema CAM, que gera as informações que serão enviadas para a máquina CNC. Antes da confecção da peça, é feita a simulação do processo de usinagem. Essa etapa é extremamente útil não só para verificar os parâmetros para usinagem da peça (profundidade de corte), mas também para examinar se o trecho percorrido pelas ferramentas será viável, não havendo colisões, etc.

Depois de definidos os parâmetros ótimos de usinagem, as máquinas CNC executam o trabalho de confecção do modelo através da retirada de material.

As máquinas de usinagem são compostas de um cabeçote que permite a adaptação de fresas de diferentes tamanhos e espessuras e que trabalha acima de uma plataforma plana, onde é colocado o bloco de material que será trabalhado. Esse cabeçote, obedecendo ao comando enviado pelo computador (CAM) se movimenta e vai cortando a superfície do bloco até que a face superior do modelo esteja construída.

A geometria da peça é transmitida à máquina utilizando um sistema de coordenadas cartesianas (X, Y, Z), que determinam os movimentos lineares da máquina. Além desses, são possíveis também os movimentos circulares em volta de cada um desses eixos.

Existem máquinas CNC de vários modelos e com recursos diferentes. O número de eixos da máquina representa seus movimentos possíveis (movimentos lineares e rotacionais). Os modelos mais avançados possuem maior número de eixos, que permitem girar o objeto e colocá-lo em várias posições, conseguindo explorar toda a superfície da peça.

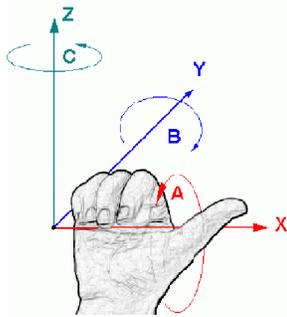


FIGURA 25 - Esquema representativo das coordenadas que comandam os movimentos das máquinas CNC.
Fonte: www.pg.cefetpr.br

As máquinas CNC mais simples trabalham com dois eixos: X e Y. Os movimentos são feitos nos dois sentidos, no nível da plataforma onde se localiza o bloco de material. Já nas máquinas de 3 eixos é adicionado o eixo Z, permitindo movimentos na vertical. Acima de 3 eixos, são adicionados os movimentos giratórios, aumentando consideravelmente as possibilidades de construção da máquina.

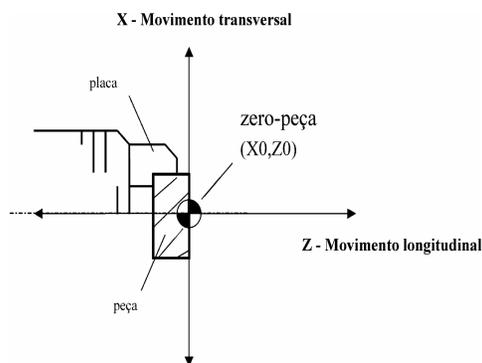


FIGURA 26 – Esquema representativo do funcionamento de uma máquina CNC de 2 eixos (X, Y)
Fonte: www.pg.cefetpr.br

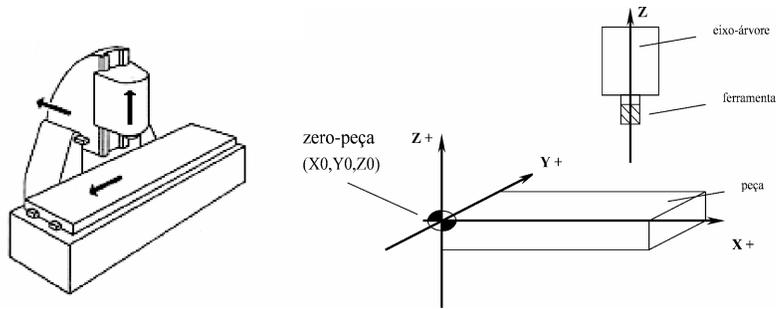


FIGURA 27 - Esquema representativo do funcionamento de uma máquina CNC de 3 eixos (X,Y,Z)
 Fonte: www.pg.cefetpr.br

Apesar das limitações relacionadas principalmente à confecção de peças com geometria mais complexa, as máquinas CNC têm sido bastante utilizadas no setor joalheiro devido ao preço mais acessível dos equipamentos, se comparado com outras tecnologias de produção de moldes via CAM. Os preços dessas máquinas podem variar em média de US\$3.000 a US\$15.000, dependendo do modelo escolhido. (Esses valores consideram máquinas menores, adequadas à produção de modelos de jóias. Existem máquinas CNC de preço bem mais elevado, que possuem áreas de trabalho maiores, mais adequadas a outras indústrias.)

Mesmo utilizando máquinas CNC mais simples, é possível adaptar a confecção de alguns tipos de peças virando manualmente o modelo e criando sistemas de encaixe que permitam usinar mais de um lado da peça. Os profissionais que utilizam essa tecnologia acabam se adaptando a essas limitações e confeccionando algumas partes das peças separadamente, colando-as manualmente depois.

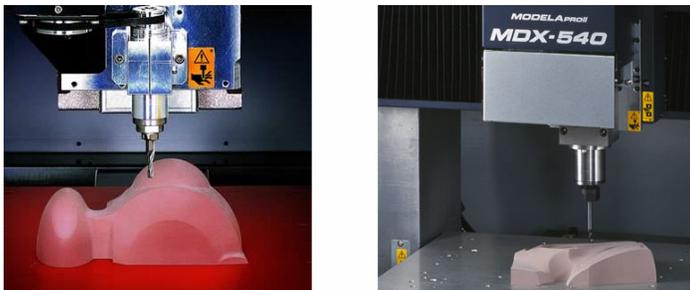


FIGURA 28 – Figuras mostrando detalhes dos cabeçotes e fresas das máquinas de usinagem.
 Fonte: www.rolanddga.com

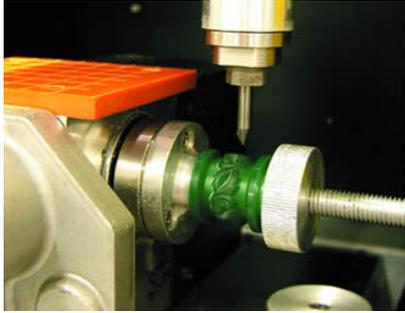


FIGURA 29– Máquina CNC de três eixos usinando um anel.
Fonte: www.rolanddga.com

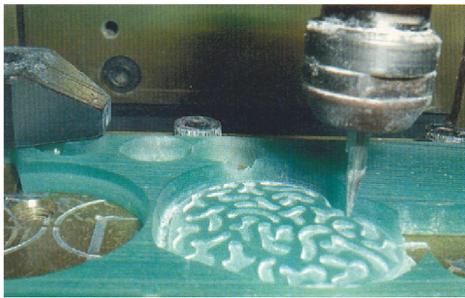


FIGURA 30 – À esquerda máquina CNC trabalhando na confecção de modelo de jóia. À direita protótipos de jóias gerados numa máquina CNC.
Fonte: Revista CaDesign. Ano10 - n.102.



FIGURA 31 - Máquinas de usinagem
Fonte: www.rolanddga.com

5.1.2.2 Prototipagem rápida

A prototipagem rápida é uma tecnologia que também possibilita produzir protótipos a partir de um desenho gerado no sistema CAD. Os dados do desenho em CAD são enviados para as

máquinas de prototipagem, que podem produzir modelos físicos fiéis a esse desenho automaticamente, com grande precisão e complexidade de detalhes.

As máquinas de prototipagem rápida possibilitam maior velocidade e um nível de detalhamento superior aos processos de usinagem e ao contrário dessas - que trabalham extraindo material de uma peça bruta até que seja obtida a peça desejada - as máquinas de prototipagem trabalham através da deposição de materiais. Embora as técnicas utilizadas e os materiais possam variar (podem ser utilizados líquidos, pó, papel, resina, cerâmica, metais, etc.), todos os sistemas de prototipagem rápida trabalham adicionando camadas finíssimas de material até que o protótipo esteja formado. Essa característica (deposição de materiais) permite a construção de peças com formatos complexos ou que tenham estruturas internas complicadas (partes ocas, cortes diferenciados, peças embutidas umas nas outras), coisas que não seriam possíveis ou seriam muito caras nos processos convencionais através de retirada de material.

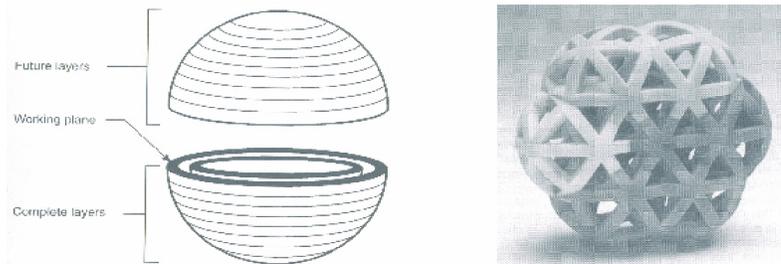


FIGURA 32 – Figuras mostrando como o processo de adição de material permite construir estruturas complexas. A figura à esquerda mostra como é construída uma esfera solta dentro da outra, camada a camada. À direita, foto de estrutura construída pelo processo de prototipagem rápida, que não seria possível através do processo por retirada de material.

Fonte: Grimm, 2004.

Os desenhos que serão enviados para as máquinas de prototipagem têm que ser modelos sólidos, gerados pelo sistema CAD no formato STL (já descrito). Depois que o arquivo STL é gerado, as operações seguintes são realizadas pelos softwares que já acompanham as máquinas de prototipagem. Estes softwares reconhecem o modelo sólido e geram “camadas” ou “fatias” que serão “lidas” pela máquina de prototipagem, que deposita sucessivamente o material (camada por camada) até que a peça esteja completa.

À medida que o protótipo vai sendo construído, são também construídos suportes de apoio que dão sustentação às partes suspensas ou vazadas da peça. Em alguns processos que

utilizam material em pó, o próprio pó não solidificado serve para essa sustentação. Em outros processos (resina líquida, por exemplo) são construídas hastes de estrutura mais fina ou de outros materiais, que posteriormente são retiradas.

Após o término da confecção das peças, elas são retiradas da máquina e é feita uma limpeza das mesmas com o objetivo de retirar suportes de apoio (se existirem) ou algum resíduo de material. Esse processo de limpeza vai variar de acordo com a técnica e os materiais utilizados.

As técnicas, assim como os materiais utilizados na fabricação de protótipos podem variar muito e também interferem na qualidade de acabamento da superfície do modelo, podendo ser necessário que o protótipo receba um leve acabamento depois de pronto.

Gorni (2001) distingue cinco etapas básicas que compõe todos os processos de prototipagem rápida:

1. Criação de um modelo CAD da peça que está sendo projetada,
2. Conversão do arquivo CAD em formato STL, próprio para estereolitografia,
3. Fatiamento do arquivo STL em finas camadas transversais,
4. Construção física do modelo, empilhando-se uma camada sobre a outra,
5. Limpeza e acabamento do protótipo.

Os primeiros sistemas de prototipagem rápida surgiram nos EUA. O processo de estereolitografia (*StereoLithography* – SLA) foi o primeiro a ser desenvolvido. Patentado em 1986, esse processo utiliza um tipo de resina foto sensível que é solidificada através do laser. Em poucos anos (até 1991) foram introduzidas várias outras tecnologias, como a *Fused Deposition Modeling* (FDM), que utiliza um cabeçote com termoplástico fundido, *Solid Ground Curing* (SGC), que também utiliza resina foto-sensível, e *Laminated Object Manufacturing* (LOM), que utiliza folhas de papel ou material termoplástico cortadas à laser. Em 1992, surgiram comercialmente os sistemas *Selective Laser Sintering* (SLS) utilizando materiais em pó fundidos e solidificados por laser.

A partir de 1994 várias outras tecnologias surgiram, aperfeiçoando as já existentes através da introdução de novos materiais e respectivas técnicas.

Desde então os processos de design utilizando os sistemas CAD/CAM – com técnicas de prototipagem rápida - vêm sendo usados em muitas áreas industriais com sucesso. O gráfico abaixo traz informações sobre essa utilização:

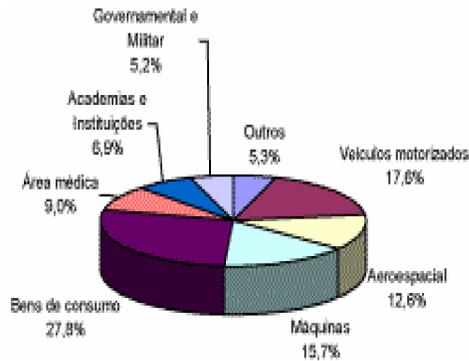


GRÁFICO 1 – Utilização de prototipagem rápida em vários setores nos EUA.
Fonte: WOHLERS, 1998.

Algumas indústrias (automobilística, por exemplo) sempre construíram protótipos para a realização de testes. Os recursos de visualização e simulação oferecidos pelo CAD, aliados aos processos de prototipagem rápida, possibilitaram que esses protótipos fossem construídos em tempo e custo muito menores.

Para a fabricação de pequenos lotes de peças ou peças de tamanho reduzido, com alto nível de detalhamento e complexidade, as técnicas de prototipagem são extremamente indicadas. Exemplo disso é a fabricação de ferramentas, que aplica com grande sucesso os recursos de prototipagem rápida (também chamado de ferramentaria rápida), já que as peças requerem grande precisão, resistência e outros fatores de qualidade.

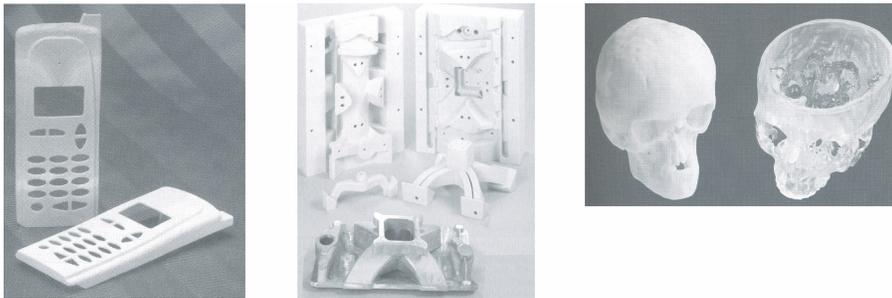


FIGURA 33 - Exemplos de aplicação de prototipagem rápida em outras indústrias (eletroeletrônicos, mecânica, médica).
Fonte: Grimm, 2004.

Além da escolha dos processos mais adequados, as empresas devem considerar também os investimentos necessários para a compra de máquinas de prototipagem rápida. Essas máquinas têm preços mais altos que as de usinagem, podendo variar de US\$20.000,00 a US\$300.000,00. Essa grande variação de valores ocorre principalmente em função da tecnologia utilizada. Em geral, as máquinas mais caras são as que utilizam o processo de estereolitografia. Com o desenvolvimento de novas tecnologias - como a impressão tridimensional - é possível encontrar máquinas de prototipagem com preços mais acessíveis.

Por se tratar de uma tecnologia relativamente recente, muitos processos estão ainda sendo desenvolvidos e aperfeiçoados. Constantemente são lançados novos sistemas e acredita-se numa constante evolução nesse sentido. Ainda não é possível definir uma só técnica totalmente apropriada à produção de jóias, mas já podemos, dentro dos sistemas existentes, identificar alguns dos mais adequados e que já vêm sendo utilizados, embora em baixíssima escala. A partir das pesquisas constantes e com o rápido desenvolvimento de novas tecnologias, é provável que em pouco tempo tenhamos sistemas cada vez mais integrados para a indústria joalheira.

Devido a essa constante evolução, é bastante sensato que o fabricante de jóias trabalhe em conjunto com um profissional qualificado para identificar a melhor técnica disponível. Antes de escolher o processo ideal para o trabalho que se deseja desenvolver, é necessário avaliar as características de precisão, material e acabamento que cada processo apresenta.

5.1.2.2.1 As técnicas de prototipagem rápida

São várias as técnicas de prototipagem rápida disponíveis no mercado. Entre as mais utilizadas na indústria em geral estão:

- Estereolitografia - SLA (*Stereolithography*):

O processo de estereolitografia produz protótipos em resina através da solidificação - camada a camada - dessa resina. Nesse processo, uma fonte de raio laser fica localizada acima de uma bandeja repleta de resina líquida foto-sensível. Entre a fonte de raio laser e a bandeja com material líquido, existe uma plataforma vazada (similar a uma tela) onde são construídos os modelos. A plataforma se movimenta levemente para baixo (para dentro da bandeja com resina) permitindo que uma fina camada de resina líquida passe através dessa dela. O foco de raio laser - bastante preciso, milimétrico - incide sobre essa camada de resina líquida, “queimando” e fazendo com que a mesma se torne sólida. A plataforma desce mais uma vez,

numa altura suficiente para a construção da próxima camada, acima da anterior. A resina líquida cobre esse espaço e novamente o raio laser incide sobre essa camada, solidificando-a. Durante sua construção, a parte já solidificada do modelo fica imersa dentro da bandeja com material líquido. Esse processo é repetido sucessivas vezes até que o modelo esteja completo.

Durante a construção, se necessário, são criadas algumas ramificações ou estruturas finas e pouco resistentes, apenas para sustentar algumas partes do modelo. Depois de pronto o modelo é retirado da máquina e suas estruturas de suporte são removidas. A peça é colocada num banho de solventes para retirar fragmentos de resina excedente não endurecida. Em seguida, o modelo é colocado num forno de radiação ultravioleta para sua cura completa.

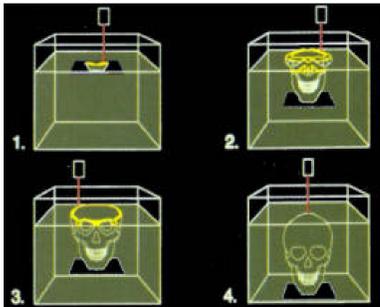


FIGURA 34 – Figura ilustrativa mostrando o processo de construção do protótipo no processo de estereolitografia.

Fonte: www.artis.com.br

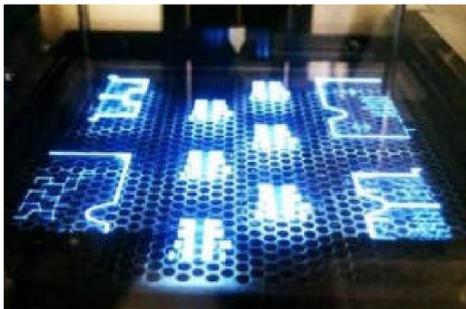


FIGURA 35 – Imagens do processo de estereolitografia. À esquerda, a incidência de raios laser a superfície de resina líquida. À direita, retirada de uma peça pronta, fabricada na máquina de estereolitografia.

Fonte: www.artis.com.br

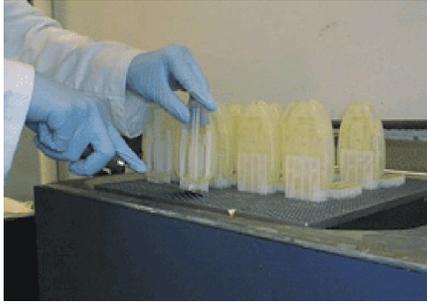


FIGURA 36 - Peças prontas, retiradas da máquina de estereolitografia. Pode-se ver a plataforma em forma de tela, que se movimentava como um pequeno elevador dentro da máquina.

Fonte: www.quatter.com.br



FIGURA 37 - Máquinas de estereolitografia.

Fonte: www.3dsystems.com

Alguns profissionais que já produzem protótipos de jóias aplicam a técnica de Stereolitografia (STL) para produzir modelos em resina. Várias peças podem ser feitas ao mesmo tempo, obedecendo aos limites das dimensões da máquina. Esse método oferece grande precisão de medidas e muita boa qualidade de acabamento da superfície. Esses têm sido fatores determinantes para sua escolha.



FIGURA 38 – Protótipos de jóias produzidos pelo processo de estereolitografia.

