



USO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE SEMIJOIAS COMO FATOR DE AUMENTO DA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DO PRODUTO

Thaísa Mara Cedano Godoy Patricio de Souza (1);

Galdenoro Botura Jr (2)

(1) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Designer

e-mail: thaisagodoy@hotmail.com.br

(2) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Professor Livre-docente

e-mail: galdenoro@gmail.com

RESUMO

Com o crescimento da indústria joalheira, a necessidade de modernização e aperfeiçoamento produtivo evidenciou a carência de ferramentas para otimizar a produção e elaborar peças mais sofisticadas. Assim, fabricantes se adaptaram à nova realidade e a prototipagem rápida é hoje realidade. O estudo mostra implicações da impressora 3D para a indústria de semijoias, apresentando o estudo de um caso em uma fábrica localizada no município de Bauru. Os resultados foram o aumento produtivo e melhora na qualidade do produto final, demonstrando que a mudança da ergonomia organizacional propiciou também redução de custo, com reflexos diretos no desempenho da empresa.

ABSTRACT

With the growth of the jewelry industry, the necessity to modernize and improve production showed a lack of tools to optimize fabrication and development of more sophisticated products. Thus, manufacturers adapted to the new reality and rapid prototyping is now reality. The study shows implications of 3D printers usage for the semi jewelry industry, presenting a case study in a factory located in the city of Bauru. The results were an increase in production and improvement in the quality of the final product, demonstrating that changing the organizational ergonomics also provided cost reduction, with direct impact on the company performance.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de diminuir custos e aumentar a produtividade dentro de uma indústria é uma das características que mais incentiva a procura por novas tecnologias. Desde o surgimento da impressora 3D, técnica também chamada de prototipagem rápida, sua tecnologia vem avançando e alcançando níveis extremos de precisão, com uso de

vários materiais para a impressão do objeto, até mesmo por uma só máquina. Esse desenvolvimento de tecnologia permitiu que esse método fosse usado para diferentes setores da indústria, desde o medicinal até o de moda.

"Os resultados obtidos mostraram a seguinte distribuição por setor empresarial de atuação: 18% de empresas da área automobilística (montadora/autopeças), 18% da área Eletroeletrônico, 13% da área de Desenvolvimento de Projetos, 13% da área de Plástico (injeção, utensílios, etc.), 13% outras áreas, 10% da área de Eletrodomésticos/Linha Branca, 10% da área de Metal-mecânico (estamparia, usinagem, etc.), 3% da área de Informática, 2% da área de Ferramentaria." (SAURA, 2003).

Chuck Hull é conhecido como o inventor da primeira tecnologia de prototipagem rápida comercial. Essa inovação surgiu na década de 80, quando Hull fundou a 3D Systems. Nomeado em mais de 60 patentes norte-americanas de prototipagem rápida, a ideia consiste em um feixe de luz ultravioleta focado sobre a superfície de um recipiente cheio com líquido de fotopolímeros. O feixe de luz, controlado por computador, desenha cada camada do objeto sobre a superfície do líquido que se transforma em sólido. Percebendo que seu conceito não se limitava a líquidos, lhe deu o nome genérico de "estereolitografia", sendo assim, as patentes abrangem qualquer "material capaz de solidificação" ou "material capaz de alterar o seu estado físico".

"A estereolitografia {Stereolithography, SL}, que foi o primeiro processo de fabricação por camadas desenvolvido, estando disponível comercialmente desde 1988, destina-se à construção de objetos físicos a partir de um modelo em CAD tridimensional, independente da complexidade da forma geométrica da peça, através da fotopolimerização de resinas, à base de epóxi ou acrílico, por um feixe de raios laser ultravioleta, cuja movimentação é controlada por um programa computacional." (GOMIDE, 2000).

De acordo com a 3D Systems, as impressoras utilizam desde plástico ABS simples a metais preciosos, até mesmo açúcar e cerâmica. São mais de 100 materiais, alguns com resistência ao calor, flexibilidade, transparência e propriedades de alta resistência à tração.

