

# Manufatura aditiva na gestão de processos industriais de cerâmica

Rosinei Batista Ribeiro

Pós-doutorado em Materiais pelo ITA  
Prof. Dr. pela UPEP-CEETEPS  
Email: rosinei.ribeiro@cpspos.sp.gov.br

Adriano José Sorbille de Souza

Doutor em Tec. da Inteligência e Design Digital pela PUC-SP  
Prof. Dr. na Fatec Cruzeiro – Prof. Waldomiro May  
Email: adriano.souza26@fatec.sp.gov.br

Érik Leonel Luciano

Mestre em Gestão e Tec. em Sist. Prod. pela UPEP-CEETEPS  
Professor da Fatec Cruzeiro – Prof. Waldomiro May  
Email: erik.luciano@fatec.sp.gov.br

Recebido: 15 dez 2023 Aprovado: 30 abr. 2024

**Resumo:** Esse artigo objetiva a aplicação de técnicas de modelamento virtual 3D em substituição a modelagem tradicional artesanal, com a utilização de equipamentos e tecnologias de manufatura aditiva nas confecções dos modelos que serão a base para produção das matrizes. O resultado demonstra um ganho significativo de tempo no processo de confecção dos modelos impactando tanto na seleção dos materiais, produção como na qualidade das peças finais, de forma sustentável.

**Palavras-chave:** Design. Cerâmica. Manufatura Aditiva. Processos de Fabricação.

**Abstract:** This article aims to apply 3D virtual modeling techniques as a substitute for traditional handcrafted modeling, utilizing equipment and additive manufacturing technologies in the creation of models that will serve as the basis for matrix production. The result demonstrates a significant reduction in the time required for model production, impacting material selection, production processes, and the quality of the final products, all in a sustainable manner.

**Keywords:** Design. Ceramics. Additive Manufacturing. Manufacturing Processes.

**Resumen:** Este artículo tiene como objetivo aplicar técnicas de modelado virtual 3D en sustitución del modelado artesanal tradicional, con el uso de equipos y tecnologías de fabricación aditiva en la producción de modelos que serán la base para producir las matrices. El resultado demuestra un importante ahorro de tiempo en el proceso de realización de los modelos, impactando tanto en la selección de materiales, como en la producción y la calidad de las piezas finales, de forma sostenible.

**Palabras clave:** Diseño. Cerámica. Fabricación aditiva. Procesos de manufactura.

## **Introdução**

O processo de gestão de desenvolvimento de produtos é um conjunto de atividades e etapas que visam criar, melhorar e lançar novos produtos no mercado. Envolve desde a concepção do produto até sua comercialização e pós-venda. As etapas de gestão do processo de desenvolvimento de produtos industriais são compostas pela descoberta e identificação das necessidades dos usuários e suas delimitações, a idealização de novas soluções possíveis levando em consideração requisitos e restrições, métodos de fabricação, análises, testes até o descarte do produto (Cooper, 2017).

Volpato (2007), afirma que as empresas de padrão *world class* conseguem identificar com precisão as necessidades dos usuários e rapidamente desenvolver produtos que atendam a demanda solicitada, levando em consideração estética a estética, qualidade, custo, funcionalidade entre outros. Na atualidade as indústrias buscam soluções inovadoras para se destacar frente a concorrência, manter ou aumentar sua posição no mercado (Löbach, 2001).

A utilização de ferramentas e técnicas computacionais tem se tornado comum na gestão do processo de desenvolvimento de produtos, principalmente em empresas que buscam reduzir o tempo de desenvolvimento e melhorar a qualidade dos processos com o objetivo de aumentar sua competitividade no mercado. Essas ferramentas incluem softwares de modelagem e simulação, que permitem a criação e análise de protótipos virtuais antes da fabricação física, reduzindo assim o tempo e os custos associados ao desenvolvimento de protótipos físicos. Além disso, permitem a realização de análises e simulações mais precisas e detalhadas, o que pode levar a uma melhor compreensão do comportamento do produto em diferentes condições de operação e, conseqüentemente, à melhoria da qualidade do produto final (Ullman, 2010).

## **2. Fundamentação teórica**

### **2.1. Projeto de produto**

O projeto de produto é uma etapa fundamental no desenvolvimento de artefatos cerâmicos que consiste no processo de concepção, criação e especificação das

características e funcionalidades do produto final. Tradicionalmente, o projeto de produto era realizado por meio da modelagem artesanal, exigindo habilidades manuais e experiência dos designers e artesãos.

No entanto, com o avanço das tecnologias de modelamento virtual 3D, tornou-se possível criar modelos virtuais tridimensionais que reproduzem fielmente as características e detalhes do produto. Essa abordagem oferece uma série de vantagens, como maior precisão na representação do design, facilidade de modificação e simulação de diferentes cenários (Stewart, 2016).

Ao utilizar técnicas de modelamento virtual 3D, o projeto de produto na indústria cerâmica se beneficia de uma visualização mais realista e precisa do produto final, permitindo a identificação de possíveis problemas de design, antecipação de falhas estruturais e melhoria da estética. Além disso, a modelagem virtual 3D facilita a comunicação entre designers, engenheiros e fabricantes, agilizando o processo de desenvolvimento e reduzindo erros e retrabalhos (Lee, Shim, Park, 2017).

### **2.2 Manufatura aditiva**

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, é uma tecnologia revolucionária que permite a fabricação de objetos tridimensionais a partir da deposição de materiais camada por camada. Diferentemente dos processos tradicionais de fabricação subtrativa, nos quais o material é removido para obter a forma desejada, a manufatura aditiva adiciona material de forma controlada para construir a peça.