Fonte: Imagens gentilmente cedidas pelo Centro de Estudos em Design de Gemas e Jóias da Universidade do Estado de Minas Gerais.

- Modelagem por Deposição de Materiais Fundidos - FDM (*Fused Deposition Modelling*):

O processo de modelagem por deposição de materiais fundidos utiliza materiais termoplásticos diversos (poliéster, polipropileno, ABS, elastômeros, cera, etc.) para a construção dos protótipos. A peça é fabricada através da extrusão de um fio desse material com o uso de uma bomba volumétrica de precisão. Essa bomba, composta por um bico bastante fino, deposita fitetas do termoplástico aquecido sobre uma plataforma resfriada, o que faz com que o mesmo endureça rapidamente. A plataforma se abaixa levemente, dando espaço para a sobreposição da próxima camada de material. Esse processo se repete até a formação do protótipo. Os suportes necessários para partes soltas e suspensas vão sendo construídos com estruturas mais finas, perfuradas ou de um segundo material.

Depois de pronto, o protótipo é retirado da máquina e retira-se o material de suporte utilizando solventes ou aquecimento em estufas para derretimento do mesmo.

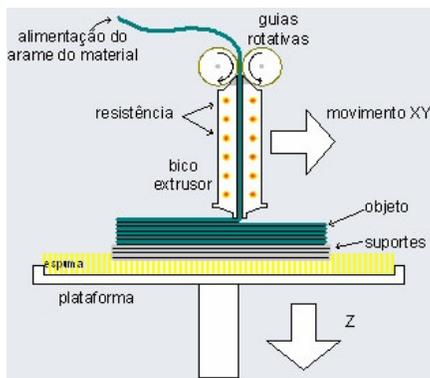


FIGURA 39 - Esquema representativo do processo FDM.
Fonte: www.cimject.ufsc.br



FIGURA 40 – Protótipos produzidos pelo processo FDM.
Fonte: www.interpro-rtc.com



FIGURA 41 - Máquinas de prototipagem por FDM.

Fonte: www.stratasys.com/fdm

- Cura Sólida na Base (SGC, Solid Ground Curing):

O processo de Cura Sólida na Base utiliza resinas fotosensíveis que são curadas com raio laser, para a construção de protótipos. A resina é lançada (borrifada) sobre uma plataforma de construção. Acima dessa plataforma, existe uma placa de vidro na qual é impressa a imagem em negativo da primeira camada de construção do modelo. Acima dessa placa está localizada a fonte de raio laser. A luz ultravioleta incide sobre a placa de vidro, passando apenas através das partes transparentes da imagem impressa e solidificando as partes correspondentes da resina. Após a construção dessa camada, o excesso de resina é sugado por vácuo e outro material menos resistente (cera) é borrifado para servir de suporte para a próxima camada. Essa superfície é nivelada com uma espécie de espátula e outra camada de resina é novamente borrifada para a construção da próxima camada. Esse processo se repete até a finalização do modelo. Depois de pronto, o protótipo é retirado da máquina e retira-se o material de suporte utilizando solventes ou aquecimento em estufas para derretimento do mesmo.

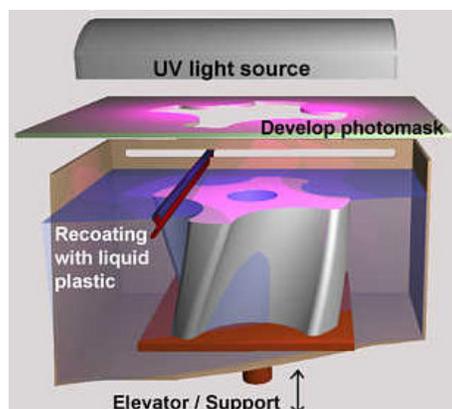


FIGURA 42 - Esquema representativo do processo SGC.

Fonte: www.designinsite.dk



FIGURA 43 - Protótipos construídos pelo processo SGC.
Fonte: www.tomskcad.city.tomsk.net



FIGURA 44 - Máquina de prototipagem por SGC.
Fonte: www.tomskcad.city.tomsk.net

- Manufatura de Objetos em Lâminas – LOM (*Laminated Object Manufacturing*):

Utiliza como matéria prima papel especial, em tiras cobertas de adesivo que vão sendo cortadas a laser e sobrepostas camada a camada, até construir o protótipo. Uma bobina de papel laminado com adesivo que é ativado pelo calor vai sendo desenrolada e encaminhada para uma plataforma coberta por uma base, onde será construído o protótipo. Um rolo aquecido pressiona o papel e o fixa à base. Em seguida o corte é feito por um filete de raio laser de alta precisão. A área extra do papel é cortada quadriculada e serve de suporte durante a construção do modelo, sendo retirada ao final do processo. A plataforma desce, dando espaço para que a próxima folha de papel se sobreponha à camada anterior. O mesmo processo se repete até que o protótipo seja construído.

Ao final, o excesso de material (suporte) é destacado do modelo. Esse processo origina protótipos com textura próxima à madeira e devem ser selados com tinta ou verniz para prevenir contra a umidade. Outros materiais – além do papel – também fabricados em lâminas já estão sendo utilizados para fabricação de protótipos através desse processo.

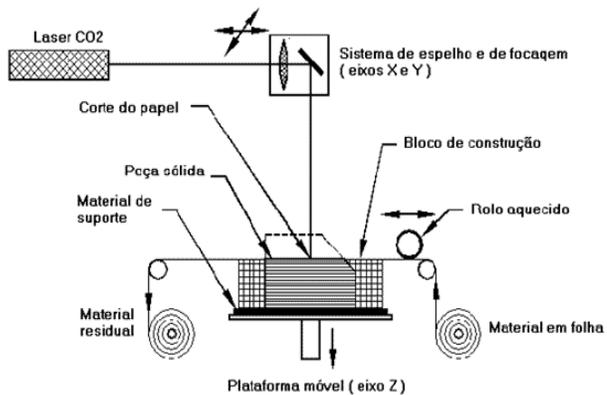


FIGURA 45 - Esquema representativo do processo LOM.
 Fonte: www.cev.pt



FIGURA 46 - Protótipos produzidos pelo processo de LOM.
 Fonte: www.kiracorp.co.jp/kira



FIGURA 47 - Máquinas de prototipagem por LOM.
 Fonte: www.kiracorp.co.jp/kira

- Sinterização Seletiva à Laser – SLS (*Selective Laser Sintering*):

O processo de Sinterização Seletiva à Laser (SLS) permite a fabricação de protótipos em diversos materiais em pó (policarbonato, nylon, cera, elastômero, materiais cerâmicos e metálicos) através da fusão desses materiais utilizando raio laser. Uma fonte de raio laser fica

localizada acima da bandeja onde são construídos os modelos. Ao lado dessa bandeja existem duas outras plataformas móveis que contêm material em pó. Essas plataformas se movimentam para cima trazendo o material em pó para a superfície da bandeja de construção do modelo, enquanto um rolo nivelador passa sobre essa superfície, deixando-a com a espessura necessária para a construção da camada do protótipo. Um filete de raio laser incide sobre essa camada de material em pó, que é fundido pelo calor e se solidifica. A bandeja de construção do modelo é levemente abaixada (altura necessária para a construção de mais uma camada) e é novamente distribuído o material em pó. O laser incide sobre essa superfície, formando mais uma camada sólida. Esse processo é repetido até que o protótipo seja totalmente construído. O pó que não é sinterizado pelo laser serve de suporte para a peça durante sua construção. Ao término do processo, a peça está imersa nesse pó. A plataforma é então erguida e o modelo sólido pode ser retirado. O excedente de pó é retirado com escovas e jato de ar. Dependendo da exigência do produto, pode ser necessário leve acabamento ou polimento.

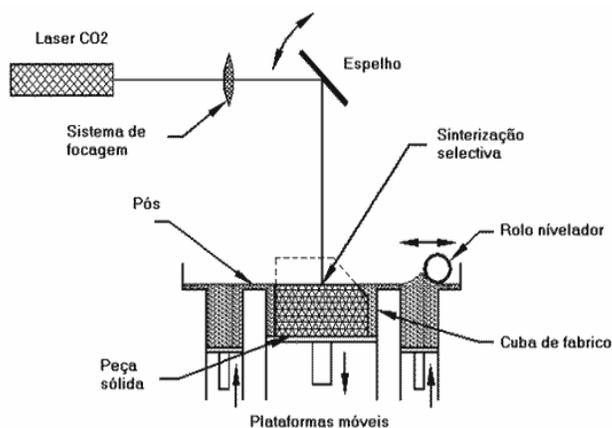


FIGURA 48 – Esquema do Processo de Sinterização Seletiva à Laser (SLS)

Fonte: www.cev.pt



FIGURA 49 - Processo de retirada da peça no processo SLS.

Fonte: www.zcorp.com



FIGURA 50 – Máquina de prototipagem rápida por SLS.
Fonte: www.zcorp.com



FIGURA 51 - Máquina de prototipagem rápida pelo sistema SLS.
Fonte: www.3dsystems.com

- Impressão Tridimensional – MJM (*Multi Jet Modeling*):

O processo MJM se baseia na tecnologia de impressão à jato de tinta. Existem várias máquinas que utilizam essa técnica (com nomes diversos) para construção de protótipos. Nesse processo, um cabeçote de impressão fica situado acima de uma bandeja contendo material em pó. Esse cabeçote expelle um jato - similar ao processo de impressão - de um produto que tem a propriedade de fundir e aglomerar o material em pó. Como nos demais processos, camada a camada esse processo é repetido até que se forme o protótipo.

Após o término da confecção do modelo, o mesmo é retirado da máquina envolto de material de suporte. O modelo é então levado a uma estufa onde é aquecido para que o material de suporte (que tem baixo ponto de fusão) derreta. As peças são então retiradas prontas da estufa.

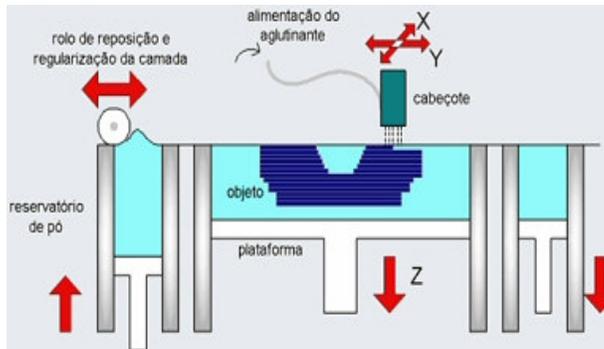


FIGURA 52 – Esquema representativo do processo de impressão tridimensional.
 Fonte: www.cimject.ufsc.br



FIGURA 53 – Protótipo construído pelo sistema de impressão tridimensional. À esquerda modelo coberto com material de suporte. À direita modelo pronto, após retirada da estufa.
 Fonte: www.3dsystems.com



FIGURA 54 – Máquina de prototipagem por impressão tridimensional (à esquerda) e estufa para retirada do material de suporte e cura dos modelos (à direita).
 Fonte: www.3dsystems.com



FIGURA 55 – Seqüência de produção de modelos de jóias usando sistema de impressão tridimensional. À esquerda, modelos cobertos com material de suporte. Ao centro modelo acabado. À direita árvore montada para produção em série.

Fonte: www.3dsystems.com



FIGURA 56 – Protótipos em resina termoplástica, confeccionados por impressão tridimensional.

Fonte: www.solid-scape.com

- Conformação Próxima ao Formato Final via Laser – LENS (*Laser Engineered Net Shaping*):

Essa técnica possibilita a construção de protótipos em metais densos (aço inoxidável, cobre, alumínio, titânio e outros metais). O metal é depositado em micropartículas, através de um filete de raio laser de grande potência que funde o pó metálico. Essas partículas vão sendo depositadas sobre uma plataforma com movimentos coordenados, onde será construída a peça. Como a solidificação do metal é feita em partículas minúsculas, esse processo confere às peças metálicas uma resistência ainda maior que aquelas produzidas pelos métodos de usinagem ou fundição.

Os processos convencionais para fabricação de protótipos em metal ainda são mais baratos que a prototipagem. No entanto, essa técnica deverá sofrer avanços e seus custos poderão se tornar mais viáveis.

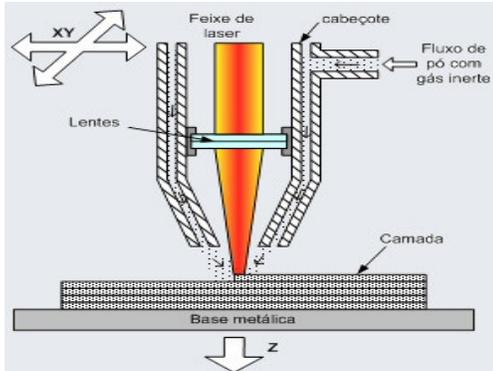


FIGURA 57 - Esquema representativo do sistema LENS.
 Fonte: www.cimject.ufsc.br

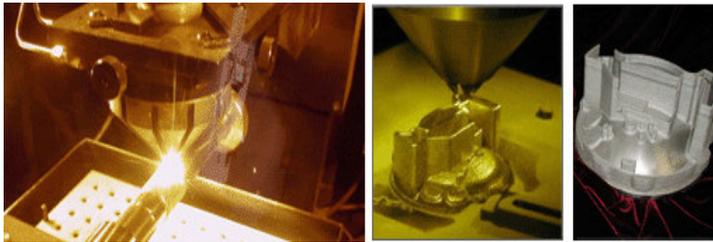


FIGURA 58 - Etapas de funcionamento do sistema LENS.
 Fonte: www.optomec.com



FIGURA 59 – Máquina de prototipagem pelo sistema LENS.
 Fonte: www.mcp-group.com

- MEIKO: Sistema desenvolvido para aplicação na indústria joalheira

Esse sistema, específico para a indústria joalheira, foi desenvolvido pela empresa japonesa Meiko Co. Ltd. (juntamente com a Yamanashiken-Industrial Technical Center) por volta dos

anos 1990. O sistema utilizado parte da solidificação à laser de resina foto-sensível, similar à estereolitografia.

Considerando os tamanhos reduzidos das jóias em relação a produtos de outras indústrias, a máquina Meiko modelo LC-510 (figura) foi criada para desenvolver pequenos protótipos em resina. Através da adaptação do sistema e eliminação de propriedades desnecessárias, pôde-se reduzir os custos em relação às máquinas de estereolitografia tradicionais. Entretanto, atualmente outras empresas já apresentam soluções e tecnologias bastante variadas e com custo reduzido na confecção de protótipos em tamanhos menores e com grande precisão, que podem têm sido adaptados para joalheria com excelentes resultados.

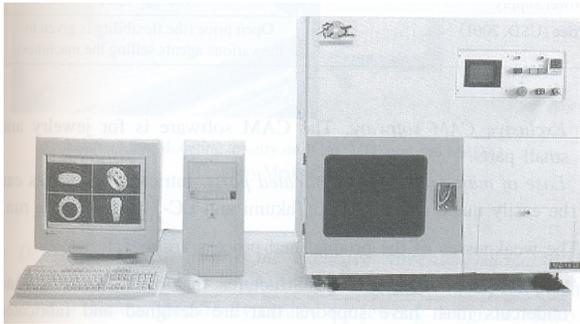


FIGURA 60 - LC-510 optical modeling and CAD system - Meiko Co.Ltd.
Fonte: Chua, 2003.

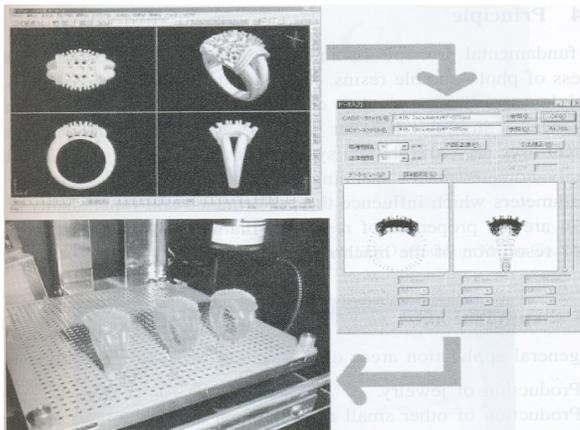


FIGURA 61 - Modeling jewelry on JCAD/Takumi and Meiko
Fonte: Chua, 2003.

- CAPÍTULO 6 -

APLICAÇÃO DE CAD/CAM NO SETOR JOALHEIRO

“ boa parte das transformações no mundo do design se beneficiou de recentes e significativos avanços na tecnologia. As obras de Frank Gehry (arquiteto reconhecido pela inovação de suas obras) só estão de pé graças à utilização do Catia, um software (CAD) destinado à construção de aeronaves militares que o arquiteto adaptou para criar suas curvas e ondulações. De outra forma, os calculistas levariam anos para projetar cada um de seus prédios.”

Daniela Carelli

6.1 Como os sistemas informatizados interferem no processo de desenvolvimento de produtos

Assim como vêm beneficiando há vários anos outros setores industriais, os sistemas CAD/CAM representam potenciais benefícios para melhorar a interface crítica de comunicação entre as etapas de projeto e produção do setor joalheiro. As possibilidades de melhorias nos níveis de qualidade do produto final fazem com que indústrias joalheiras de vários países também venham implementando essas tecnologias em seus processos de produção.

A indústria joalheira em Singapura sempre foi desafiada com problemas de deficiência no trabalho (...). Essa indústria era tradicionalmente reconhecida como de base artesanal e automação geralmente restrita ao uso de máquinas em vários estágios da produção joalheira. O desenvolvimento de sistemas de auxílio ao design de jóias usando (SLA) prototipagem rápida (...) reduz as dificuldades frente para a produção joalheira em desenho de jóias, artesanato e cravação de pedras.” (LEONG, 1998) (tradução nossa)⁷

A utilização de recursos informatizados CAD/CAM no setor joalheiro vem se adequar à necessidade de integração entre as etapas de projeto e produção. O uso do CAD durante as etapas iniciais do desenvolvimento permite melhor avaliação do produto, gerando melhores

⁷ Texto original no idioma inglês

resultados durante todo o processo. O uso do CAD associado a um sistema CAM permite que as parcelas iniciais que compõe o ciclo de vida do produto possam ser totalmente integradas.

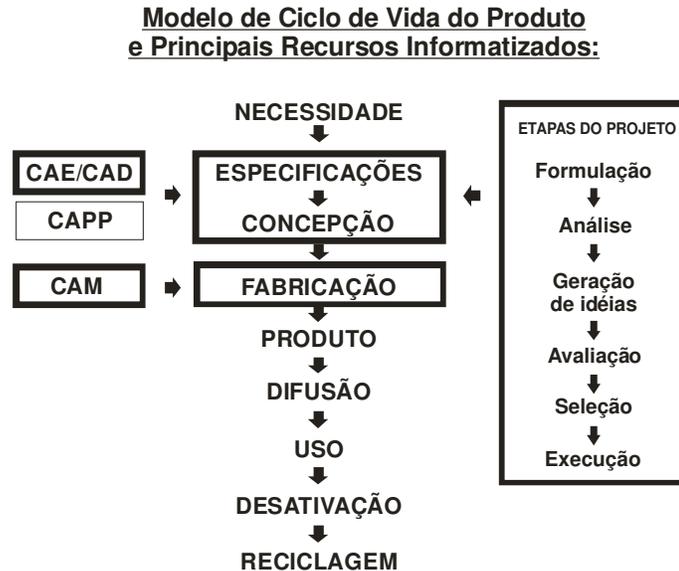


FIGURA 62 - Modelo de Ciclo de Vida do Produto e Principais Recursos Informatizados. Fonte: Adaptado de Romeiro, 1997.

Essa integração das etapas iniciais (concepção / fabricação do modelo) vem provocar importantes mudanças na atuação dos profissionais envolvidos nessas etapas. No setor joalheiro, a fase inicial da fabricação - a etapa de produção do primeiro modelo - é “engolida” pela etapa de projeto, dispensando o trabalho de modelagem manual da peça.