"Desde a década de 90, a prototipagem rápida vem sendo largamente empregada como uma alternativa capaz de produzir protótipos com uma fidelidade maior e em curto espaço de tempo, permitindo a otimização e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade dos produtos." (NETO, MERINO, AHRENS, OGLIARI, 2012).

Segundo Oliveira (2011) *"O ferramental de prototipagem rápida já é amplamente utilizado por disciplinas de engenharia mecânica, aeronáutica, medicina, eletro/eletrônicos, etc. Há alguns anos a Arquitetura começou a utilizar as facilidades e o potencial da Prototipagem Rápida." (OLIVEIRA, 2011).*

"Desde o ano de 2013 a apresentação de peças para o vestuário a partir da impressão 3D apresentou um acréscimo de produções. Atualmente, é possível fazer peças de roupas, sapatos, acessórios como óculos e relógios, entre outros." (KUHN, MINUZZI, 2015).

O ramo da indústria joalheira tem presenciado o aumento da concorrência do mercado de semijoias crescendo a cada ano e inspira a necessidade de inovação. *"O mercado atual de design de joias exige não só o planejamento de um projeto de design, mas também habilidades de percepção de grupos de usuários, suas afinidades e suas necessidades."* (LLABERIA, 2009).

Uma das formas encontradas para implementar o aumento do índice de inovação de seus produtos é por meio do uso de prototipagem rápida como forma de alterar os ciclos do processo. Considerando que existem variações do processo de impressão entre as máquinas de prototipagem rápida em relação a materiais e da forma de construção dos produtos, a indústria joalheira fez a opção de usar, prioritariamente, o processo que opera com o uso de resina líquida. Essa resina é colocada em um recipiente e, durante a impressão da peça projetada, recebe uma placa de metal sobre a qual será impresso o objeto desenhado. A resina é curada a partir de um projetor que confecciona por meio de finas camadas sobrepostas a peça final.

No processo tradicional, inicialmente um modelista ou ourives, esculpe em cera ou em metal a peça desejada, criando detalhes, garras e furos de cravação. A fundição por cera perdida é utilizada, consistindo de peça injetada em cera a partir do modelo. Essa peça é colada junto com outras em um canal de cera, formando uma árvore de cera, conforme apresentado na figura 1. Essa árvore é revestida com gesso em um tubo (Figura 2), formando uma casca, um molde cerâmico. Quando esse molde se seca, a cera é derretida, o molde é calcinado em alta temperatura e depois preenchido com o metal líquido. Com o resfriamento do metal, a cerâmica é retirada e o cravador refura o metal e depois escaria cada furo onde será cravada uma pedra, para que o tamanho fique exato em cada uma delas. Depois disso cada garra é empurrada ou dobrada em cima da pedra para que esta fique presa. O tempo desse processo é extremamente longo e, além disso, o fato de ser desenvolvido de maneira totalmente manual, faz com que a peça não fique uniforme.

Figura 1 - Árvore em cera



Fonte: Foto do próprio autor

Figura 2 - Tubos de gesso



Fonte: Foto do próprio autor

"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." (ROCHA, 2007).

Este processo além de demorado, diminui a qualidade final do produto, pois as peças não chegam ao nível de sofisticação, delicadeza e precisão necessárias, tornando-se um acessório mais rústico, sem muito detalhamento. *"São comuns as modificações no projeto original durante a produção da joia. Em alguns casos a essência do projeto é mantida apesar das alterações. Em outros, tais modificações comprometem a ideia original."* (NOGUCHI, 2003).

Devido ao processo artesanal utilizado tradicionalmente, identifica-se que a indústria joalheira tem a necessidade de se modernizar e aperfeiçoar a forma de gerar seus protótipos. Assim, torna-se fundamental que se implante novos métodos onde a peça desenhada não perca sua identidade, tampouco sua precisão, permanecendo exatamente igual ao projeto inicial, com detalhamento e uma aparência mais delicada.

O uso de programas capazes de criar elementos perfeitamente detalhados, unido à possibilidade de impressão 3D conseguiram suprir esse obstáculo, sendo tão precisos que, hoje em dia a impressora é usada para construção de peças automotivas, de ferramentas, no uso da odontologia, arquitetura, etc. *"As impressoras 3D tem criado objetos, por exemplo, para serem usados no ensino de anatomia, na ortodontia e na confecção de próteses."* (AVELINO, 2013)

O uso da prototipagem rápida no processo usado na indústria joalheira acontece a partir do protótipo em metal ou cera obtido através da impressão 3D, com as etapas seguintes se assemelhando ao tradicional. De acordo com a ABIFA (Associação Brasileira de Fundição), o processo com uso de impressão 3D oferece uma excelente estabilidade dimensional, acabamento superficial e faixas de tamanho. Ao associar os valores adicionais ao produto, o processo encurta o prazo de fabricação e diminui os custos totais.

"As tecnologias de prototipagem rápida (Rapid Prototyping, RP) são importantes para a indústria mundial devido, basicamente, proporcionarem, através de protótipos e/ou modelos, redução do tempo de desenvolvimento, identificação de erros de projeto, melhor comunicação entre membros de uma equipe de desenvolvimento, avaliações funcionais de produtos e muitos outros benefícios que este grupo de tecnologias pode oferecer para uma empresa." (BEAL, 2002)

O objetivo desse estudo é aprofundar os conhecimentos sobre a influência do uso da máquina de prototipagem rápida no processo de produção da indústria de semijoias, demonstrando como a mudança da ergonomia organizacional por meio da inserção da impressora 3D interferiu na produção e na qualidade do produto final.