A implantação do CAD tem provocado alterações relevantes nos processos de trabalho na atividade de projeto, bem como a eliminação ou redução de diversas etapas deste processo, levando à progressiva modificação de algumas funções e ao desaparecimento de outras. (...) Estas modificações são causadas (...) pela automação de determinadas tarefas como a execução de desenhos e confecção de cópias. (ROMEIRO, 1997).

A figura abaixo ilustra as etapas do processo convencional de produção e do processo utilizando sistemas informatizados:

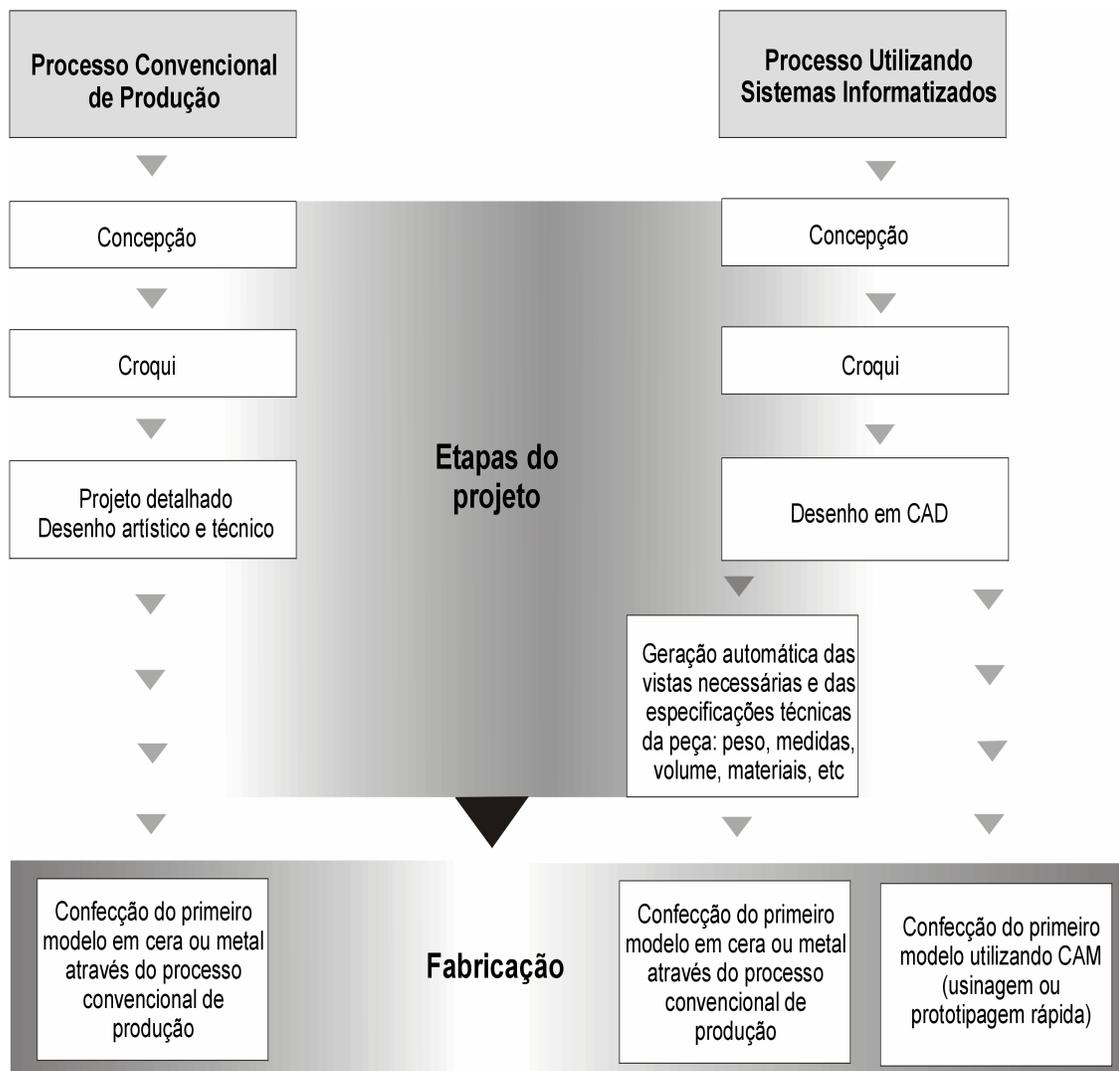


FIGURA 63 - Fluxograma Processo convencional de produção X Processo utilizando sistemas informatizados. Fonte: elaborado pela autora.

A utilização de sistemas CAD/CAM provoca mudanças sobretudo nos métodos de trabalho utilizados pelos designers de jóias. No processo convencional - utilizando desenho em papel - os problemas relacionados à inviabilidade, encaixes mal feitos, volumes mal calculados, etc. são tolerados. Embora tragam problemas futuros para a produção - como já foi visto - é possível que o designer desenvolva seu projeto ignorando muitos fatores técnicos relacionados à peça. Com o uso do CAD, isso não é possível. O desenho é construído tridimensionalmente, a partir de medidas exatas que devem se encaixar - se alguma incompatibilidade é detectada durante o processo, o próprio software acusa o problema, o que já reduz grande parte dos problemas existentes nos projetos bidimensionais.

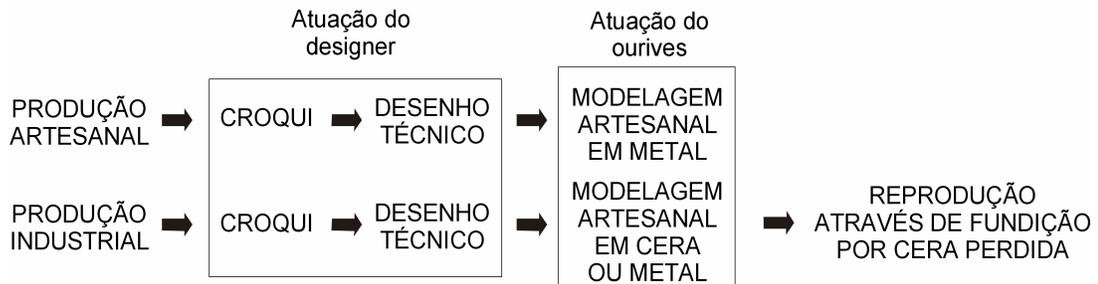
Depois do projeto finalizado em CAD, é possível prosseguir a produção utilizando o processo convencional ou um dos processos automatizados (sistemas CAM). Se o processo escolhido for o convencional, o CAD gerará automaticamente todas as informações técnicas da peça, poderão ser impressas as diferentes vistas e todo o detalhamento necessário à produção. Considerando a produção do modelo através de processos automatizados, estaremos “queimando” uma etapa do processo de produção. Nesse caso, o designer estará absorvendo as funções do ourives modelista e se tornando responsável pelas informações que serão repassadas para a produção, o que lhe acarreta, na prática, a responsabilidade de considerar muitos elementos técnicos - até então ignorados - necessários à execução do projeto. As peças devem se encaixar perfeitamente, seu volume e espessura devem estar de acordo com o peso ideal da peça, etc.

A integração de processos, em especial através de sistemas informatizados como o CAD trazem modificações importantes para o designer, seja em seus limites de atuação, que tornam-se cada vez mais amplos, como também para o conjunto de competências necessárias à execução de seu trabalho, que tornam-se cada vez mais diferenciadas. (ROMEIRO, 1997).

O esquema a seguir mostra essas mudanças na atuação dos designers de jóias, a partir da implantação de sistemas CAD/CAM:

Processos de Produção Convencionais

Atuação do designer restrita à concepção e representação.
Problemas de interface entre as etapas de criação e execução.
Falta de controle sobre os resultados.



Processo de Produção Auxiliada por CAD

Atuação do designer com visão ampla do processo produtivo.
Geração de informações durante a fase de concepção.
Integração e maior controle dos processos garantindo resultados fiéis ao projeto.

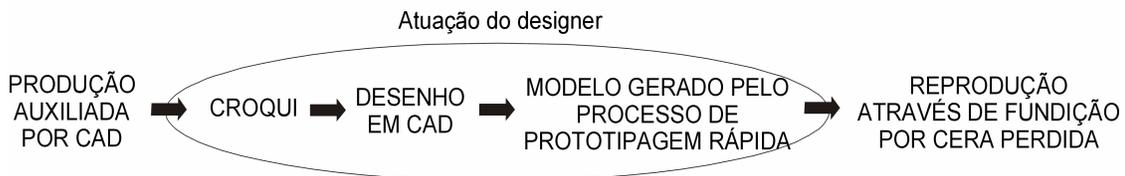


FIGURA 64 - Funções do designer no processo convencional X processo auxiliado por CAD
Fonte: elaborado pela autora.

Que a inserção de sistemas CAD/CAM pode beneficiar a integração entre as etapas de projeto e produção do setor joalheiro parece bastante claro. No entanto, o contexto e as especificidades de cada setor industrial interferem diretamente nas decisões que envolvem sua implementação - tanto durante a avaliação de suas vantagens quanto dos obstáculos à sua utilização - e também na forma como esses sistemas são utilizados.

6.1.1 Vantagens da utilização

A princípio, a utilização do CAD para o desenvolvimento de projetos pode ser questionada em relação aos desenhos convencionais, pois o sistema requer um nível de detalhamento maior, o que pode requerer maior tempo no projeto inicial. No entanto, a eliminação de erros

durante as etapas seguintes, gerados a partir das melhores condições de avaliação do projeto, gera economia de custo e tempo, o que em muito justifica o aprendizado e utilização desses sistemas durante o desenvolvimento do produto.

Além disso, com domínio do software, o tempo necessário para desenhar pode ser reduzido significativamente em relação ao processo convencional.

Uma companhia americana observou, segundo Besant⁸ *apud* Romeiro (op.cit) que “no processo tradicional de desenho 95% do tempo do projetista é utilizado na busca de informações, enquanto os 5% restantes nas atividades de decisão aplicadas ao desenho propriamente dito. A partir da introdução do CAD, a maior parte do trabalho rotineiro de busca de informações é eliminado, intensificando o processo de tomada de decisão em mais de 1.900%, tornando a carga cognitiva sobre o usuário muitas vezes maior.” Embora estes números possam ser discutidos, é inegável que o CAD apresenta características próprias de utilização, que interferem em todo o processo de trabalho em projeto.

A visualização em 3D contribui para que se eliminem as dúvidas que poderiam surgir no caso do desenho em papel e facilita a troca de idéias e informações entre os participantes do desenvolvimento e das etapas posteriores. As características da peça podem ser facilmente visualizadas e avaliadas durante a etapa de concepção, evitando interpretações equivocadas, conferindo melhor qualidade ao projeto e minimizando consideravelmente as possibilidades de ocorrerem erros futuros.

Para avaliar o design e a aparência final do modelo, são acrescentados detalhes e pedras preciosas e pode-se então, através da técnica de “rendering”, “vestir” o modelo com material apropriado como ouro ou prata. Esta operação permite a simulação de uma jóia como se ela fosse real. Muitas versões de um modelo com cores e formas diferentes podem ser obtidos sem ter que desenhar várias vezes ou fabricar nenhuma delas.

O CAD contribui significativamente para a produção de grande quantidade de desenhos para avaliação do acabamento das peças. No processo convencional de desenho, cada possibilidade requer um novo desenho. Com a técnica de rendering, pode-se visualizar a mesma peça confeccionada em várias cores de metal, tipos de acabamento e pedras distintas. Isso elimina a necessidade de confeccionar várias peças ou fazer vários desenhos para avaliar os resultados.

⁸ BESANT 1988

Também por essas facilidades, é possível corrigir e fazer alterações em projetos sem que seja necessária a construção de um novo modelo. O modelo virtual pode ser modificado muitas vezes sem alteração de custo ou de tempo na fabricação.

Da mesma forma, além dos profissionais envolvidos, o consumidor final também pode examinar o modelo tridimensional e optar por mudanças antes de sua produção. Esse benefício pode representar grande economia de custos com investimentos em trabalho e estoques desnecessários. Esse fator também pode gerar maior satisfação dos consumidores através da adequação da peça individualmente. Para atender consumidores cada vez mais exigentes, as empresas buscam personalizar os produtos através de recursos como regulagens, opções de modelos e cores, personalizações através de softwares, etc. Em alguns segmentos como a joalheria, cujos produtos têm forte apelo estético, a diferenciação dos produtos pode ocorrer num nível cada vez mais alto permitindo uma personalização dos mesmos como forma de manter o mercado.

O mercado mundial encontra-se, a grosso modo, esgotado em muitas áreas, e os consumidores estão cada vez mais sensíveis à questões como qualidade dos produtos e serviços, em detrimento de aspectos ligados diretamente a preços e níveis de oferta. As formas de produção, segundo Lorini (1993)⁹, evoluem para uma contínua redução dos lotes de fabricação, como forma de diferenciação dos produtos e com objetivo de manutenção do mercado. (ROMEIRO, op.cit)

O CAD também oferece grandes benefícios em projetos de peças que requerem um alto nível de precisão de medidas. Pode-se avaliar previamente mecanismos de encaixe e fixação dos modelos com uma precisão impossível de ser atingida pelo processo convencional. Principalmente considerando a complexidade geométrica das jóias, visto a grande variedade de formas no design joalheiro, essa característica possibilita que as peças sejam testadas e confeccionadas considerando seus aspectos funcionais.

Também na repetição de componentes de peças ou itens, o CAD apresenta vantagens. É possível arquivar os desenhos desses componentes e reutiliza-los em outras peças. Podem ser criados arquivos de itens comuns como tarrachas, fechos, elos, pedras, etc. Dessa forma, esse desenho pode ser reutilizado, todo ou em parte, para um novo projeto. Alguns softwares CAD trazem bibliotecas de formas básicas utilizadas em joalheria e também peças prontas, que podem ser utilizados como estão ou modificados de acordo com o projeto. Todos os

⁹ LORINI, F.J., 1993. *Tecnologia de Grupo e Organização da Manufatura*. Florianópolis: Editora da UFSC.

benefícios obtidos com o uso do CAD podem ser ainda mais aproveitados quando utilizamos técnicas de prototipagem rápida ou usinagem na confecção dos modelos.

Caso se opte pela confecção artesanal, o modelo e suas diferentes versões podem ser impressos. Todos os dados necessários à produção são automaticamente gerados pelo CAD, evitando falhas na interpretação do projeto. Podem ser obtidas e impressas todas as vistas da peça, incluindo suas dimensões, volume, diâmetro, etc.

No entanto, como já foi visto, o processo convencional de confecção de modelos de jóias apresenta limitações relacionadas ao próprio processo artesanal. Portanto, é desejável que o CAD seja utilizado juntamente com um sistema CAM. Através da utilização de processos automatizados, atinge-se um nível de precisão na execução que não seria atingido artesanalmente. Os modelos produzidos são fiéis ao desenho em CAD, eliminando problemas inesperados. Além disso, o primeiro modelo da jóia servirá de base para todo o processo de produção seguinte. Quando obtemos um primeiro modelo perfeito, eliminamos vários problemas nas etapas seguintes, até o produto final. A utilização do CAM na produção do primeiro modelo elimina uma das etapas críticas do processo de produção joalheira.

Além de pular etapas, agilizando a produção de jóias, (...) a automatização da prototipagem aumenta a precisão dos protótipos. A máquina permite, por exemplo, reproduzir matematicamente a distribuição de mais de 100 diamantes em um anel exatamente como foi desenhado no computador, com tamanhos e distâncias iguais. Coisa que um artesão não conseguiria fazer com a mesma precisão. (...)

Os softwares de modelagem 3D e as tecnologias de prototipagem rápida vêm complementar a automatização da indústria joalheira que já conta com máquinas para executar tarefas de fundição, calcinação, polimento, entre outras. (MOREIRA, ----)

GOMES (2005) cita entre os benefícios do sistemas CAD/CAM:

- “- redução no prazo de projeto;
- maior facilidade para realizar modificações;
- redução de subcontratações para atender cronogramas;
- diminuição do número de erros de transcrição de desenhos;
- melhor análise de desempenho para reduzir teste de protótipos;
- auxílio na preparação de documentos;
- maior padronização de projetos;

- aumento da produtividade em projeto de ferramenta;
- fornece melhor conhecimento dos custos;
- reduz tempo de treinamento para tarefas de rotina em desenho e programação de controle numérico;
- torna o gerenciamento do pessoal de projeto mais efetivo;
- auxilia na inspeção de peças complicadas.”

As facilidades na troca de informações durante o projeto também trazem benefícios consideráveis em relação aos níveis de aprendizado gerado para os envolvidos, uma vez que ocorre uma maior circulação de informações e interação entre os mesmos. Esses conhecimentos geram *Know-how* para a empresa, evitando que situações e erros já discutidos sejam repetidos em projetos futuros e colaborando para que as experiências positivas anteriores possam gerar soluções mais objetivas.

Coutinho (1994) aponta como uma das conseqüências do processo de intensa implementação de tecnologias computadorizadas nas indústrias os “novos métodos de P&D em que os sistemas de base eletrônica cumprem importantes papéis na aceleração da geração de novos conhecimentos, na aquisição de conhecimentos existentes e no desenvolvimento de novas configurações.”

6.1.2 - Desafios relacionados à implementação de sistemas CAD/CAM no setor joalheiro

Os vários fatores citados poderiam induzir uma rápida difusão desta técnica entre as indústrias de jóias, mas existem questões que impedem que esse processo aconteça de forma tão acelerada. Os principais obstáculos se relacionam ao aprendizado, a questões relacionadas à organização e aos métodos de trabalho nas empresas e às dificuldades na escolha das ferramentas adequadas e na avaliação de seu custo x benefício.

6.1.2.1 – Fatores relacionados ao aprendizado

A utilização de ferramentas CAD/CAM no setor joalheiro exige, antes de tudo, que os profissionais se capacitem para essa função. É necessário que os designers se disponham a aprender essa nova técnica de representação, totalmente diferente dos processos manuais de

desenho. Considerando que o processo de implementação do CAD dentro das empresas joalheiras já foi iniciado, os profissionais devem se capacitar o quanto antes, sob a pena de não se adaptarem à nova demanda das empresas e do mercado em geral.

Nagel, in Bonfim¹⁰ *apud* ROMEIRO (1993) cita que:

Antigamente o que se aprendia podia ser aplicado por toda a vida profissional. Hoje, nosso trabalho exige sempre novos conhecimentos. No início da formação acadêmica, provavelmente também tivemos dificuldades em aprender a utilizar um esquadro para, por exemplo, desenhar um objeto em perspectiva. Não se trata apenas de aprender a produzir boas representações gráficas, mas, por exemplo, de aplicar essas novas técnicas que a computação oferece também na produção de objetos. A contribuição do computador vai além da fase de representação gráfica.

A resistência inicial aos novos sistemas, que a princípio podem parecer mais demorados e complexos, fazem com que os usuários tendam a voltar para seus antigos métodos de trabalho. A diferença de idioma na maior parte dos sistemas de ajuda dos softwares também é um dificultador na interface de comunicação e no aprendizado.

O uso do computador pelos designers ainda é incipiente por causa da pouca disponibilidade de softwares e da resistência de muitos designers que ainda preferem criar à mão, inclusive em grandes empresas. (...) alguns designers têm uma relação quase afetiva com o papel. Independente dos pontos de vista a favor ou contra, a realidade é que quem já automatizou o processo de criação só vê vantagens (MOREIRA, ----)

A sub-utilização e desconhecimento do potencial dos sistemas são, em muitos casos os principais motivos de resistência dos usuários. A falta de domínio sobre a técnica é, não só no setor joalheiro mas em qualquer atividade, um empecilho à execução do trabalho.

No que se refere ao mistério que o computador ainda representa para muitos usuários que desconhecem como o computador pode efetivamente auxiliá-los na realização de suas tarefas, Romeiro (1997) o considera como sendo um tipo de “ignorância bastante clara em diversos níveis profissionais, desde usuários comuns até a alta administração da maioria das organizações”:

¹⁰ BONFIM, G.A. A Tecnologia Irreversível. Entrevista de NAGEL, K.D. in *Design & Interiores. Revista Brasileira de Desenho Industrial, Comunicação Visual e Arquitetura de Interiores*. n. 10, set/out 1988. projeto Editores Associados, São Paulo, pp.97-102.