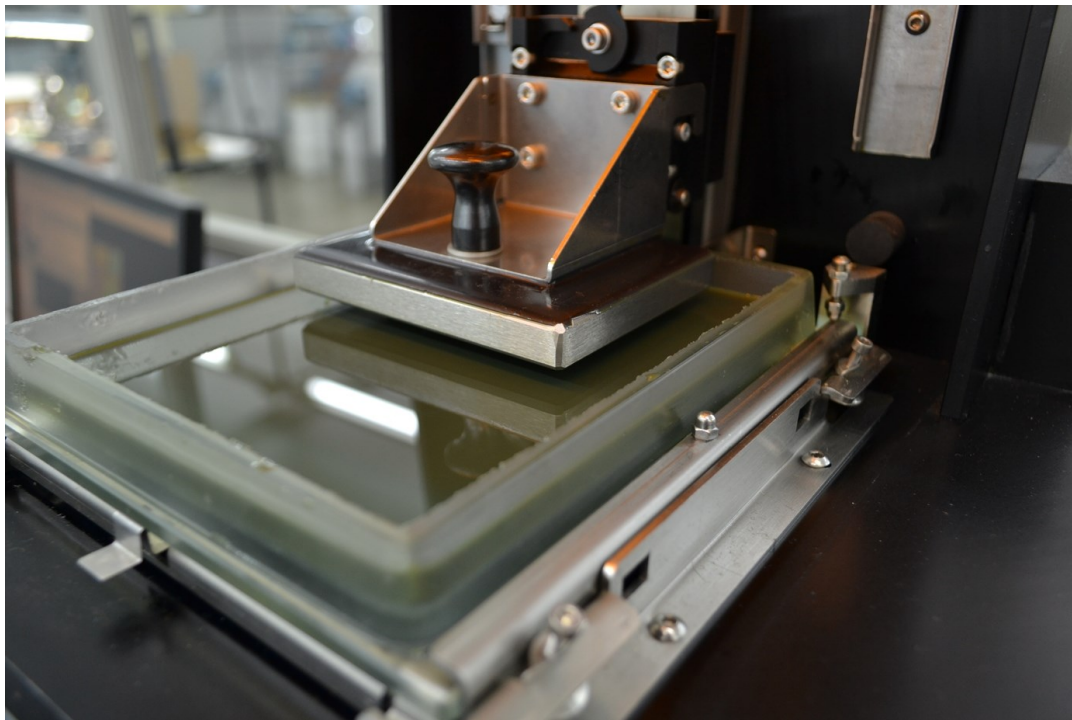
2. DESENVOLVIMENTO

A pesquisa aqui apresentada foi realizada em uma indústria de semijoias no município de Bauru/SP que, atualmente conta com um designer, dois projetistas que fazem a modelagem de peças no programa Matrix, específico para modelagem de joias e uma

máquina de prototipagem rápida Aureus 3D da marca EnvisionTec (Figura3). Foram entrevistados os responsáveis pela produção, fundição, injeção, cravação, acabamento e criação. Essa indústria usa o processo de cera perdida e conta com 147 funcionários ao todo, com capacidade para produção de 6 mil peças brutas por dia (sendo o par de brinco contado como apenas uma peça) e entregando por dia cinco mil peças prontas para a distribuição.

A fim de mostrar os principais benefícios da impressora 3D para a produção de semijoias, dentre eles a diminuição de tempo na produção das peças, diminuição de custo do produto final e melhora significativa no design e no acabamento, foram comparados os dados anteriores ao uso da impressora com as informações atuais, colhidas durante a pesquisa.

Figura 3 - Impressora 3D Aureus em funcionamento



Fonte: Foto do próprio autor.

O início do processo ocorre com o design da peça, começando pelo estudo de similares, público alvo e de materiais. Depois de decidido cada um dos detalhes é feita a modelagem da peça em um programa denominado Matrix (Rhinoceros), específico para joalheria e que possibilita elaborar modelos com perfeição e detalhamento, indicando onde devem ser colocadas todas as características que necessitam estar no objeto final e criando detalhes como os furos para cravações, garras, nome da marca, medidas, etc.

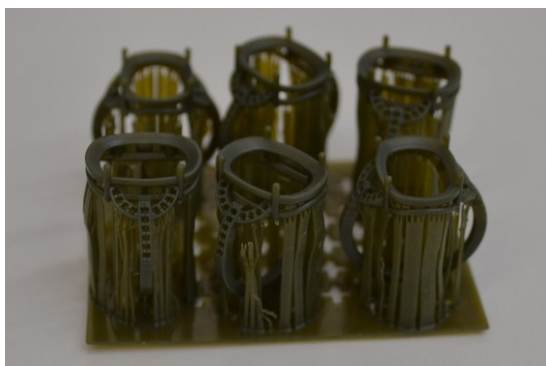
Ainda durante a modelagem da peça são verificados os possíveis problemas de montagem no acessório final e, constatando-se a existência de algum possível

problema posterior, executadas as correções do arquivo e nova prototipagem, caso necessário, podem ser feitas rapidamente. Após o desenvolvimento do modelo é necessário que se faça em uma segunda etapa, a correção de erros de formação, que normalmente surgem durante a modelagem 3D. Nesse mesmo programa são colocados suportes de estruturação para que seja possível a construção do protótipo em resina. A partir de tudo realizado o processo é transferido para a impressora 3D.

O tempo de prototipagem dos adornos depende do tamanho dos exemplares a serem executados e varia de 2 a 9 horas, podendo ser preenchida, durante o processo, toda a bandeja da impressora com peças distintas (Figura 4). Quando o processo termina, o protótipo necessita de ser limpo em álcool de modo a se retirar o excesso de resina líquida que se acumula durante a impressão. Logo depois, retira-se o suporte de construção de cada elemento, deixando secar por completo em uma estufa com luz ultra violeta por aproximadamente duas horas. Após a secagem da peça é dado um rápido acabamento com finas lixas d'água.

A partir do momento que as peças em resina já estão prontas, cada uma delas é colocada separadamente em uma pequena caixa e coberta por um silicone líquido. Após a secagem deste material, são feitos cortes nesse silicone para retirar a peça em resina, deixando em seu lugar um molde resistente (Figura 5). Esse molde cortado vai para um equipamento de injeção, formando a peça completa em cera.

Figura 4 - Protótipos em resina



Fonte: Foto do próprio autor

Figura 5 - Corte no molde de silicone



Fonte: Foto do próprio autor

Nesta fase é feita a cravação, etapa que antes do uso do equipamento estudado não era possível de ser realizada. Este tipo de cravação é feito se houver na peça pedras de até 6mm. Com os moldes já cravados, é confeccionada uma 'árvore' que pode conter várias peças diferentes. Esta é colocada em um tubo completo por gesso que, vai para o forno no processo de 'cera perdida', onde a cera dos moldes se derrete e o tubo de gesso fica como um grande molde.

A partir disso, o metal líquido é despejado nesse tubo de gesso, formando uma 'árvore' de metal (Figura 6). Após o resfriamento do metal, são cortadas todas as peças e passadas para acabamento (Figura 7).

Figura 6, Árvore de metal



Fonte: Foto do próprio autor

Figura7, Peças prontas para acabamento



Fonte: Foto do próprio autor

Para o novo processo de cravação foi criada uma nova ferramenta que funciona como um sugador, com um pequeno bico, que tem a circunferência menor que a da pedra. Esse mecanismo aspira a pedra até que seja feito o encaixe na cera e, por ser uma sucção fraca, quando a pedra crava entre as garras a ferramenta solta facilmente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

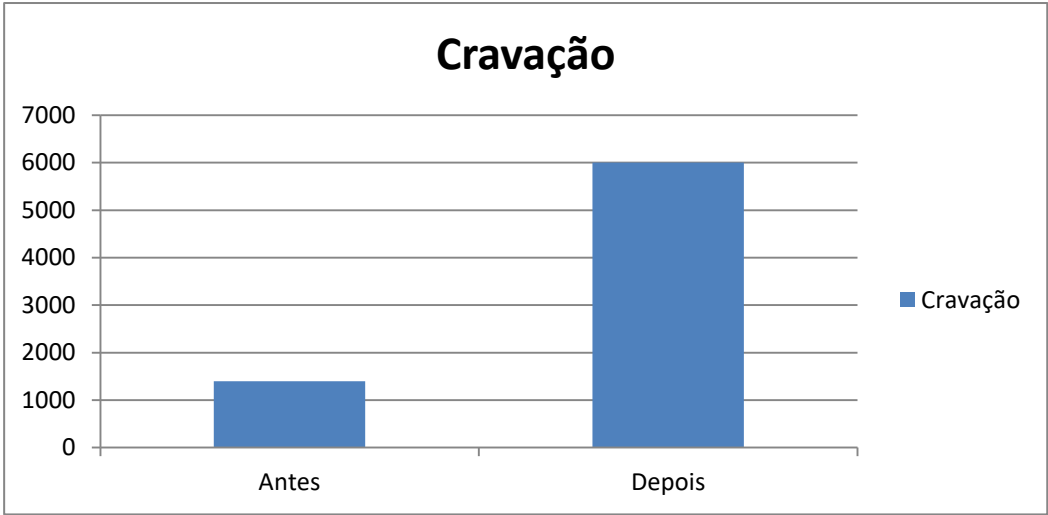
No processo que antecedeu o uso da impressora 3D, o modelista fazia o protótipo à mão no metal ou na cera; um procedimento que poderia durar semanas para uma única peça, além das imperfeições trazidas junto a essa técnica, como a desigualdade de garras e furos, irregularidade na superfície, ausência de detalhes e carência de suavidade. É importante destacar que na época em que o protótipo era feito a mão, os furos para se cravar uma pedra eram apenas vazados. Assim, quando a peça chegava para o cravador, era necessário escariar o furo de acordo com o tamanho da pedra que seria cravada, tentando deixar a peça um pouco mais ajustada ao tamanho da pedra. Dessa maneira o fundidor poderia usar a borracha de silicone quente para fazer o molde, já que não haveria problemas em sofrer pequenas alterações de tamanho no protótipo, uma vez que não continha furos perfeitamente adequados a cravação.