Esta ignorância generalizada representa talvez o mais sério obstáculo para o sucesso em um processo de informatização, devido às inerentes diferenças existentes entre processos de trabalho correspondentes, antes e depois da informática. Grande parte do Know-how adquirido é abandonado, bem como as formas de manipulação da informação e do trabalho, que sofrem uma radical transformação.

O mesmo autor faz uma importante colocação a respeito da construção do conhecimento necessário para o domínio do uso de sistemas CAD:

Diversos livros de desenho técnico dedicam capítulos importantes à escolha, preparo e manejo dos materiais como lápis, esquadros, compassos, tira-linhas, etc. Pode-se dizer que este tipo de conhecimento está sendo substituído pela necessidade de domínio da tecnologia informática e dos diferentes programas utilizados. Deve-se levar em consideração que o tempo necessário ao efetivo domínio destas novas tecnologias possui relação com o domínio da antiga interface, a do lápis. Ora, se um curso de desenho técnico poderia levar anos para tornar plenamente habilitado um projetista, por que esperar que com a informática este processo seja mais rápido?

Embora ainda sejam poucos os profissionais que começam a buscar conhecimentos sobre a utilização do CAD, essa situação tende a mudar na medida em que os empresários comecem a considerar os benefícios trazidos aos processos produtivos e a implementarem efetivamente essas tecnologias nas indústrias.

Apesar das vantagens apresentadas apontarem a tendência de crescente utilização desses sistemas na indústria joalheira, o projeto em CAD não dispensa a etapa de concepção e também do desenho de um croqui inicial. É importante distinguir entre o conhecimento projetual e o domínio sobre uma nova tecnologia, ou seja, não significa que o CAD dispense um bom projeto.

Um computador não cria, a qualidade da solução depende sempre do designer e estou convencido de que no futuro também será assim. Só que, se antes algumas tarefas eram deixadas de lado por falta de tempo ou pelo seu custo, hoje, através da computação, elas podem ser realizadas (...) Não há nenhum programa que traga qualquer contribuição ao designer, além daquela de ser um instrumento de trabalho mais versátil, que pode economizar tempo. Não estamos ainda em situação em que determinadas fases do projeto possam ser facilitadas através da computação. Ela é sempre ainda um mero instrumento de trabalho. Tanto quanto antes é preciso definir características e só então há sentido em utilizar o computador. (Nagel¹¹ *apud* ROMEIRO, 1993)

Além das melhorias obtidas nos aspectos técnicos do projeto, os sistemas CAD/CAM representam uma importante forma de monitorar projetos, mas isso não significa que essas ferramentas representem uma solução para os problemas de troca de informações nas empresas. Antes da implantação desses sistemas é preciso que a empresa seja preparada para sua utilização plena. O problema de comunicação que ocorre entre os designers e ourives não se relaciona apenas aos meios utilizados para a troca de informações – nesse caso as deficiências no processo de representação – mas também na insuficiência de informações ou inviabilidade do projeto, que acontece pelo desconhecimento do processo produtivo. Nesse caso, não seria suficiente que mudássemos apenas os métodos de representação, introduzindo novas tecnologias, se o designer não adquirir informações dos outros setores – entre eles a produção – para a adequação do projeto aos seus objetivos.

Deve-se levar em consideração que o CAD, assim como qualquer sistema informatizado, não é por si só elemento de melhoria de qualquer solução, mas simplesmente multiplicador da solução existente. Se esta é inadequada e apresenta deficiências, a implantação de sistemas de informação apenas servirá para trazer à tona uma série de problemas antes (mais facilmente) escamoteados.

(...) A engenharia simultânea deve ser vista muito mais como uma metodologia gerencial e de projeto do que um conjunto de ferramentas tecnológicas. Pode-se afirmar, de qualquer forma, que este método é mais adequado às novas ferramentas informatizadas do que os métodos tradicionais (sequenciais) de desenvolvimento de projetos, embora sua aplicação não esteja de forma alguma condicionada à utilização da informática. ROMEIRO (1999)

6.1.2.2 Fatores relacionados à organização e métodos de trabalho

A boa utilização do CAD requer mudanças nos princípios de gestão da empresa, que interferem diretamente na forma como o trabalho é organizado e como ocorre a transferência

¹¹ NAGEL, K.D. A Tecnologia Irreversível. Entrevista a BONFIM, G.A. in *Design & Interiores. Revista Brasileira de Desenho Industrial, Comunicação Visual e Arquitetura de Interiores*. n. 10, set/out 1988. projeto Editores Associados, São Paulo, pp.97-102.

de informações e tarefas entre os vários setores. Essa é a mais difícil mudança a ser feita, porque envolve, além da estrutura física (implementação de softwares e equipamentos), a mudança de cultura na empresa.

Questões como organização do trabalho, execução de tarefas e competências adquiridas não podem desta maneira ser analisadas de forma consistente se não forem levados em consideração aspectos da cultura de cada empresa. Parece claro que esta cultura própria interfere de forma mais ou menos intensa, mas de maneira sempre marcante nas organizações e na vida das pessoas que as formam. (ROMEIRO, 1997)

A própria história da indústria joalheira, marcada pelo processo de produção essencialmente artesanal, contribuiu para que a estrutura administrativa das empresas se constituísse como é atualmente. No setor joalheiro, a maior parte das empresas é familiar. Esse fato foi fortemente influenciado pela centralização do conhecimento acerca dos métodos de trabalho, que foi sendo passado de pai para filho (o que nos remete aos mestres artesãos, que passavam seus conhecimentos para seu aprendiz). Atualmente, essas empresas ainda conservam posturas conservadoras na gestão das mesmas, com o poder de decisão centralizado entre os membros da família, muitas vezes em detrimento à profissionalização da empresa.

As várias formas de imperialismo também cooperaram para a manutenção do rigor do sistema hierárquico nas empresas brasileiras. A escravidão, os latifúndios e toda a história de domínio e concentração de poder deixaram resquícios culturais que ainda não foram rompidos. O fato de as empresas brasileiras terem ficado muito tempo submetidas ao mercado fechado também não estimulou o desenvolvimento comercial e industrial do país, fazendo com que as empresas mantivessem por muito tempo sistemas organizacionais ultrapassados.

Pode-se dizer que até a década de 70, a predominância das estruturas de decisão e comunicação era hierárquica e piramidal e, as tarefas administrativas consistia principalmente do binômio planejamento e controle. Entretanto, a dinâmica econômica e produtiva tem exigido outras formas de organização para desenvolvimento de produto devido à evolução acelerada da tecnologia e da informática. As formas de integração, tanto a nível inter-organizacional como inter-funcional dentro de uma empresa, tem sido colocadas como possíveis soluções. (CHENG, 2000)

O tamanho das empresas e a complexidade do produto influenciam diretamente na forma com que as mesmas organizam o trabalho. Em geral, quanto maior a empresa e mais complexos os

processos, maior é o número de procedimentos necessários para efetivar a comunicação e o desenvolvimento do trabalho. Assim, maior é a tendência de que a empresa se burocratize e mais difícil se torna o processo de mudança dos processos de trabalho. Nas empresas menores, a proximidade entre os setores facilita a troca de informações entre os profissionais e a formação de equipes de projeto.

Uma empresa cujos padrões de comunicação sejam pautados por procedimentos calcados pela hierarquia representa um obstáculo em potencial para o desenvolvimento do projeto. (...)

A formação de uma pequena equipe de projeto apresenta a inegável vantagem da circulação das informações de forma praticamente imediata.(...) Esta solução, entretanto, apresenta seus limites tendo em vista a abrangência tecnológica do produto. (ROMEIRO, 1997)

No setor joalheiro algumas empresas apresentam uma estrutura bastante formal, composta de setores e procedimentos nitidamente separados. Essa realidade, em empresas maiores é bastante comum por motivos claros de administração e controle de tarefas. Já nas empresas menores, essa estrutura separada se deve mais à falta de questionamento sobre as melhores soluções e métodos de trabalho do que à estrutura física propriamente dita, uma vez que a baixa complexidade do produto e processos, e o número de profissionais reduzido, deveriam facilitar a adoção de novos métodos com sucesso, de maneira mais informal.

Teixeira (2002) constatou em sua pesquisa duas tendências nas empresas joalheiras estudadas, na forma de conceber e desenvolver seus produtos:

(...) a primeira tende a ser sequencial e formalizada, e a segunda cooperante e integrada. Na primeira, a concepção é departamentalizada e os dois principais momentos, criação e desenvolvimento, são bem definidos e o projeto tradicional se destaca como a linguagem comum que liga as duas etapas. (...) Na empresa onde a concepção tende a ser integrada, desde a fase inicial do processo, quando são passados os dados que vão compor o briefing do produto, há uma integração entre as áreas e os atores, inclusive e particularmente os executivos e designers.(...) Aqui a diferença está na participação do grupo, enquanto na concepção departamentalizada é comum a decisão isolada.

Nas empresas mais departamentalizadas, a produção é desenvolvida pelo processo linear de trabalho - ao término de uma etapa, o trabalho é passado adiante, sem que haja integração entre os envolvidos durante diferentes fases da produção. As tarefas são definidas claramente, com cronogramas a serem cumpridos. Cada etapa (croquis, desenhos técnicos, pedidos e

envio para a indústria, etc.) é controlada através de formulários que especificam os materiais e processos, assim como identificação dos prazos. Esse processo requer que o projeto tenha um alto nível de detalhamento. Mas, por mais informações que contenha, experiências mostram que as informações contidas no papel ainda não garantem que o projeto funcione. O designer trabalha isolado da produção e, normalmente, sua comunicação com outros setores acontece apenas quando o erro já ocorreu. Assim, as alterações são feitas durante o processo de produção.

Em empresas menos departamentalizadas, em que os profissionais têm acesso ao trabalho de outros setores e os profissionais de design têm, durante o desenvolvimento do projeto, como discutir e chegar a melhores soluções durante o desenvolvimento do projeto, evitando que erros futuros aconteçam. À medida em que o projeto vai sendo compartilhado de um profissional ou setor para outro, melhores soluções são propostas, contribuindo com diferentes visões para a adequação do projeto à produção.

Desta forma, são obtidos outros benefícios, relacionados à construção do conhecimento coletivo na empresa. A partir do compartilhamento de informações, todos os profissionais têm seu conhecimento ampliado.

O pressuposto básico é que fatores de ordem macro, meso e micro estão exigindo novos posicionamentos estratégicos das empresas, que esse reposicionamento implica na formação de sistemas de empresas que buscam a eficiência coletiva e que isso implica em novas formas de divisão do trabalho, agora pensados a partir de critérios de complementaridade. (FLEURY, 1999)

Nas decisões de projeto com a participação de equipes, as soluções partem da negociação entre profissionais de várias disciplinas, com visões diferentes a respeito do mesmo objeto. A solução vem de uma ponderação entre esses diferentes pontos de vista, colocados através de argumentações em reuniões. Desta forma, distinguindo assuntos e promovendo uma avaliação direcionada para cada disciplina, para só depois tomar decisões baseadas em ponderações acerca dessas avaliações, podem ser gerados resultados mais satisfatórios nos processos de decisão de projetos como também contribuir para a inovação dos processos utilizados.

A quantidade de especificações também é bastante reduzida quando os profissionais trabalham próximos e já discutiram o projeto durante a concepção.

No que diz respeito à relação concepção/execução (de jóias), Noguchi (2003) cita que:

Atualmente o controle do processo de execução da jóia é do ourives artesão. Ele tem autonomia nas decisões sobre o modo de executar, o domínio da técnica, do ferramental... Já o designer detém o controle na fase de concepção, definindo objetivos, características e especificações da peça. A ausência de um trabalho integrado entre estes profissionais gera conflitos e dificuldades, que contribuem para o surgimento de problemas de qualidade no produto final.

Para solução dos problemas de qualidade das jóias é imprescindível que este domínio das respectivas áreas de atuação seja exercido em uma relação de parceria, visando o melhor resultado final.

O envolvimento dos responsáveis por cada etapa do processo de concepção/execução é fundamental para o sucesso da produção e da melhoria da qualidade. A redução das diferenças entre as funções de concepção e execução facilita a integração entre os membros da equipe, pois cria um processo mais adequado à participação.

A comunicação é fator importante entre as partes pois, sem uma linguagem clara, eficiente e definida entre o designer e o ourives, os objetivos referentes à qualidade do produto não são alcançados.

6.1.2.3 – Dificuldades na escolha de ferramentas (softwares e equipamentos) adequadas / avaliação de custos X benefícios

Outra questão fundamental - que pode representar um obstáculo na adoção de sistemas informatizados no setor joalheiro - é a escolha da ferramenta adequada para cada situação de trabalho. Muitos softwares CAD, assim como máquinas de usinagem e prototipagem estão disponíveis no mercado. Porém, o desconhecimento da configuração ideal para hardware e software acaba por levar a escolhas equivocadas e à sua sub-utilização.

Para agravar essa situação, a maioria dos fabricantes desses sistemas e equipamentos está localizada fora do Brasil. Assim, os serviços de apoio ao usuário são precários e existem as barreiras referentes ao idioma, que acabam por prejudicar ainda mais os esclarecimentos e adequação às necessidades do usuário. Além disso, a divulgação e distribuição dos mesmos estão sujeitas ao poder de mercado que a empresa fabricante possui, o que acaba interferindo na escolha do sistema utilizado. Algumas vezes a empresa opta por um software não totalmente adequado à suas necessidades por questões que envolvem compatibilidade, etc.

Já existem várias empresas prestadoras de serviços de prototipagem e usinagem no Brasil, que trabalham para vários tipos de indústria, e aos poucos vão surgindo novas empresas voltadas para joalheria. Desta forma, antes de optar pelo sistema CAD/CAM, é necessário buscar todo o tipo de informação necessária e a ajuda de profissionais especializados nessas tecnologias. Sobretudo no caso de prototipagem rápida, na qual temos muitas técnicas disponíveis e não suficientemente exploradas e desenvolvidas. Por isso, o constante avanço nas técnicas requer um nível de atualização e conhecimento que nem sempre pode ser rapidamente e facilmente

adquirido por profissionais internos das empresas. Por esses motivos, é esperado - e já se pode observar na realidade - que o serviço de confecção do protótipo vá ser terceirizado e ser produzido por empresas especializadas.

Grimm (2004), sobre a adoção de novas tecnologias (de prototipagem rápida): “Mudar é difícil para muitos, especialmente quando a mudança é para uma nova tecnologia que requer tempo e esforço para aprender e entender suas vantagens e limitações.” E no que diz respeito à escolha da melhor técnica: “selecionar a tecnologia certa requer conhecimento e experiência em prototipagem rápida e CNC. Lamentavelmente, muitos designers, engenheiros e engenheiros de produção não têm completo conhecimento sobre cada tecnologia.”¹² (tradução nossa).

O mesmo autor apresenta alguns pontos de comparação entre os sistemas CNC e os sistemas de prototipagem rápida relacionados à qualidade do protótipo: “... para entender se a qualidade da saída (do protótipo) em prototipagem rápida e CNC são adequadas, é importante comparar materiais, tamanho das partes, complexidade, detalhes característicos, precisão e superfície final.”

- Materiais: as técnicas de prototipagem rápida permitem a utilização de uma ampla variedade de materiais, como já foi citado. Podem ser utilizados plásticos, resinas, cerâmica, metais e outros. Esses materiais se limitam ao processo escolhido. No processo de estereolitografia nos limitamos à utilização de resinas foto-sensíveis. No FDM (*fused deposition modeling*), usamos materiais termoplásticos e assim por diante.

No caso de máquinas CNC a técnica não varia e o material utilizado não interfere na mesma. Dessa forma a gama de materiais utilizados pode ser mais ampla. Isso acaba por refletir em opções de material de custo mais baixo. No entanto, as propriedades do material escolhido determinarão a qualidade de acabamento e da superfície final, assim como no detalhamento e precisão da peça. Cabe ao operador da máquina identificar os materiais mais adequados para cada trabalho específico, dependendo dos resultados desejados.

- Tamanho máximo das partes: as máquinas de prototipagem rápida e de usinagem têm um limite de tamanho de modelos que são capazes de produzir, dependendo do modelo da máquina. As máquinas de usinagem podem ser encontradas em modelos que permitem a confecção de peças maiores que as de prototipagem rápida. Para o setor joalheiro, entretanto, esse não é um fator relevante.

¹² Texto original no idioma inglês.

- Partes complexas e detalhes característicos dos processos: produzir protótipos de geometrias complexas é uma das principais vantagens que os métodos por adição de material (prototipagem rápida) oferecem.

As máquinas CNC são bem mais limitadas nesse sentido. Elas trabalham de acordo com os ângulos que cada modelo oferece (número de eixos e movimentos disponíveis), o que restringe o corte de determinados modelos e faz com que algumas formas não possam ser construídas. Apesar disso, muitas adaptações podem ser feitas nas máquinas CNC de 2 e 3 eixos, permitindo encaixes da peça em diferentes posições. Pode-se também construir o modelo em partes que depois serão encaixadas ou coladas, o que amplia as possibilidades da ferramenta.

- Precisão: a precisão alcançada pelas máquinas CNC depende fundamentalmente da definição do desenho em CAD e da fresa utilizada para corte. Considerando os limites físicos de espessura dessas fresas, em geral as máquinas de prototipagem permitem que se alcance maior precisão, por trabalharem principalmente com raio laser. Também com relação a estrutura altas e finas, os processos por deposição de material apresentam vantagens. Na usinagem, que trabalha retirando material, existem limitações em relação ao alcance da ferramenta (altura da fresa) e, dependendo da estrutura e sua altura (quando se formam paredes muito finas), as mesmas podem se romper ou serem entortadas pela própria força e atrito da ferramenta.

RP pode produzir pequenos orifícios com ilimitada espessura, assim como um orifício de 0.003 in. (0.08mm) com 3 in. (76mm) de profundidade. RP é capaz de produzir uma parede ou suporte com espessura de 0.020 in. (0.51mm) e uma altura de 2 in. (51mm). Nos sistemas CNC, isto muitas vezes não é alcançável já que a força de corte causa o desvio da parede durante a produção.¹³ (GRIMM, op.cit – tradução nossa)

Sobre outros aspectos como construção de cantos pontudos, polimentos e superfícies mais lisas, as máquinas CNC podem superar a prototipagem rápida.

- Tempo: em geral, os sistemas de prototipagem rápida são mais velozes que as máquinas CNC. A construção de um protótipo em CNC também pode exigir ajustes e adaptações durante a confecção (eixos, encaixe da peça, etc.). Apesar disso, o tempo total exigido por cada processo tem outras variáveis relacionadas ao acabamento das peças, preparação das máquinas, etc.), que devem ser calculadas em cada processo.

¹³ Texto original no idioma inglês

- Superfície final: nos sistemas de prototipagem o protótipo é construído em camadas com espessura de 0.013 a 0.025 mm (Grimm, 2004). Dependendo da peça, essas camadas deixam marcas ou “degraus” em sua superfície. Já as máquinas CNC, que trabalham por extração do material, podem produzir superfícies mais uniformes.

Leong (1997) coloca que “A natureza do processo de construção [em camadas] por estereolitografia causa visíveis degraus no modelo prototipado. Como esses defeitos são intrínsecos e inevitáveis no processo de estereolitografia [assim como outros processos por deposição de camadas], alguns processos de acabamento ou técnicas são necessárias para melhorar o acabamento da superfície removendo esses degraus visíveis.” (tradução nossa)¹⁴

- Custo: os custos de equipamentos, implementação e manutenção das máquinas de prototipagem rápida são bem mais altos que das máquinas CNC. No entanto, para uma precisa avaliação dos custos reais para a empresa é preciso considerar outros aspectos como custo por unidade e custo por hora trabalhada. Com o uso freqüente, as máquinas de prototipagem podem significar um custo mais baixo por hora trabalhada, já que podem produzir modelos mais rapidamente.

As vantagens técnicas apresentadas pelos sistemas informatizados em relação aos processos de produção convencionais são bastante evidentes. A maior dificuldade está em analisar concretamente a relação custos x benefícios entre o processo de produção convencional e os processos utilizando sistemas CAD/CAM. E essa dificuldade não se relaciona apenas em levantar os custos diretamente relacionados às novas técnicas de design e produção joalheira, mas sobretudo em mensurar a redução de custos com erros e retrabalho, constantemente relatados no processo convencional de produção. Isto porque em geral as empresas não têm um controle rigoroso sobre seus custos indiretos, uma vez que eles advêm de situações imprevistas e nem sempre consideradas pelas mesmas.

Se no surgimento das tecnologias de prototipagem rápida o preço das máquinas era inviável, atualmente já existem sistemas com preços mais acessíveis. De qualquer forma, para pequenas e médias empresas (maioria no setor joalheiro) e também profissionais autônomos, os custos de uma máquina de prototipagem rápida (que variam de US\$20.000,00 a US\$300.000,00) podem ser inviáveis ou até mesmo injustificáveis dependendo do volume de

¹⁴ Texto original no idioma inglês

produção. Outras questões que envolvem custos também devem ser consideradas: manutenção, treinamento e atualização constantes dos profissionais, necessidade de renovação dos equipamentos devido à rápida e obsolescência dos mesmos. Esses fatores também contribuem para a tendência de que as indústrias joalheiras terceirizem esse serviço em centros especializados em prototipagem rápida.

Já as máquinas CNC são mais acessíveis (custam de US\$3.000,00 a US\$15.000,00) e sua aquisição mais viável para as empresas. Os sistemas de usinagem são uma tecnologia estabelecida há bastante tempo, o que faz com que a renovação de equipamentos e outras inovações nesse sentido não aconteçam de forma tão rápida. Além disso, pelo próprio mecanismo que utilizam, as máquinas CNC apresentam manutenção mais simples e com menor custo que nos sistemas de prototipagem rápida. No entanto, sua operação exige a presença de um profissional treinado para tal. Dependendo do volume produzido, a terceirização desse serviço pode ser vantajosa também no caso da usinagem. Também a flexibilização da produção – com a possibilidade de optar pela melhor técnica de acordo com o projeto a ser desenvolvido, já que a usinagem apresenta algumas restrições técnicas (já citadas) - é um fator relevante na tendência à terceirização.

Para avaliar os custos de terceirização da confecção de modelos pelas técnicas de usinagem e prototipagem e compará-los ao processo convencional, foram feitos orçamentos desses serviços.

Os orçamentos foram realizados utilizando os três modelos abaixo, construídos em CAD, no software *Rhinoceros*:

MODELO 1:



MODELO 2:



MODELO 3:



Os três modelos foram enviados a duas empresas que trabalham com usinagem, duas empresas de prototipagem rápida (que utilizam técnicas diferentes) e dois ourives modelistas.

A Empresa 1 está localizada na cidade de São Paulo e vende softwares de modelagem para jóias, máquinas de usinagem e presta serviços de confecção de protótipos em geral, inclusive para joalheria.

A Empresa 2 está localizada na cidade de São Paulo e presta serviços de design em CAD e confecção de protótipos por usinagem. Seus principais clientes são dos setores joalheiro e de acessórios.

A Empresa 3 está localizada na cidade de Belo Horizonte e presta serviços de design em CAD e confecção de protótipos por estereolitografia. Presta serviços de prototipagem a diversos segmentos.

A Empresa 4 está localizada na cidade de Belo Horizonte e presta serviços de design em CAD e confecção de protótipos por impressão tridimensional. Está voltada sobretudo para o segmento de joalheria.

O ourives 1 trabalha na cidade de Belo Horizonte, é um profissional autônomo que produz apenas modelos em cera para jóias.

O ourives 2 trabalha na cidade de Belo Horizonte, é proprietário de uma oficina onde emprega outros 3 ourives - entre outros profissionais – podendo produzir todas as etapas de confecção de jóias.

A tabela a seguir mostra os resultados dos orçamentos realizados:

TABELA 6
Orçamentos para confecção de protótipos
(valores de março/2007)

	Técnica utilizada (PR = prototipagem rápida)	Material	MODELO	MODELO	MODELO
			1	2	3
Empresa 1	usinagem	termoplástico , resina, latão	R\$ 100,00 (US\$ 50,00)	R\$ 150,00 (US\$ 75,00)	R\$ 220,00 (US\$ 110,00)
Empresa 2	usinagem	termoplástico , cera	R\$ 80,00 (US\$ 40,00)	R\$ 110,00 (US\$ 55,00)	R\$ 200,00 (US\$ 100,00)
Empresa 3	PR - estereolitografia	resina	R\$ 110,00 (US\$ 55,00)	R\$ 180,00 (US\$ 90,00)	R\$ 250,00 (US\$ 125,00)
Empresa 4	PR - impressão tridimensional	resina	R\$ 150,00 (US\$ 75,00)	R\$ 150,00 (US\$ 75,00)	R\$ 200,00 (US\$ 100,00)
Ourives 1	artesanal	cera	R\$ 30,00 (US\$ 15,00)	R\$ 45,00 (US\$ 22,00)	R\$ 85,00 (US\$ 42,00)
Ourives 2	artesanal	cera	R\$ 50,00 (US\$ 25,00)	R\$ 70,00 (US\$ 35,00)	R\$ 100,00 (US\$ 50,00)

Fonte: produzido pela autora.

Os três modelos foram desenvolvidos com diferentes níveis de complexidade com a intenção de analisar a interferência dessa complexidade no critério de precificação.

Na confecção de protótipos através dos processos de usinagem e prototipagem rápida geralmente o custo é calculado com base em seu volume. Entre outros fatores que também podem interferir no custo final da peça estão principalmente a complexidade da mesma (uma vez que essa característica interfere no tempo de trabalho da máquina, que também é considerado para o cálculo de custos) e a quantidade de material necessário.

O ourives modelista, por sua vez, ao calcular o valor monetário de seu trabalho considera sobretudo a complexidade da peça e o tempo gasto na produção. Dessa forma, no caso de modelos grandes e de pouca complexidade, a mão-de-obra do ourives pode ser bem mais barata que os processos de usinagem ou prototipagem. Esses custos variam também de um profissional para outro, mas em geral os modelos mais simples podem ser confeccionados a partir de R\$30,00 (aproximadamente US\$15,00).

No entanto, em casos que envolvem a construção de peças mais complexas, o protótipo produzido via CAM pode apresentar custos bastante próximos ou até mais baixos que a

produção artesanal. Esses custos se tornam ainda mais vantajosos se considerarmos os ganhos adicionais que serão obtidos ao longo do processo.

Nos modelos orçados, pôde-se notar que os preços mantiveram uma proporção entre a confecção via CAM e a produção artesanal. Isso porque, nesses modelos foi mantida uma proporção entre o trabalho requerido pelo ourives e pela máquina (que calcula o volume da peça), ou seja, à medida que os modelos foram ficando mais complexos e mais caros pelo orçamento do ourives artesão, esses mesmos modelos também eram maiores, o que faria com que o tempo e material requerido pela máquina (CNC e prototipagem) também fossem maiores.

Ainda existem diferenças consideráveis entre os custos dos processos de prototipagem e os processos convencionais. No entanto, essa situação deve mudar com o desenvolvimento de novas tecnologias e a disseminação de empresas prestadoras de serviços.

Existem ainda outras questões a serem consideradas. No Brasil, o baixo custo de mão-de-obra tende a desestimular investimentos em tecnologia e equipamentos informatizados. Ao contrário dos países desenvolvidos, no Brasil, muitas vezes, manter um profissional em seu posto de trabalho ainda pode ser mais barato do investir em máquinas e manutenção.

Com o advento da informática nos meios de produção, a divisão internacional de trabalho assume novas características. Aos países centrais não interessa mais a mão-de-obra barata dos países do terceiro mundo, enquanto as matérias primas oferecidas por estes tornam-se cada vez mais desvalorizadas em mercados onde o valor agregado pela tecnologia ao produto é a principal fonte de divisas. Esta nova situação é, sem dúvida, em muito gerada pelas diferentes formas de aplicação da tecnologia da informação nos meios de projeto e produção. (ROMEIRO, 1997)

No entanto, é relevante dizer mais uma vez que, os ganhos obtidos com a confecção de modelos via CAM não se resumem a melhor avaliação e qualidade de confecção do protótipo, mas nessa qualidade sendo refletida ao longo de todo o processo produtivo, reduzindo erros, retrabalho, e conseqüentemente custos.

- CAPÍTULO 7 -

ESTUDOS DE CAMPO E APRESENTAÇÃO DE EXPERIMENTOS REALIZADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados de estudos de campo e experimentos realizados. Essas etapas da pesquisa foram desenvolvidas com o objetivo de analisar a utilização de sistemas CAD/CAM no setor joalheiro em situações reais, junto a empresas e profissionais que já utilizam esses sistemas para o design e produção de jóias. Para isso, foram realizados três estudos de campo e dois experimentos.

Nos estudos de campo, buscou-se conhecer cada situação estudada, promovendo uma análise da mesma com base nos dados obtidos durante as etapas anteriores da pesquisa.

O primeiro estudo de campo foi realizado junto a um designer de jóias mineiro, que utiliza softwares CAD para o desenvolvimento de seus projetos. O segundo, em uma empresa localizada em Belo Horizonte, especializada na confecção de protótipos para joalheria. O terceiro estudo de campo foi realizado junto ao laboratório de prototipagem rápida do Centro de Estudos em Design de Gemas e Jóias da Universidade do Estado de Minas Gerais.

Já os experimentos realizados, tiveram como objetivo testar algumas possibilidades de aplicações de CAD e CAM na joalheria. O primeiro experimento foi realizado junto ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais e o segundo foi realizado em duas unidades do Senai, localizadas respectivamente em Belo Horizonte e Contagem.

7.1 Estudo de campo 1 – Utilização de software CAD por um designer de jóias.

Esse estudo de campo foi realizado junto a um designer de jóias que já utiliza o sistema CAD para elaboração de seus projetos. O estudo foi baseado em depoimentos do profissional e análise de seus trabalhos.

Trabalhando como profissional autônomo há cerca de 15 anos no setor joalheiro, o designer relata que se sentiu incentivado a iniciar o uso do CAD há aproximadamente dois anos, quando fez uma viagem à Itália, onde participou de trabalhos junto a grandes empresas da joalheria mundial. Lá, pôde perceber os benefícios do trabalho em CAD, principalmente no que diz respeito à perfeição e realismo com que se pode representar as jóias.

De acordo com o designer, apesar das empresas por onde passou sempre terem dado ênfase e valorizado muito mais a identidade da empresa e o conceito envolvido no projeto, não se discutia que sua apresentação final deveria ser feita em CAD. Segundo ele, o software mais utilizado pelas empresas joalheiras internacionais é o *Rhinoceros*. Considera que esse software já é bastante conhecido no mundo inteiro e por isso os profissionais optam por ele, apesar de existirem outros compatíveis. Por ser mais bem distribuído, seu aprendizado é facilitado, porque existem mais fontes de informação disponíveis. Além disso, com sua crescente utilização no setor joalheiro, o *Rhinoceros* oferece atualmente ferramentas específicas para o setor, como o *Techgems*, gerando resultados extremamente satisfatórios.

Voltando ao Brasil, o designer procurou se aperfeiçoar na utilização do *Rhinoceros* e do *Flamingo* (através do qual se faz a renderização das peças). Reconhece que até adquirir bom domínio da ferramenta foram necessárias várias horas de treino e persistência no aprendizado. Atualmente desenvolve todos os seus projetos utilizando CAD e explora outros softwares que podem oferecer melhores recursos para seu trabalho. Segundo ele, tem agora investido no aprendizado de um novo software de renderização, o *Maxwell*.

Mesmo utilizando o CAD na representação de seus projetos, o designer reconhece a importância das etapas anteriores (projeto conceitual – especificações da peça) do processo de desenvolvimento de produtos.

Com relação ao processo de desenvolvimento de uma coleção, inicialmente defino um conceito, uma história por trás das peças a serem criadas.
O conceito na verdade, **é tão importante** quanto a peça. Ele é fundamental.
Dai, passo a definição de materiais a serem utilizados e a definir os primeiros esboços.

No meu caso, muitas vezes vou direto para o Rhino pois com as possibilidades do 3D, passo a ter idéias que nunca teria se fosse apenas no lápis. Então no 3D, desenho em escala.

Depoimento do designer

Abaixo seguem imagens de projetos desenvolvidos pelo designer:

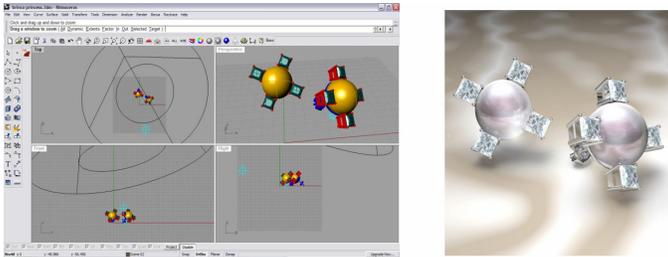


FIGURA 65 – Desenvolvimento de brincos utilizando *Rhinoceros* e *Flamingo*. À esquerda, as vistas das peças durante seu desenvolvimento no *Rhinoceros*. À direita peças já renderizadas no *Flamingo*.
Fonte: imagens gentilmente cedidas pelo designer José Hadad.

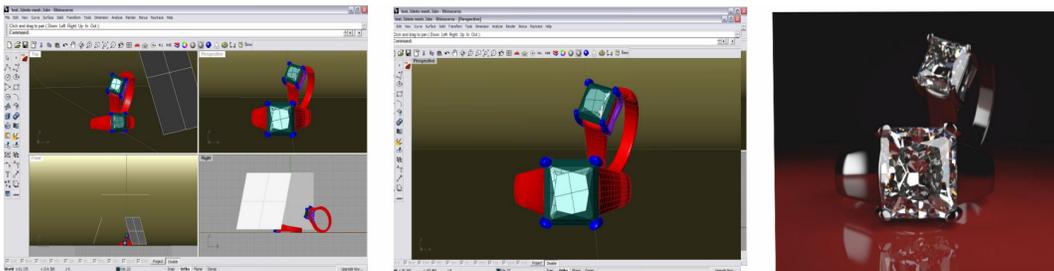


FIGURA 66 – Desenvolvimento de anel utilizando *Rhinoceros* e *Maxwell*. À esquerda e ao centro, vistas da peça durante seu desenvolvimento no *Rhinoceros*. À direita peça já renderizada no *Maxwell*.
Fonte: imagens gentilmente cedidas pelo designer José Hadad.



FIGURA 67 – Projetos desenvolvidos (pelo designer) utilizando *Rhinoceros* e *Flamingo*.
Fonte: imagens gentilmente cedidas pelo designer José Hadad.

Esse estudo de campo mostra os ótimos resultados obtidos pelo designer na representação de seus projetos com a utilização de softwares CAD. Atráves do desenho convencional não seria possível atingir o nível de perfeição e realismo dos desenhos em CAD. O profissional também

fala sobre outra grande vantagem do projeto em CAD: a facilidade de fazer alterações no desenho e avaliar os materiais. “Se eu estivesse desenhando à mão, teria que fazer inúmeros desenhos. Mesmo assim, a qualidade visual não seria a mesma.”

Em relação aos sistemas de produção via CAM (usinagem ou prototipagem rápida), o designer nunca utilizou. Isso porque desenvolve modelos exclusivos e não valeria à pena, segundo ele, fazer um modelo em material de prototipagem para só depois reproduzi-lo em metal. As peças que desenvolve são confeccionadas diretamente em metal por um ourives experiente e de sua confiança. De qualquer forma, essa etapa também é beneficiada pelo uso do CAD, já que é possível imprimir as vistas da peça e seu detalhamento, facilitando o trabalho do ourives.

7.2 Estudo de campo 2 – Empresa Sculptec

Esse estudo foi realizado junto a empresa Sculptec, fundada em Belo Horizonte em 2004, sendo a primeira na cidade aberta com o propósito de confeccionar protótipos para joalheria comercialmente.

Foi fundada por dois sócios - um deles cuida das questões comerciais e de design enquanto o outro é responsável pelas questões técnicas, relativas ao processo de produção de protótipos, apoio técnico e manutenção da máquina. Além dos dois sócios, atualmente possui mais 12 funcionários. Desses, nove são estagiários que trabalham diretamente com design em CAD. Através de um convênio feito com algumas universidades, estudantes de cursos de graduação de várias áreas que têm em seu currículo matérias acadêmicas relacionadas ao desenvolvimento de projetos em softwares tridimensionais (engenharia de produção, arquitetura, computação, design de produto, etc.) desenvolvem seu estágio acadêmico na empresa. Um funcionário contratado é responsável pela transferência dos arquivos em STL para a máquina de prototipagem, operação técnica da máquina, retirada e limpeza dos modelos. Os demais funcionários são uma secretária e um funcionário de serviços gerais.

Os serviços prestados pela empresa envolvem desde o desenvolvimento de design de peças e coleções de jóias até a produção do protótipo em resina da jóia. Seus principais clientes são empresas e profissionais autônomos do setor joalheiro. Os serviços são oferecidos e podem ser contratados em conjunto (design + projeto em CAD + produção do protótipo via CAM) ou separadamente.

Atualmente, a grande maioria dos clientes que procura a empresa apresenta seus projetos em papel e contrata os serviços de desenvolvimento do projeto em CAD e confecção do protótipo.

Com os projetos em papel, é comum que os profissionais responsáveis pelo projeto em CAD encontrem problemas relacionados à adequação dos mesmos aos processos produtivos. O que observamos nesse aspecto, é que as dificuldades relacionadas ao meio de comunicação utilizado pelo designer (cliente) continuam existindo, assim como na interface entre o designer e o ourives.

Quando esses problemas acontecem, a empresa entra em contato com o cliente para discutir as melhores técnicas e opções de construção para a peça projetada. Segundo os sócios da empresa, as modificações podem e devem ocorrer nesse momento.

Para minimizar esses problemas, no momento da contratação de seus serviços, a empresa apresenta para seu cliente, uma lista de detalhamentos técnicos que devem estar contidos no projeto, necessários à sua perfeita execução:

- desenho em perspectiva em tamanho real
- vista aérea, frontal e lateral cotadas em milímetros
- tipo de cravação: chatão, grifas, inglesa, pavê, carrê, bacia, etc...
- bata e galerias com medidas
- espessura de chapa (até o produto final haverá redução de 10%)
- articulações com detalhamento e medidas
- volumes com detalhamento e medidas
- tamanho do aro do anel em milímetros
- especificar como ficará a parte interna da peça
- especificar o uso de meia-cana (parte externa e interna)
- logomarca: indicar o local desejado e espessura da chapa
- peso aproximado da peça
- medida em mm das pedras e quantidade
- especificar o metal
- determinar a espessura, localização do jito (condutor) e travas.

Visto que a maioria dos designers do setor joalheiro não tem domínio do uso de softwares CAD, assim como discutiria o projeto com o ourives modelista, ele o discute com os profissionais da empresa, responsáveis por transferir o projeto para o CAD. A substituição do processo artesanal pela produção utilizando CAM, nesse caso, agrega apenas alguns benefícios relacionados ao acabamento do modelo - o que não deixa de ser vantajoso visto que esses benefícios serão transferidos para as etapas posteriores. No entanto, os problemas relacionados à falta de integração entre as etapas de concepção e execução continuam existindo, comprometendo os resultados finais e fazendo com que o produto não obedeça às especificações estabelecidas no projeto.

Cria-se aqui um novo elemento na cadeia: o profissional especializado em desenvolver projetos CAD, semelhante ao “cadista” responsável por levar os projetos das pranchetas de engenharia até o computador. A exemplo da engenharia e de outras áreas que já implementaram esses sistemas há mais tempo, esse profissional deve desaparecer à medida que os próprios projetistas passarem a utilizar o CAD para desenvolvimento de seus projetos.