Com o uso do molde em resina, fornecido a partir da prototipagem rápida, houve a necessidade de substituição, começando a ser usado um silicone líquido que, junto a um catalisador, consegue produzir em temperatura ambiente o molde perfeitamente igual ao protótipo, não existindo portanto, nenhuma alteração durante o processo.

Nesse novo método, uma pessoa hoje consegue cravar aproximadamente 6 mil pedras por dia, número máximo considerando uma peça fácil com pedras do mesmo tamanho e, um funcionário demora em média um mês em treinamento. Na cravação em metal, usada antigamente, um cravador com anos de experiência cravava no máximo 1400 pedras por dia, conforme apresentado na Figura 8, e um funcionário

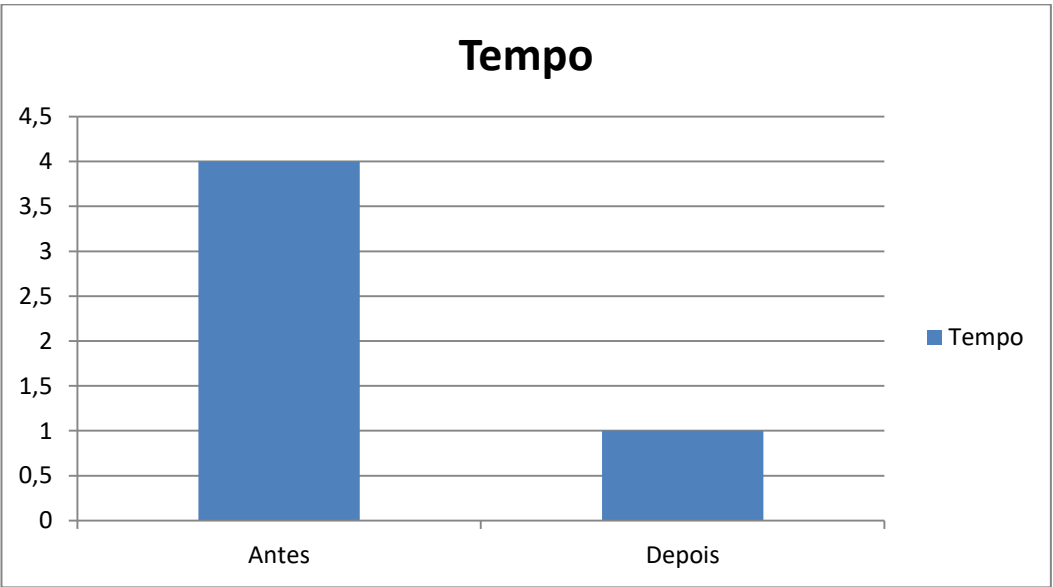
ficava em treinamento, para dominar o processo, aproximadamente 4 meses, conforme Figura 9.

Figura 8 - Quantidade de cravações por dia usando o processo tradicional e a prototipagem rápida



Fonte: Autores

Figura 9 - Tempo de treinamento do profissional em meses



Fonte: Autores

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Um novo processo, responsável por alterar a ergonomia organizacional de uma empresa, foi implementado com a técnica de prototipagem rápida, fazendo com que ocorresse o aumento de produtividade relacionado com a cravação das pedras em cerca de 4 vezes e a diminuição do tempo de treinamento dos funcionários para dominar o processo de 4 meses para apenas 1 mês, além de se propiciar o aumento da produção da empresa e uma significativa melhora qualidade do produto.