Um dos sócios da empresa confirma que, embora a utilização da prototipagem rápida na indústria de jóias esteja aos poucos despertando o interesse maior dos empresários, grande parte dos designers que já atuam no setor joalheiro ainda utiliza apenas as técnicas convencionais de desenho e considera esse um fator limitante para a rápida introdução dos meios de prototipagem rápida nas indústrias.

Também considera que existe ainda resistência por parte dos empresários, que desconhecem e têm dificuldades em calcular os reais benefícios obtidos, não só em relação aos ganhos na qualidade do modelo, mas ao longo de todo o processo.

Segundo os sócios da empresa, por causa da lentidão na implementação de sistemas de prototipagem nas empresas os designers que já atuam há mais tempo no mercado também não investem como deveriam nos conhecimentos necessários para sua utilização. Somente os profissionais que estão saindo de cursos universitários (não necessariamente relacionados à joalheria) costumam já ter tido contato com a tecnologia e sabem utilizá-la.

O software utilizado pela empresa para desenvolvimento dos projetos é o *Rhinoceros*. Segundo a opinião dos profissionais da empresa, este é o software disponível no mercado que oferece a melhor interface de trabalho para a construção de modelos de jóias (sobretudo na construção de formas orgânicas). Além disso, tem sido o mais difundido no setor joalheiro - como também em outros setores industriais voltados para o design -, o que facilita a troca e acesso a informações e conhecimentos relativos ao seu uso.

Para confeccionar os modelos, a empresa tem uma máquina de prototipagem *Perfactore Mini* - da fabricante *EnvisionTec*, que produz protótipos em resina foto-acrílica. Esse é um modelo de tamanho reduzido (e de custo mais baixo em relação a outros modelos maiores que utilizam tecnologias similares) e foi produzido a partir da percepção do fabricante em relação à necessidade de produção de protótipos menores em algumas indústrias, como no caso da joalheria. O sistema de construção utilizado por essa máquina foi patenteado pela fabricante *EnvisionTec*, mas apresenta características semelhantes ao sistema de estereolitografia.



FIGURA 68 - Máquina de prototipagem rápida *Perfactory Mini* – da fabricante *EnvisionTec*.
Fonte: foto produzida pela autora na empresa *Sculptec*.

Os sócios da empresa consideram que em qualquer uma das etapas do processo utilizando CAD/CAM podemos perceber suas vantagens em relação aos processos convencionais. Isso pode ser confirmado a partir da qualidade do projeto e a perfeita avaliação do produto, que encantam os profissionais que até então desconheciam processo:

“A precisão realística com que podemos avaliar o modelo antes dele ser confeccionado é impressionante.”

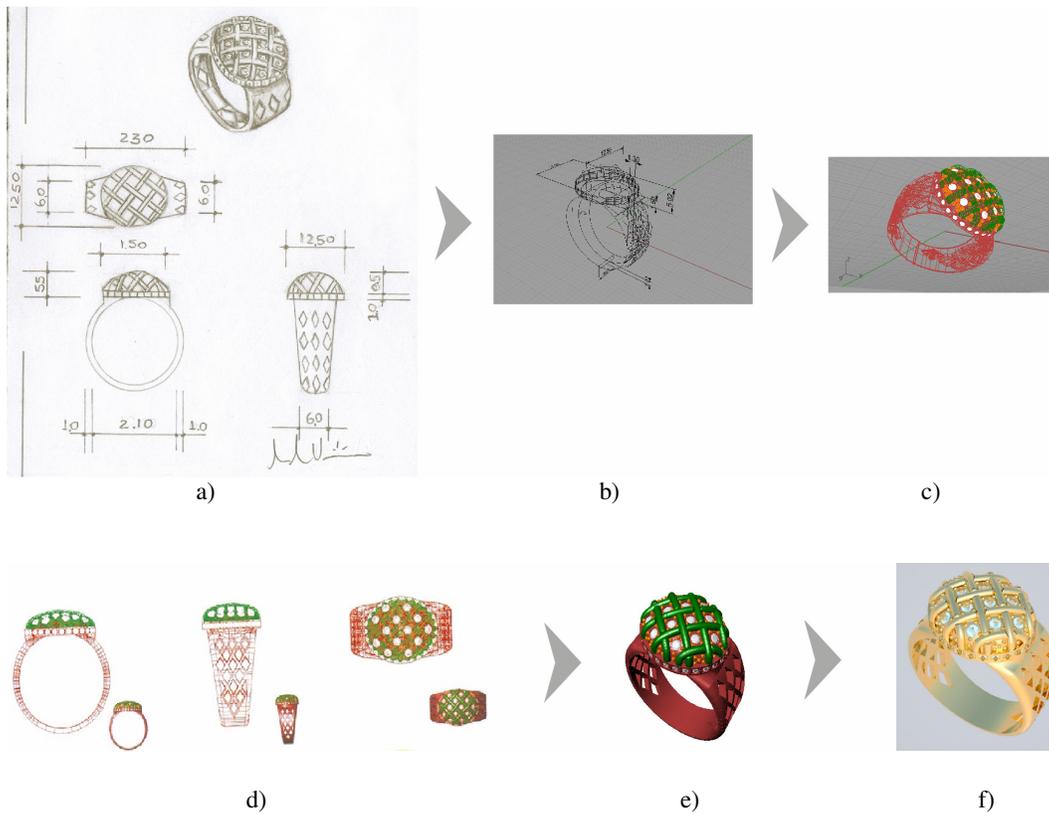
“Quando participamos de feiras do setor para expor nossos trabalhos, mostramos projetos renderizados e impressos e as pessoas acham que é uma foto de uma peça já foi produzida.”

Mas os sócios da empresa ressaltam que as principais vantagens do processo se relacionam à eliminação de problemas decorrentes de um modelo mal feito. Na etapa de produção do protótipo via CAM, afirmam que “a precisão dos modelos e sua qualidade superam em muito os modelos produzidos artesanalmente. Não dá para negar que os resultados são melhores.”



FIGURA 69 – Imagem renderizada e protótipo em resina. À esquerda impressão da imagem da peça construída e renderizada no software Rhinoceros, e ao lado protótipo em resina confeccionado na máquina da Envisiontec. Fonte: foto produzida pela autora na empresa Sculptec.

Abaixo segue esquema mostrando as etapas de desenvolvimento do projeto, desde a primeira representação em papel até a produção do protótipo em resina:



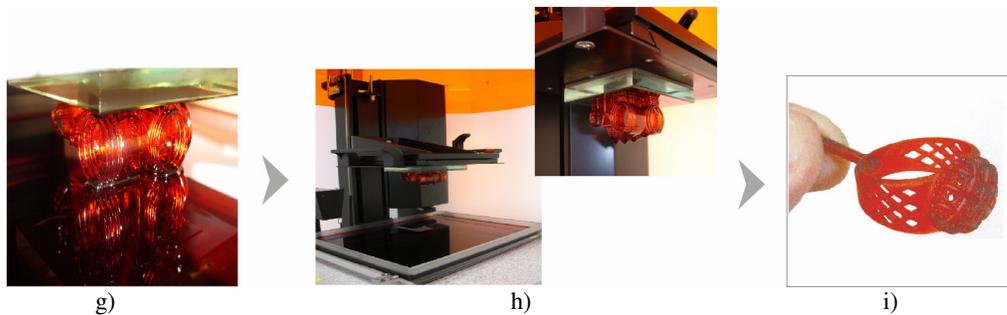


FIGURA 70 – Seqüência de produção de modelo utilizando CAD/CAM.

- a) Projeto em papel, com detalhamento técnico das vistas da peça.
- b) Construção do modelo no software *Rhinoceros*.
- c) Projeto estrutural do modelo construído no *Rhinoceros*.
- d) Visualização de diferentes vistas do modelo.
- e) Modelo renderizado em cores.
- f) Modelo renderizado em metal no software *Flamingo*.
- g) Construção do protótipo na máquina da *Envisiontec*.
- h) Finalização da construção do protótipo (e ampliação de detalhe da peça).
- i) Protótipo final em resina.

Fonte: Imagens gentilmente cedidas pela empresa Sculptec.

A prestação de serviços da empresa vai até a confecção do modelo em resina. Para dar seqüência ao processo de produção, confeccionando o molde de borracha e o primeiro modelo em metal, a Sculptec indica empresas terceiras.

A máquina de prototipagem utilizada pela Sculptec trabalha com um tipo de resina que resiste a até 70 graus centígrados de temperatura. Por isso, para fazer os moldes de borracha é utilizado um tipo de silicone líquido – frio - que não precisa ser cozido. Ao silicone é adicionado um agente catalisador que enrijece a borracha, formando o molde. Posteriormente o molde é cuidadosamente cortado (conforme os processos convencionais de produção) de forma que suas partes possam ser perfeitamente encaixadas. Daí em diante, o processo utilizado é o convencional, da injeção dos modelos em cera para fundição por cera perdida.



FIGURA 71 – Protótipos em resina e moldes de borracha. À esquerda e abaixo, protótipos de resina produzidos pela empresa Sculptec. Na mesma foto, acima, os moldes de borracha feitos a partir de protótipos de resina. À direita, um molde cortado ao centro, pronto para ser usado na máquina de injeção de cera.
Fonte: fotos produzidas pela autora na empresa Sculptec.

7.3 Estudo de campo 3 – Universidade do Estado de Minas Gerais

Esse estudo foi realizado junto à Escola de Design da UEMG – Universidade do Estado de Minas Gerais – localizada em Belo Horizonte. Como oferece essencialmente cursos voltados para o design, essa unidade da Universidade tem desenvolvido atividades de pesquisa voltadas para o desenvolvimento de produtos em vários setores industriais.

A UEMG instalou em fevereiro de 1999, dentro da Universidade, o Núcleo Design de Gemas e Jóias, dando início a suas atividades em fevereiro de 2000. A princípio, o Núcleo teve o propósito de abrir uma nova frente de estudos voltados para o desenvolvimento de design para joalheria. Posteriormente, no ano de 2001, junto ao Núcleo foi instalado o laboratório de prototipagem rápida e criado o Cedgem - Centro de Estudos em Design de Gemas e Jóias.

O Centro reúne atualmente várias áreas de estudo relacionadas ao desenvolvimento de produtos joalheiros: design de jóias, design de gemas, prototipagem rápida e fabricação. Cada área tem um professor responsável e conta com vários outros envolvidos – entre professores e alunos - no desenvolvimento dos projetos do Centro. Atualmente, são 11 professores envolvidos e 10 alunos da instituição - estagiários que estão cursando os últimos períodos do curso de design de produto da UEMG - envolvidos nas atividades do Cedgem.

À frente do laboratório de prototipagem rápida está um professor da instituição, responsável desde o início pela escolha e compra dos equipamentos e pelo desenvolvimento das experiências já realizadas no Centro. Desde o início, quando foi instalado, o laboratório atende fundamentalmente aos alunos, com um custo baixo, calculado para suprir as despesas da Universidade com os recursos utilizados.

A máquina de prototipagem rápida utilizada pelo Cedgem é uma *Invision Si2*, da fabricante *3DSystems*, que utiliza os princípios do sistema de impressão tridimensional para construção das peças.



FIGURA 72 - Máquina *Invision Si2*, da *3Dsystems* (utilizada na UEMG para confecção de protótipos).
Fonte: foto produzida pela autora.

Na máquina, os protótipos são construídos através de sucessivas deposições de camadas de resina foto acrílica, que vão sendo sucessivamente solidificadas por raio laser. As camadas de resina são depositadas sobre uma plataforma que se movimenta para frente e para trás enquanto o cabeçote (que deposita a resina) se movimenta no sentido contrário, permitindo o aproveitamento das dimensões da máquina para a construção das peças. Além do cabeçote que deposita a resina, nesse processo existe um segundo cabeçote que deposita outro material para dar suporte à peça.

Quando o protótipo sai da máquina ele está totalmente envolvido pelo material de suporte. Para retirar esse material, as peças são levadas a uma estufa e aquecidas numa temperatura aproximada de 70°. O material de suporte - que tem ponto de fusão de aproximadamente 55° (graus centígrados) - derrete, enquanto a resina - com ponto de fusão aproximado de 88° - permanece sólida. O modelo em resina é então retirado pronto da estufa.



FIGURA 73 – Estufa, utilizada na limpeza e cura de protótipos (utilizada no Cedgem/UEMG).
Fonte: foto produzida pela autora.

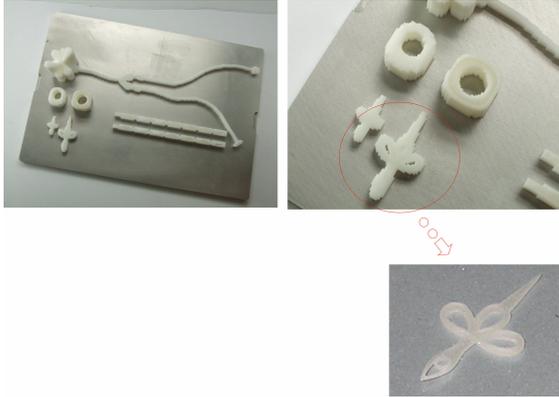


FIGURA 74 – Protótipos produzidos na máquina da *3Dsystems*. Acima, fotos da bandeja de modelos envoltos pelo material de suporte, logo após a retirada da máquina de prototipagem. Abaixo, foto de uma das peças depois de ser levada à estufa para retirada do material de suporte.

Fonte: fotos gentilmente cedidas pelo Cedgem.

Desde que começou a funcionar, o Cedgem vem testando várias possibilidades de produção de jóias, considerando suas variações em formas, superfícies, espessuras, tamanho, precisão, etc. Várias dessas características - necessárias à qualidade final da jóia – puderam evidenciar nos modelos produzidos pelo Centro, as vantagens do processo de prototipagem rápida em relação ao processo manual de produção de modelos. Algumas peças não seriam possíveis de serem produzidas ou produzidas com a mesma qualidade pelo processo convencional, considerando sua complexidade e simetria. Em algumas peças com grande quantidade de pedras, pode ser vista a perfeita furação e distribuição das pedras. Outras são compostas de estruturas finíssimas e delicadas, elementos repetidos com grande simetria ou ainda estruturas complexas, impossíveis de serem construídas manualmente. Abaixo seguem fotos dos modelos construídos no Cedgem:



FIGURA 75 – Fotos de protótipos produzidos no Cedgem (a). Exemplos de precisão na construção de detalhes (grifas para cravação de gemas).

Fonte: fotos gentilmente cedidas pelo Cedgem.

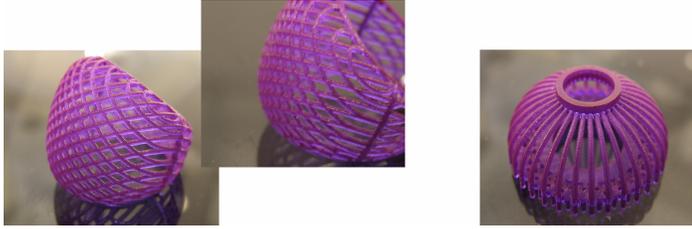


FIGURA 76 – Fotos de protótipos produzidos no Cedgem (b). Exemplos de construção de peças com grande simetria.

Fonte: fotos gentilmente cedidas pelo Cedgem.



FIGURA 77 – Fotos de protótipos produzidos no Cedgem (c). Exemplos da perfeição na construção de estruturas finas e delicadas.

Fonte: fotos gentilmente cedidas pelo Cedgem.



FIGURA 78 – Fotos de protótipos produzidos no Cedgem (d). Exemplos de construção de estruturas complexas, difíceis de serem produzidas manualmente. À esquerda pingente, ao centro anel, à direita elos de corrente.

Fonte: fotos gentilmente cedidas pelo Cedgem.

As experiências realizadas pelo Centro mostraram que os modelos confeccionados pelo processo de prototipagem apresentam várias vantagens em relação aos modelos produzidos artesanalmente. Antes de tudo, os modelos produzidos são idênticos aos projetos, eliminando os problemas de interpretação e mudanças na peça. Como os projetos são desenvolvidos pelos alunos já em softwares CAD e são previamente avaliados, não acontecem muitos problemas em relação à adequação desses projetos ao sistema de prototipagem quando os mesmos vão ser produzidos.

Segundo o professor responsável pelo laboratório de prototipagem do Cedgem, as tecnologias CAD/CAM tornam as funções do designer bastante evidentes, funções essas que o designer sempre teve, porém se escondiam atrás de projetos mal-interpretados e processos inadequados.

A única restrição apresentada em relação à qualidade dos modelos produzidos pelo processo de prototipagem rápida se relaciona à qualidade da superfície de algumas peças. Dependendo do modelo construído, a superfície da peça pode apresentar as marcas ou “frisos”, característicos dos processos por deposição de material em camadas. Nesses casos, os modelos recebem um acabamento similar ao polimento realizado em modelos de metal, no processo convencional de produção de jóias. Caso contrário essas peças reproduziriam esses “frisos” no molde de borracha e comprometeriam a reprodução da peça.



FIGURA 79 – Foto com detalhe mostrando marcas de construção na superfície da peça (características dos processos por deposição de material em camadas).
Fonte: fotos gentilmente cedidas pelo Cedgem.

Apesar desses defeitos na superfície das peças serem característicos dos processos de prototipagem rápida em geral (como já foi visto), a intensidade desses problemas varia entre as diferentes técnicas e materiais disponíveis. O professor responsável pelo Cedgem confirma que a técnica de estereolitografia ainda é insuperável em questão de precisão e acabamento. Segundo ele, no entanto, a qualidade oferecida por outras técnicas mais acessíveis (as máquinas de estereolitografia são as mais caras) atende perfeitamente às necessidades do setor joalheiro. E ressalta a rápida evolução tecnológica, que tende a cooperar com a introdução de novos recursos. A fabricante da máquina utilizada no Centro – *3Dsystems* – já lançou um modelo mais avançado da “*Invision Si2*”, utilizando outro tipo de resina (na cor azul) que oferece melhor qualidade de precisão e acabamento.



FIGURA 80 - Modelos construídos na nova máquina da *3Dsystems* (que oferece melhor precisão e acabamento das peças).

Fonte: fotos gentilmente cedidas pelo Cedgem.

Dentro do Centro de Estudos em Design de Gemas e Jóias da UEMG também foi montado um laboratório que conta com uma estrutura de equipamentos para confecção dos moldes de borracha e produção de jóias em metal, através do processo convencional de fundição por cera perdida.



FIGURA 81 – Fotos do laboratório do Cedgem para produção de jóias (processo de fundição por cera perdida).
Fonte: fotos produzidas pela autora.

Abaixo seguem fotos de alguns modelos desenvolvidos pelo laboratório:



FIGURA 82 – Fotos da seqüência de produção de anel a partir do molde de borracha, produzido pelo Cedgem.
Fonte: fotos gentilmente cedidas pelo Cedgem.



FIGURA 83 – Modelo de anel em resina (à esquerda) e a mesma peça reproduzida em metal (à direita).
Fonte: fotos gentilmente cedidas pelo Cedgem.

A realização das etapas de confecção do molde de borracha e do primeiro modelo em metal partindo de alguns dos modelos confeccionados pelo Cedgem colaboram para a confirmação da aplicabilidade do processo. A qualidade verificada nos modelos em resina é transferida para a peça em metal. Ao contrário dos processos convencionais, essa peça necessita de pouquíssimas etapas de acabamento, basicamente corte dos jitos (canais por onde escoo o metal no processo de fundição) e polimento.

7.4 Experimento 1 – Construção de modelo através de máquina CNC, utilizando engenharia reversa.

Esse experimento foi realizado no laboratório de engenharia mecânica da UFMG, com o apoio de professores e alunos da área. Para confecção do modelo final em metal, a pesquisadora contou com a colaboração do Núcleo de Joalheria do Senai Américo René Gianetti / Belo Horizonte.