O estudo mostrou pontos importantes do processo que tiveram expressiva melhoria após a introdução do equipamento de impressão, tais como o design, detalhamento do produto final, acabamento das peças e aumento da produção. Fato este propiciado por máquinas capazes de polir a peça sem remover material em abundância, já que, após a introdução da prototipagem rápida, as peças passaram a ser muito mais delicadas. Sendo assim, alguns dos adornos não precisam de nenhum acabamento complementar, sendo levados diretamente para limpeza e banho, diminuindo significativamente o uso da lixa, restringido agora apenas a algumas peças. No processo anterior, a peça por ser feita a mão, saía da fundição com um aspecto mais grosseiro e com mais partes para serem lixadas.

O setor de cravação das pedras foi o que mais sofreu influências com a nova tecnologia. Com a utilização da máquina de prototipagem houve a necessidade de modernização das injetoras, que agora são mais precisas e utilizam o processo a vácuo para acompanhar o desenvolvimento da produção. A capacidade de produção dessas injetoras é de mil peças por dia. Com o uso dos protótipos em resina para fazer a borracha, as peças saem praticamente perfeitas da injetora, o que facilita a limpeza da cera e diminui o tempo de acabamento antes da cravação.

Pela análise dos dados apresentados, conclui-se que os principais benefícios obtidos a partir da inserção da máquina de prototipagem 3D dentro do processo de produção da indústria de semijoias foram a capacidade de produção mais acelerada, consequentemente diminuindo o custo do produto final, a precisão no processo de cravação, a possibilidade de fazer peças com o design mais elaborado e um acabamento impecável.

Com relação a mudança da ergonomia organizacional, a tecnologia introduzida gerou a modernização em diversos campos, com necessidades como: um programa computacional específico para joalheria e funcionários devidamente treinados para operá-lo; treinamento de funcionários para utilização da máquina 3D; modernização das injetoras de cera e um novo setor para pré-acabamento das peças fundidas. É indiscutível que as transformações foram de extrema importância para que a indústria se mantivesse no mercado oferecendo produtos de qualidade, de forma mais competitiva e com mais lucratividade para a empresa devido o altíssimo índice de melhoramento na qualidade das peças oferecidas ao consumidor e uma significativa diminuição no tempo de produção de cada uma.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVELINO, S.R. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema baseado em impressora 3D para confecção de blocos compensadores em Radioterapia de Intensidade Modulada IMRT.** Universidade de Brasília, 2013.

BEAL, V.E. **Avaliação do uso de insertos obtidos por estereolitografia na moldagem de pós metálicos por injeção.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

GOMIDE, R.B. **Fabricação de componentes injetados em insertos produzidos por estereolitografia.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

GOUVEIA, M.F. **Aplicação da prototipagem rápida no planejamento de cirurgias craniofaciais.** Tese de doutorado. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2009.

KUHN, R.; MINUZZI, R.F. **Panorama da impressão 3D no design de moda.** Moda Documenta: Museu, Memória e Design, 2015

LLABERIA, E.M.L.C. **Design de jóias: Desafios Contemporâneos.** Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2009.

NOGUCHI, L.D.; ECHTERNACHT, E.H.O. **O ourives e os ossos do ofício: a qualidade da jóia a partir da interface entre projeto e execução na produção joalheira artesanal.** XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção. Ouro Preto, 2003.

OLIVEIRA, M.R. **Modelagem virtual e prototipagem rápida aplicadas em projeto de arquitetura.** Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011

ROCHA, V.C. **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, 2007

SABINO NETTO, A. C.; MERINO, E. A. D.; AHRENS, C. H.; OGLIARI, A. **Desenvolvimento ergonômico de produtos de plástico auxiliado por protótipos rápidos.** UFSC, 2012.

SAURA, C.E. **Aplicação da prototipagem rápida na melhoria do processo de desenvolvimento de produtos em pequenas e medias empresas.** Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

7. AGRADECIMENTOS

A FAPESP - Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio por meio do Processo de Nº 2014/19854-2.