O experimento teve como objetivo reproduzir um pingente de metal utilizando o processo de usinagem através de uma máquina CNC. Para isso foram aplicados os conceitos de engenharia reversa.

Os equipamentos utilizados foram uma máquina CNC *Roland Modela MDX-20* de dois eixos - que tem as funções de digitalizador e fresadora tridimensional - e um micro-computador, compondo um cenário de permitiu integrar CAD e CAM.



FIGURA 84 – Pingente original em metal.
Fonte: foto produzida pela autora.



FIGURA 85 – Máquina CNC *Roland Modela MDX-20*.
Fonte: foto produzida pela autora.

Inicialmente a peça original em metal foi fixada sobre a mesa da máquina CNC. Utilizando a função de digitalizador (do tipo apalpador) a peça foi tocada ponto a ponto através de uma “agulha sensor” - localizada na ponta do cabeçote da máquina - e o desenho de sua superfície foi transferido para o computador central.

Esse experimento partiu de uma peça pronta e por isso foram utilizados o digitalizador e os conceitos da engenharia reversa. Em outra situação, poderíamos partir diretamente de um modelo em CAD para produção do protótipo.

O software utilizado para a digitalização da imagem do pingente foi o *Roland Dr. Picza* (normalmente, os softwares de digitalização vêm junto com a compra do equipamento). Esse software permite estabelecer os parâmetros de digitalização (resolução, posição do objeto na mesa de construção, etc.), além de controlar a máquina durante o processo. Ele converte as coordenadas da peça, obtidas através dos pontos tocados pelo apalpador, em uma estrutura de linhas entrelaçadas, unidas por esses pontos, o que permite a visualização do objeto tridimensional. Nesse ponto, é possível também renderizar a superfície do objeto para sua melhor avaliação.

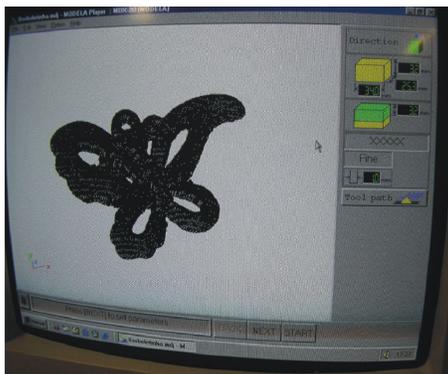


FIGURA 86 – Desenho digitalizado no computador.
Fonte: foto produzida pela autora

Como o software *Roland Dr. Picza* é utilizado somente para a digitalização da peça e não permite que sejam feitas alterações no modelo, no experimento foi utilizado também o software *Unigraphics*, que permitiu que a peça fosse ampliada.

A escolha do software *Unigraphics* foi baseada na disponibilidade do laboratório e no domínio da ferramenta pelo aluno responsável pela realização dessa etapa do experimento.

Nas modificações do modelo digitalizado, poderiam ser utilizados outros softwares CAD, de acordo com os recursos requeridos.

Do software *Unigraphics*, o arquivo foi enviado para o software *Roland Modela Player* (fornecido junto com a compra do equipamento), que define os critérios para usinagem e controla a fresadora. Nesse software são definidos todos os parâmetros da usinagem: diâmetro das ferramentas de corte, rotação, avanços do cabeçote, etc. Após a definição desses parâmetros, antes de produzir o modelo, outro software – o *CncSimulator* (também fornecido com a compra do equipamento) – é utilizado para simular a usinagem em tempo real, avaliando o processo e se poderão ocorrer falhas (ângulos difíceis de serem cortados, “caminhos” inviáveis para a ferramenta, etc.).



FIGURA 87 – Equipamentos integrados, utilizados no laboratório de engenharia mecânica da UFMG.
Fonte: foto produzida pela autora

Depois de definidos e testados os parâmetros de usinagem, a máquina CNC, agora com ferramentas de corte (fresas) dá início à construção do modelo. Para usinagem do pingente de borboleta foram utilizadas (acopladas ao cabeçote da máquina CNC) fresas iguais às usadas no processo convencional de modelagem em cera (nesse caso, as fresas são acopladas a motores semelhantes aos usados por dentistas).

O protótipo do pingente foi confeccionado em um bloco de cera (a mesma utilizada no processo de modelagem manual de jóias). Antes de iniciar a construção, o desenho da borboleta foi duplicado para que fossem construídos dois modelos ao mesmo tempo.

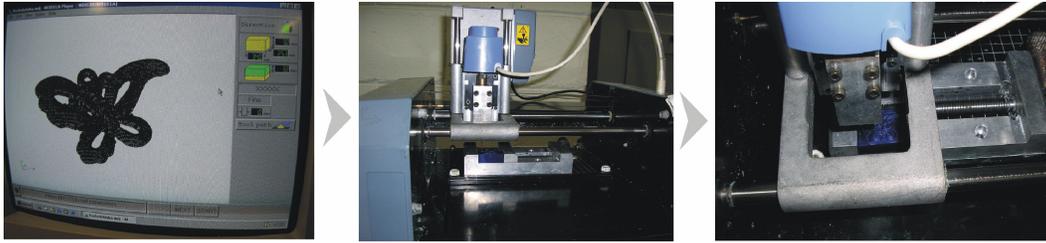


FIGURA 88 – Seqüência de transferência do arquivo do computador para a máquina CNC.
 Fonte: foto produzida pela autora

Obedecendo às limitações da máquina CNC utilizada - de dois eixos - somente o lado superior da peça pôde ser usinado.



FIGURA 89 – Detalhe da máquina CNC na confecção do modelo.
 Fonte: foto produzida pela autora

Após a confecção do protótipo, o bloco foi serrado ao meio para separar os dois modelos gerados. Em seguida, um ourives modelista finalizou os modelos fazendo o corte do contorno, retirando material do fundo da peça (para deixá-la com a espessura desejada) e dando um polimento na superfície. Para isso utilizou as ferramentas do processo convencional de modelagem (espátulas, lixas, limas, etc.).



FIGURA 90 – Fotos mostrando a seqüência de corte e acabamento do modelo em cera.
 Fonte: fotos produzidas pela autora.

A partir desse modelo em cera foi feito um molde de gesso e seguindo as etapas do processo convencional de fundição por cera perdida, outra peça em metal semelhante à original foi produzida. A seqüência de fotos abaixo mostra como foi realizado o processo de produção:



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)

FIGURA 91 – Seqüência de fotos mostrando a reprodução do pingente a partir do modelo em cera.
(a) Montagem da “árvore” de cera I.
(b) Montagem da “árvore” de cera II.

- (c) Encaixe do tubo (cilindro) de fundição I.
- (d) Encaixe do tubo (cilindro) de fundição II.
- (e) Preenchimento do tubo (cilindro) com revestimento (gesso).
- (f) Eliminação da cera na estufa.
- (g) Preenchimento do molde de gesso com metal fundido (prata).
- (h) Derretimento do molde de gesso com água.
- (i) “Árvore” em metal I.
- (j) “Árvore” em metal II.
- (k) Peça acabada, após retirada da árvore e polimento.

Fonte: fotos gentilmente produzidas e cedidas pelo Senai Américo René Gianetti.

O experimento demonstrou que a utilização das máquinas CNC pode beneficiar bastante o processo de confecção de modelos para joalheria. Apesar das limitações da máquina CNC utilizada e da necessidade do processo artesanal na finalização da modelagem, as principais características da peça já haviam sido transferidas para o modelo, o que representou um ganho enorme de tempo e qualidade na reprodução da peça, assim como na manutenção das proporções do modelo em relação ao original. A qualidade da superfície e a definição do modelo apresentaram resultados bastante satisfatórios.

Deve-se considerar também que máquinas CNC de três e quatro eixos, que permitem a construção das várias faces do modelo já estão disponíveis no mercado. De qualquer forma, como já foi citado, os usuários das máquinas de usinagem podem adaptar a produção da peça aos recursos que sua máquina possui, construindo-a em partes que depois serão coladas, etc.

As máquinas CNC, por apresentarem um custo menor que as máquinas de prototipagem rápida (tanto de máquina quanto de manutenção), podem representar uma boa opção para pequenas empresas. No entanto, como exigem maiores adaptações, é necessário que o profissional tenha domínio tanto sobre os processos de confecção de jóias quanto das possibilidades oferecidas pela máquina, para que possa adequar a construção do modelo de acordo com os recursos de usinagem disponíveis.

Outra consideração é a respeito dos materiais utilizados, que podem influenciar muito na qualidade de acabamento e precisão da peça, assim como nos processos necessários para posterior reprodução do modelo.

O desenvolvimento desse experimento utilizou cera própria para confecção de jóias, o que representou vantagens no momento do acabamento e possibilitou sua reprodução por fundição por cera perdida, seguindo os métodos convencionais de produção de jóias. Para outros modelos produzidos por usinagem, entretanto, essa pode não ser a melhor opção de material. Dependendo do tamanho da peça e espessura da fresa utilizada, materiais mais macios podem

deixar resíduos na ferramenta e prejudicar sua capacidade de corte. De qualquer forma, no processo de usinagem temos grande liberdade para testar vários tipos de material, o que pode também representar ganhos de custo, acabamento e até mesmo inovações no processo.

7.5 Experimento 2 – Construção de modelo através do processo de estereolitografia

Essa etapa da pesquisa foi realizada a partir da cooperação entre o Núcleo de Joalheria do Senai / Unidade Américo René Gianetti, localizado na cidade de Belo Horizonte/MG, e o Senai / Unidade “Euvaldo Lodi”, localizado na cidade de Contagem/MG.

O experimento realizado teve o objetivo de testar a aplicação de tecnologias CAD/CAM - disponíveis em cada uma das unidades do Senai separadamente - para a confecção de jóias. Para isso, uniu os recursos das duas unidades: relacionados aos conhecimentos sobre design e produção joalheira da unidade “Américo René Gianetti” e aos recursos de prototipagem rápida da unidade “Euvaldo Lodi”.

A unidade “Euvaldo Lodi” do Senai dispõe de um Núcleo de Prototipagem Rápida destinado ao desenvolvimento de vários tipos de produtos (mecânicos, elétricos, eletrônicos, etc.).

A máquina de prototipagem utilizada pelo Núcleo utiliza a técnica de estereolitografia para construção dos modelos (entre as técnicas de prototipagem rápida disponíveis atualmente, a estereolitografia ainda é a que apresenta melhor precisão e qualidade de acabamento).



FIGURA 92 – Máquina de prototipagem rápida por estereolitografia (utilizada no Senai “Euvaldo Lodi”).
Fonte: folder do Senai “Euvaldo Lodi”.

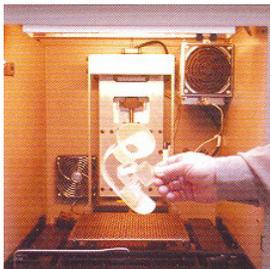


FIGURA 93 – Peça sendo retirada da máquina de prototipagem rápida por estereolitografia.
Fonte: folder do Senai “Euvaldo Lodi”.

O Núcleo de Prototipagem Rápida do Senai “Euvaldo Lodi” já presta serviços para alguns setores industriais distintos. Nesses casos, se responsabiliza unicamente pela produção dos protótipos conforme os projetos recebidos, sem interferir nos mesmos. Os clientes (ou alunos do Senai) enviam os arquivos em formato STL, produzidos em diferentes softwares de modelagem. Então, o profissional que opera a máquina de prototipagem transfere o arquivo para um software que faz a “leitura” da peça, detectando erros de construção, sobretudo falhas no desenho que o impedem de ser “lido” como um objeto sólido (esse software normalmente acompanha as máquinas de prototipagem). O software utilizado pelo Senai nessa etapa é o *Magic*.

Depois de checar suas características e serem corrigidos eventuais erros, o *Magic* “corta” o modelo em várias camadas (as camadas de construção) que serão “lidas” e enviadas para a máquina de prototipagem para a construção da peça. Além disso, também podem ser fornecidas várias informações sobre o modelo (volume, peso, tempo de fabricação, etc.). Após aprovação de todos os critérios de construção, a confecção do protótipo pode ser então iniciada.

Para utilização dos recursos oferecidos pelo Núcleo de Prototipagem “Euvaldo Lodi”, designers do Núcleo de Joalheria do Senai “Américo René Gianetti” desenvolveram alguns projetos de peças joalheiras utilizando o software *JewelCad*.

Quando foi proposto o experimento, os recursos tecnológicos necessários já existiam nas duas unidades. No entanto, enquanto o Núcleo de Prototipagem já funcionava com todos os equipamentos e pessoal capacitado para operar a máquina, o Núcleo de Joalheria dispunha apenas dos equipamentos (computador e software), mas não tinha profissionais capacitados para operá-los. Como o Núcleo de Joalheria já sentia as tendências do setor joalheiro no sentido da utilização de CAD durante o desenvolvimento do projeto, adquiriu o software *JewelCad* com a intenção de capacitar alguns de seus professores para sua utilização. A escolha desse software foi baseada principalmente pelo mesmo ter sido desenvolvido para a indústria joalheira. Como não existiam treinamentos específicos para sua utilização, alguns profissionais do Núcleo se dispuseram a estudar e aprender a operar o software, utilizando principalmente os manuais recebidos pelo fabricante do *JewelCad*.

Apesar da grande experiência em projetos convencionais (em papel), o profissional de design responsável pelos projetos em CAD sentiu grande dificuldade na utilização do software escolhido. Ainda assim, utilizando alguns recursos básicos do *JewelCad*, foi possível construir alguns modelos simples, que foram então enviados (como arquivos STL) para o

Núcleo de Prototipagem “Euvaldo Lodi”. Apesar do amplo conhecimento técnico do profissional responsável pela operação da máquina de prototipagem do Núcleo, o mesmo não tinha conhecimentos a respeito de joalheria e dessa forma, não poderia interferir no projeto recebido. Com a utilização do software *Magic*, o arquivo STL recebido foi “lido” e enviado para confecção na máquina de prototipagem rápida.

Depois de prontos, percebeu-se que a escala utilizada para construção do modelo estava reduzida. Assim os protótipos (anéis) foram produzidos em tamanhos menores que os convencionais.

Após sua retirada da máquina de estereolitografia, seguindo o processo usual, os modelos foram imersos num banho com solução química própria para limpeza dos resíduos de resina que podem ficar sobre a superfície das peças. Após essa etapa, os protótipos são levados para um forno eletromagnético, onde ocorre sua cura completa.

Abaixo podem ser vistas imagens dos modelos produzidos:



FIGURA 94 – Protótipos em resina (a). Modelos desenvolvidos no Senai “Américo René Gianetti” e produzidos por estereolitografia no Senai “Euvaldo Lodi”.

Fonte: fotos produzidas pela autora.



FIGURA 95 – Protótipos em resina (b). Modelos desenvolvidos no Senai “Américo René Gianetti” e produzidos por estereolitografia no Senai “Euvaldo Lodi”.

Fonte: fotos produzidas pela autora.

Nas imagens a seguir, ao centro e à direita, os protótipos foram colocados em canetas, sendo possível ter uma noção da redução da escala:

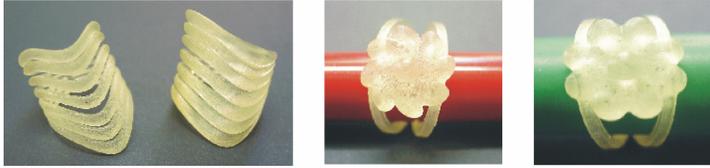


FIGURA 95 – Protótipos em resina (c). Modelos desenvolvidos no Senai “Américo René Gianetti” e produzidos por estereolitografia no Senai “Euvaldo Lodi”.

Fonte: fotos produzidas pela autora.

Através desse experimento foi possível perceber várias dificuldades relacionadas sobretudo ao aprendizado e escolha das ferramentas. A princípio, a falta de informações necessárias levou a uma equivocada escolha pelo *JewelCad*. O desconhecimento dos recursos do software e a falta de suporte necessário ao seu aprendizado foram fatores que certamente influenciaram no processo.

Diante dessas dificuldades, a designer responsável pelos projetos não conseguiu atingir um domínio satisfatório do software e sentiu aumentada sua resistência em relação ao desenvolvimento de projetos em CAD, alegando que “é muito difícil, para quem já desenha há muito tempo no papel, ter paciência para aprender a desenhar no computador.”

A designer alega ter se sentido frustrada com os projetos que desenvolveu em CAD. “No papel tenho maior liberdade. Como não consigo fazer muitas coisas no computador, minha criatividade fica limitada. Posso pensar, mas não tenho condições de executar.”

Nessa situação, a falta de domínio do software gerou erros que puderam ser identificados nas peças finais (principalmente em relação ao tamanho das mesmas).

Aqui foi possível identificar a falta de domínio da ferramenta como geradora de um projeto mal elaborado. No processo convencional utilizando o projeto em papel, devido à falta de informações necessárias ou inadequação destas (que também podemos identificar como a falta de domínio sobre a ferramenta utilizada) muitas vezes o projeto sofre interferências do ourives durante a etapa de execução, para sua adequação à produção (como já foi visto). Já no experimento realizado, ficou demonstrado que as conseqüências da utilização do CAD junto ao CAM aumenta as responsabilidades do designer, uma vez que as conseqüências do projeto mal elaborado são repassadas diretamente para a produção.

- CAPÍTULO 8 -

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada leva a conclusão de que a utilização de sistemas informatizados pode auxiliar muito na resolução de problemas relacionados à interface entre o projeto e a execução no setor joalheiro. Através da melhor avaliação do projeto durante seu desenvolvimento e a possibilidade de confeccionar modelos fiéis ao mesmo, são eliminadas as discrepâncias entre o projeto e o produto final, garantindo que as metas de qualidade definidas durante o processo projetual sejam atingidas com maior rigor, o que, potencialmente, torna as empresas mais competitivas no mercado. Desta forma, o processo de implementação desses sistemas nas indústrias joalheiras deve acontecer inevitavelmente, embora não seja esperado que aconteça de forma rápida.

No que diz respeito às tecnologias os recursos disponíveis no mercado são muitos e já utilizados em outras indústrias com sucesso. Tanto em softwares CAD quanto em sistemas e equipamentos CAM temos atualmente recursos bastante satisfatórios para produção joalheira - embora a maioria não tenha sido desenvolvida especificamente para o setor - que atendem critérios como construção de modelos pequenos e com grande precisão. Contudo, principalmente as técnicas de prototipagem rápida - por se tratarem de uma tecnologia mais recente e com várias possibilidades - ainda apresentam um ritmo de inovação bastante acelerado, com freqüente lançamento de novas máquinas e técnicas. Com isso, é esperado que surjam máquinas de prototipagem cada vez específicas para segmentos distintos como o joalheiro, com tamanhos menores e com custo mais baixo. Para se ter uma idéia, no início desta pesquisa (cerca de três anos atrás) uma máquina de estereolitografia custava a partir de US\$70.000,00 enquanto atualmente existem modelos que utilizam a mesma técnica custando a partir de US\$35.000,00. Paralelamente surgiram modelos que utilizam outras técnicas - principalmente baseadas na tecnologia de impressão tridimensional - e que se adaptaram perfeitamente às necessidades da indústria joalheira, custando a partir de US\$20.000,00 (valores de março/2007).

De qualquer forma, pelas condições apresentadas atualmente, acredita-se que a etapa de confecção do modelo via CAM tende a ser realizada por empresas terceirizadas, devido aos custos que envolvem aquisição dos equipamentos e manutenção regular dos mesmos; mas principalmente pela necessidade de se desenvolver conhecimentos específicos sobre os processos, que são constantemente renovados (principalmente no caso da prototipagem rápida). Como qualquer produto que envolve tecnologias de ponta, com o rápido avanço e inovação das mesmas, em pouco tempo surgem novos equipamentos e técnicas, e os antigos se tornam obsoletos. Dessa forma, os conhecimentos necessários para escolher os melhores equipamentos, técnicas, materiais e monitorar os serviços de prototipagem exigem que o profissional seja especializado.

Para justificar os investimentos com a compra de uma máquina de prototipagem e a manutenção desse profissional dentro da empresa é preciso que a mesma tenha um volume muito grande de modelos produzidos, mantendo a máquina em funcionamento constante. Já as máquinas de usinagem utilizam uma tecnologia mais antiga e por isso não sofrem tantas mudanças. São também mais acessíveis em custo (tanto de aquisição de máquina quanto de manutenção) e possuem a vantagem de poderem ser utilizados diversos tipos de material. No entanto, sua limitação mais significativa para aplicação na indústria joalheira está relacionada à impossibilidade de construção de estruturas mais complexas.

Visto que os custos das máquinas de prototipagem rápida tendem a diminuir com a constante evolução dessas tecnologias, é esperado que o acesso às mesmas seja bastante facilitado e disseminado nos próximos anos. Para a empresa, a tendência é de que sejam ampliadas as possibilidades de escolha tanto para a compra desses equipamentos quanto do número de prestadores de serviços de prototipagem. Portanto, num panorama futuro, os custos de protótipos produzidos por usinagem ou prototipagem, que atualmente giram em torno do dobro do valor dos protótipos artesanais (em média, conforme levantado durante a pesquisa), devem atingir valores bastante semelhantes ou até mais baixos que esses últimos. Da mesma forma, espera-se que o custo de uma máquina de prototipagem, assim como materiais, manutenções, etc., atinjam valores bem mais baixos que os atuais, colocando em dúvida a utilização das máquinas CNC no futuro, já que essa última apresenta maiores restrições para construção de determinadas formas, como já foi dito.

Com a variedade de técnicas desenvolvidas, sobretudo se considerarmos a grande variedade de formas possíveis nas peças joalheiras, pode-se também ter opções mais apropriadas para a fabricação de cada peça especificamente. Assim, a empresa que optar por terceirizar essa

etapa poderá obter vantagens na possibilidade de escolher a melhor relação custo x benefício para cada projeto.

Já existem várias empresas no Brasil que prestam serviços de prototipagem para diversos setores industriais. No entanto, poucas têm em seu histórico o desenvolvimento de modelos para joalheria. Aos poucos, esse cenário vai mudando e empresas que já prestavam serviços para outros setores começaram a atuar na indústria joalheira, como também começam a surgir empresas especializadas na prestação de serviços de usinagem e prototipagem de jóias, o que é muito positivo, visto que estimula o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais adequadas ao setor, como também sua utilização.

Os fatos apontados no decorrer deste trabalho nos levam a concluir que, atualmente, os principais obstáculos para a rápida disseminação desses sistemas no setor estão muito mais relacionados aos fatores humanos do que aos técnicos. Considera-se, no entanto, que esses “fatores humanos” compreendem um estágio natural, iminente ao próprio processo de transição (relatado em muitos setores industriais que passaram por mudanças similares - como descrito na pesquisa), que reflete o despreparo e desconhecimento dos profissionais, tanto dos designers quanto dos próprios empresários, a respeito das tecnologias disponíveis no mercado. Como consequência, existe resistência inicial à mudança e ao novo aprendizado, com a tendência em voltar à antiga forma de trabalho.

A princípio, o uso de sistemas informatizados no setor joalheiro depende dos empresários, que seriam os responsáveis pela implementação dos mesmos nas indústrias. As questões de custos são, sem dúvida, o fator crucial na tomada de decisão dos empresários e os investimentos na aplicação de sistemas CAD/CAM são adiados principalmente pela dificuldade em analisar os reais benefícios proporcionados por essas tecnologias (erros evitados, eliminação de determinadas etapas de acabamento, redução do tempo de desenvolvimento e produção, etc.). O grande número de fatores envolvidos na produção, a falta de padronização dos processos (peças com design variado, que requerem técnicas distintas de produção e acabamento) e a imprevisibilidade na ocorrência de erros dificultam mensurar os custos reais de produção e torna difícil estabelecer uma comparação entre custos e benefícios do processo convencional e com utilização de CAD/CAM. Como se trata de uma aplicação ainda recente, também não existem muitas referências de utilização por empresas dentro do setor que incentivem os empresários a investir nesses sistemas.

Daqui para frente a expectativa é de que, com os avanços nas técnicas e um maior número de empresas especializadas em prototipagem atuando no setor joalheiro, mais fontes de

informação sejam disponibilizadas e os empresários se sintam mais seguros para começar a considerar os benefícios trazidos aos processos produtivos e a implementar efetivamente essas tecnologias nas indústrias.

Atualmente, o que nos parece ser o mais grave obstáculo para a rápida disseminação desses sistemas no setor joalheiro diz respeito à atuação dos designers. O uso dessas tecnologias só é possível com a utilização do sistema CAD3D e ainda não existem profissionais treinados para tal na indústria joalheira. Além do necessário aprendizado desse novo instrumento de trabalho, não é possível que os profissionais fiquem por muito mais tempo produzindo projetos incompatíveis com os processos produtivos. Portanto, a modificação nos meios de comunicação utilizados durante o projeto deve vir junto com a qualificação dos designers no sentido de adequarem seus projetos às necessidades dos outros setores da produção (entre eles o ourives modelista), objetivando um produto final que atenda aos critérios de qualidade desejados. Nesse sentido, o CAD pode ser um aliado, visto que esses sistemas geralmente requerem informações necessárias à produção, forçando a correta elaboração dos projetos.

De qualquer forma, a utilização de sistemas informatizados por si só não garante a solução dos problemas de comunicação existentes atualmente. A melhor capacitação dos designers na elaboração dos projetos representa um fator determinante para a utilização e aproveitamento dos recursos apresentados pelo CAD e pelo CAM.

Profissionais recém formados em cursos universitários voltados para o design de produtos, geralmente têm conhecimento acerca das tecnologias utilizando CAD/CAM e uma visão de métodos de trabalho mais adequados para se atingir metas de qualidade estabelecidas. No entanto, esses profissionais não têm conhecimentos específicos sobre produção joalheira. Por outro lado, os cursos de joalheria disponíveis atualmente não oferecem disciplinas voltadas para o desenvolvimento de projetos em CAD. Dessa forma, o profissional tem que buscar informações de várias fontes, para construir uma bagagem de conhecimentos necessários para a atuação na indústria joalheira.

Como um maior acesso das empresas joalheiras a essas tecnologias e sua maior utilização, as próprias empresas / empresários contratantes do projeto devem exigir que o mesmo seja feito em CAD, forçando uma reciclagem dos profissionais e a adequação dos cursos de preparação de designers de jóias a essa demanda.

Por outro lado, observa-se outra tendência importante, conseqüência da provável terceirização dos processos de fabricação do primeiro modelo utilizando CAM. Atualmente, a grande

maioria dos profissionais de design do setor joalheiro não domina a utilização das ferramentas CAD. Naturalmente, os centros de prototipagem que trabalham com sistemas CAM para produção de protótipos, têm domínio sobre os softwares CAD, também necessários ao seu trabalho. Dessa forma, é esperado que ofereçam - diante da carência de profissionais qualificados no setor - o serviço de transferência do projeto em papel para o CAD (uma vez que sem essa etapa não é possível a utilização do CAM). Essa situação tende a criar conseqüências muito parecidas com as questões problemáticas de interface entre o designer e o ourives modelista vividas no processo convencional de produção. Se o projeto em papel não estiver adequado à produção ou à sua construção no CAD, o mesmo poderá (e deverá) sofrer interferências dos profissionais responsáveis pelo projeto em CAD.

Por isso, para o adequado aproveitamento dos recursos e vantagens oferecidos pelos sistemas CAD/CAM é esperado que os designers se capacitem para utilizar esses novos sistemas de trabalho, não só no que diz respeito ao domínio de softwares CAD para elaboração dos projetos, mas também na adequação dos mesmos aos processos de produção.

A tabela a seguir sintetiza a relação entre o cenário atual e um provável cenário futuro no que diz respeito a aplicação de CAD/CAM na indústria joalheira:

TABELA 9

Cenário atual e futuro na implementação de CAD/CAM no setor joalheiro

	CENÁRIO ATUAL	CENÁRIO FUTURO
Tecnologia	<ul style="list-style-type: none"> > Usinagem: já estabelecida em outras áreas. Início da aplicação em joalheria. > Prototipagem rápida: técnicas em constante evolução. Início da aplicação em joalheria. 	<ul style="list-style-type: none"> > Melhor adequação da técnica de usinagem p/ o setor joalheiro > Surgimento de técnicas mais adequadas p/ joalheria > Tecnologia mais estabelecida e disseminada. > Menores preços dos equipamentos
Empresas prestadoras de serviço	<ul style="list-style-type: none"> > Adequar o conhecimento/recursos tecnológicos às necessidades do setor joalheiro > Pouco <i>Know-how</i> adquirido > Poucas empresas atuando. Preços pouco competitivos 	<ul style="list-style-type: none"> > Maior domínio da tecnologia e da técnica. > Experiência e condições p/ adequar a melhor solução p/ cada situação > Maior concorrência e menores preços (compatíveis com mão-de-obra artesanal)
Empresário	<ul style="list-style-type: none"> > Poucas fontes de informações específicas p/ o setor 	<ul style="list-style-type: none"> > Maior disseminação da tecnologia e maior número de empresas especializadas na prestação de serviços p/ joalheria. > Mais informações disponíveis e fontes de apoio a indústrias / empresários
	<ul style="list-style-type: none"> > Dificuldades em mensurar a relação custos x benefícios 	<ul style="list-style-type: none"> > Menores preços dos protótipos via CAD - compatíveis c/ processo artesanal
Designer	<ul style="list-style-type: none"> > Inadequação dos projetos ao setor produtivo 	<ul style="list-style-type: none"> > Novos profissionais entrando no mercado, mais preparados p/ demandas atuais
	<ul style="list-style-type: none"> > Dificuldades/resistência ao trabalho em CAD 	<ul style="list-style-type: none"> > Exigência de projetos em CAD pelos contratantes

Fonte: elaborado pela autora

Por todos os dados levantados podemos dizer que estamos no início de um processo que envolve – como vimos – várias mudanças.

No que diz respeito a organização do trabalho, a reorganização dos trabalhadores pode ir da progressiva alteração na organização e nos métodos de trabalho utilizados até o desaparecimento de algumas funções e profissionais dentro das empresas.

É esperado que as estruturas de organização do trabalho rígidas sejam rompidas naturalmente pelas novas oportunidades apresentadas pela utilização de sistemas informatizados. Por permitirem a troca de informações à distância, não é mais necessário que o profissional permaneça dentro da empresa todo o tempo. Os profissionais podem trabalhar em casa e se dedicar a vários projetos simultaneamente. A terceirização de várias etapas do processo podem ser dessa forma facilitadas.

Questiona-se se o ourives modelista perderá seu posto de trabalho com a adoção de processos de confecção automatizada do primeiro modelo. Acredita-se que, da mesma forma que os ourives artesãos dominavam todo o processo de fabricação para posteriormente dividirem seu posto e se especializarem em etapas distintas do processo, o ourives modelista deverá se deslocar do seu posto para outro que requer as mesmas habilidades. Também há que se considerar o tradicionalismo e o valor de peças exclusivas, confeccionadas artesanalmente e que têm se mantido no mercado há séculos. Além disso, alguns tipos de processos e acabamentos são peculiares e característicos do trabalho manual e devem ser preservados.

É difícil mensurar com precisão todas as mudanças provocadas a partir da inserção de sistemas informatizados em empresas, mas naturalmente, os avanços nesse sentido provocarão novos parâmetros de avaliação da qualidade do projeto, gerando a partir daí outras mudanças e demandas que alimentarão um crescimento mútuo entre a demanda das indústrias joalheiras, os avanços tecnológicos, as empresas prestadoras de serviços e os designers. A continuação desse processo nos parece irreversível, e tende a gerar melhorias nos processos produtivos que certamente refletirão e contribuirão para a qualidade do produto final, aumentando as condições competitivas e promovendo avanços importantes para a indústria joalheira nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN FACET AWARD. **International jewelry design competition 2001**. 2001
- ANGLOGOLD ASHANTI. **Collection 2004**. 2004.
- BAXTER, Mike. **Projeto de Produto**. 2.ed. São Paulo. Ed. Edgar Blücher Ltda, 2000. 260p.
- BONSIEPE, Gui. **Teoría y Práctica del Diseño Industrial**. Elementos para una manualística crítica. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1978.
- CERVO, A.L.; BERVIAN, P.A. **Metodologia Científica**. 4^a ed. São Paulo: Makron Books, 1996.
- CHALFIN, Miriam G. Criador e Criatura - designers mineiros de jóias conquistam prêmios internacionais e divulgam o Brasil nos principais mercados joalheiros do mundo. **Jornal O Tempo/Pampulha**. Belo Horizonte, 16 a 22 ago. 2003.
- CHENG, Lin Chih. Caracterização da gestão de desenvolvimento do produto: delineando o seu contorno e dimensões básicas. **II Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto**. São Carlos, SP – 30-31 Agosto 2000
- CHUA C.K., LEONG K.F. e LIM C.S. **Rapid Prototyping: Principles and Applications**. 2^a ed. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 2003. 420 p.
- COSTA, Clayton P. Reengenharia do processo de desenvolvimento de produtos baseada em engenharia simultânea e na tecnologia Workgroup Computing. **II CONAI – Congresso Nacional de Automação Industrial**. São Paulo: SUCESU/SOBRACON, 1994.
- COUTINHO, L., FERRAZ, J.C. Superar a Fragilidade Tecnológica e a Ausência de Cooperação. In: **Estudo da Competitividade Industrial Brasileira**. Campinas, 1994. p.125-144.
- FERNANDES, June Marques. **A Formalização de Procedimentos e seu Papel na Integração da Atividade Projetual**. 2005. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Minas Gerais - Departamento de Engenharia de Produção, 2005.
- FLEURY, Afonso C. Gerenciamento do Desenvolvimento de Produtos na Economia Globalizada. **1º Congresso Brasileiro de Gestão do Desenvolvimento de Produto**. In: Anais do 1º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto. 1999. p.1-10.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4^a ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GOMES, Osmar F. **Sistema Integrado de Manufatura para produção de moldes e matrizes**. Trabalho apresentado ao curso de graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

GORNI, A.A. Introdução à Prototipagem Rápida e seus Processos. **Revista Plástico Industrial**, p. 230-239, março 2001.

GRIMM, Todd. **User's Guide to Rapid Prototyping**. Society of Manufacturing Engineers, Michigan, 2004. 404 p.

IBGM - Instituto Brasileiro de Gemas e Metais. **Boletim do Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos**. Ano XIII. n.44. jul a set. 2005.

IBGM - Instituto Brasileiro de Gemas e Metais. **Boletim do Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos**. Ano XIV. n.46. jan a março 2006.

IBGM - Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos. **O setor em grandes números**. Disponível em: www.ibgm.com.br. Acesso em: fev 2007.

IBGM - Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos, MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Política e Ações para a Cadeia Produtiva de Gemas e Jóias**. 2005. Disponível em: www.ibgm.com.br. Acesso em 06 fev 2007.

IBGM - Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos; NÚCLEO SETORIAL DE INFORMAÇÕES EM GEMAS, JÓIAS, BIJUTERIAS E AFINS e REDE DE NÚCLEOS DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Modelagem em Cera – Manual Prático**. CD-ROM.

JURAN, J.M. **A qualidade Desde o Projeto**. São Paulo. Ed. Pioneira, 1992. 551p.

KOTLER, Philip – **Administração de marketing: a edição do novo milênio**. 10.ed. São Paulo. Ed. Prentice Hall, 2000. p.308-314.

LEONG, K.F.; CHUA, C.K.; CHUA, G.S.; TAN, C.H. Abrasive jet deburring of jewellery models built by stereolithography apparatus (SLA). **Journal of Material Processing Technology**. n° 83. 1998. p. 36-47.

MALAQUIAS, V. **Design por Computador: Jewelcad**. (Palestra). 2005.

MOLINARI, L.C., MEGGAZINI, M.C. & UNGARELLI, A. **Rapid prototyping: application to gold jewelry production**. World Gold Council. Artigo no.20. Novembro,1996.

MOREIRA, M.E. Modernizando a produção e revendo conceitos de design. **Revista CADesign**. p.28-35.

MOTTA, F; Bresser. PEREIRA, L. **Introdução à organização burocrática**. 2004. p.33-37.

MUNARI, Bruno. **Das coisas nascem coisas**. Tradução: José Manuel de Vasconcelos. São Paulo. Ed. Martins Fontes, 1998.

NOEUBAUER, Dina. **O designer de jóias na indústria**. Disponível em: www.joiabr.com.br. Acesso em 2004.

NOGUCHI, Liza D. **Os Ourives e os Ossos do Ofício: A Qualidade da Jóia a Partir da Interface entre Projeto e Execução na Produção Joalheira Artesanal**. 2003. 128p. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2003.

PEDROSA, Julieta. **A História da Joalheria**. Disponível em: www.joiabr.com.br . Acesso em jan 2007.

PORTER, Michael E. A Vantagem Competitiva das Nações. In: **Estratégia: A Busca da Vantagem Competitiva**. Ed. Campus, 1990. p. 145-179.

ROMEIRO, E. **O papel do designer brasileiro em uma nova economia globalizada**. In: Estudos em Design. Rio de Janeiro.1996.

ROMEIRO, E. A contribuição do CAD para implantação da engenharia simultânea. In: **1º Congresso Brasileiro de Gestão do Desenvolvimento de Produto**. Anais do 1º Congresso Brasileiro de Gestão do Desenvolvimento de Produto. 1999. p.177-185.

ROMEIRO, E. **A Implantação de Sistemas CAD na Indústria - Aspectos gerenciais, ergonômicos e organizacionais**. 1992. 168p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1992.

ROMEIRO, E. **A Integração da Empresa Através da Utilização de Sistemas Informatizados de Apoio ao Projeto**. 1997. 168p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1997.

RUDIO, Franz Victor. **Introdução ao Projeto de Pesquisa Científica**. 13ª ed. Rio de Janeiro. Ed.Vozes Ltda. 1978.

RUIZ, João Álvaro. **Metodologia Científica: guia para eficiência nos estudos**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 1996.

SALEM, Carlos. **Jóias: Criação e Design**. São Paulo. Ed.Ponto de Leitura, 1998.

SILVA, Júlio César. **Criar ou desenvolver novos produtos?** Disponível em: www.joiabr.com.br . Acesso em: 2005.

SILVA, Elizabete Dias. **Profissionais do design de Jóias que atuam em Minas brilham nas formas e detalhes**. Disponível em: www.ibgm.com.br. Acesso em jan 2007.

SILVA, Elizabete Dias. **TECNOGOLD 2005 - Antenada com a era da Informação e do Conhecimento dará grande ênfase aos três sinônimos atuais da competitividade: conceito-design-tecnologia**. Matéria publicada em 14/05/2005. Disponível em: www.ibgm.com.br. Acesso em dez 2005.

SLACK, Nigel. **Administração da Produção**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2002

TEIXEIRA, Maria Bernadete Santos. **Os Objetos Intermediários da Concepção na Construção Coletiva da Identidade do Produto de Joalheria**. 2002. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2002.

WOHLERS, T. **Rapid Prototyping & Tooling** . Worldwide Progress Report, Colorado, USA, 1998.

SITES RELACIONADOS

www.artis.com.br

www.3dsystems.com

www.cefetpr.br

www.cev.pt

www.cimject.ufsc.br

www.cubicechnologies.com

www.cybamantech.co.uk

www.d-mec.co.jp

www.designinsite.dk

www.envisiontec.com

www.eos.info

www.helisys.com

www.ibgm.com.br

www.interpro-rtc.com

www.jcad.com

www.joiabr.com.br

www.kiracorp.co.jp/kira

www.mcp-group.com

www.optomec.com

www.quarter.com.br

www.rhino3d.com

www.rolanddga.com

www.rpworld.net

www.sculptec.com.br

www.stratasys.com

www.solid-scape.com

www.techjewel.com

www.tomskcad.city.tomsk.net

www.wohlersassociates.com

www.zcorp.com