Na indústria cerâmica, a manufatura aditiva tem se mostrado uma alternativa promissora para a fabricação de modelos, moldes e matrizes. A utilização de equipamentos e tecnologias de manufatura aditiva nesse contexto permite a produção de peças com geometrias complexas, detalhamento preciso e menor tempo de fabricação em comparação com os métodos artesanais tradicionais (Zocca, Colombo, Gomes, 2015).

A manufatura aditiva oferece diversas vantagens para a indústria cerâmica. Primeiramente, permite a produção de modelos virtuais em 3D diretamente a partir de softwares de modelagem, eliminando a necessidade de esculpir manualmente cada modelo. Além disso, a manufatura aditiva possibilita a criação de estruturas internas complexas, otimizando o desempenho e a funcionalidade das peças cerâmicas (Wang et al., 2018).

Outra vantagem da manufatura aditiva na indústria cerâmica é a redução do desperdício de material. A adição controlada de material camada por camada permite um uso mais eficiente dos recursos, resultando em menor geração de resíduos. Além disso, a manufatura aditiva possibilita a reutilização dos modelos virtuais em diferentes projetos, proporcionando uma abordagem mais sustentável e econômica (Domingo-Espin, Campoy, Ciurana, 2020).

### 3. Metodologia

Para execução deste trabalho, a metodologia seguiu os seguintes passos:

1º Passo: Definição dos objetivos: Aplicar técnicas avançadas de modelamento virtual 3D e manufatura aditiva na indústria cerâmica. Especificamente, buscou-se: Substituir a modelagem tradicional artesanal por modelamento virtual 3D; Utilizar equipamentos e tecnologias de manufatura aditiva na produção dos modelos que servirão como base para a fabricação das matrizes; Comparar as vantagens da manufatura aditiva em relação a outros processos de fabricação, principalmente no que diz respeito à construção de modelos virtuais para físicos, *mock-up* e outros.

2º Passo: Seleção de equipamentos e software: Realizou-se uma extensa pesquisa para selecionar os equipamentos adequados de manufatura aditiva para atender às necessidades da indústria cerâmica. Além disso, foi selecionado cuidadosamente softwares de modelagem e simulação 3D capazes de proporcionar detalhamento dos desenhos, análise estética, análises estruturais e térmicas.

3º Passo: Modelagem virtual 3D: Durante essa etapa, foca-se no detalhamento dos desenhos, criando geometrias precisas e complexas. Além disso, realizo-se análises estéticas para garantir que o design atendesse às especificações e requisitos do produto final.

4º Passo: Manufatura aditiva: Prepara-se os modelos virtuais 3D para a manufatura aditiva, incluiu a conversão dos modelos em arquivos adequados para os equipamentos selecionados. Também foi configurado os parâmetros de impressão, como velocidade de impressão, espessura de camadas e seleção dos materiais a serem utilizados.

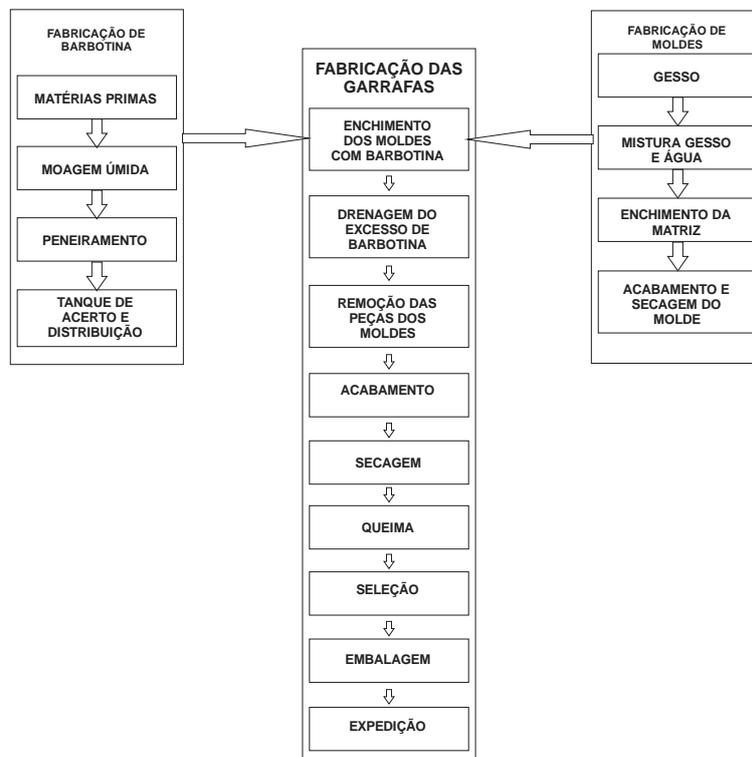
5º Passo: Produção das matrizes: Os modelos impressos em 3D foram utilizados como base para a produção das matrizes. Durante essa etapa, avaliou-se a viabilidade e a eficiência da utilização das matrizes produzidas a partir dos modelos virtuais 3D.

6º Passo: Integração com o sistema CAM: Integração dos modelos virtuais 3D com o sistema CAM para otimizar os processos produtivos. Essa integração permitiu a geração de trajetórias de ferramentas e a programação CNC para a fabricação das peças cerâmicas.

7ª Passo: Análise de resultados: Análise dos resultados obtidos com a metodologia proposta. Isso incluiu a avaliação do tempo de confecção dos modelos em comparação com os métodos artesanais tradicionais. Também analisa-se a qualidade das peças cerâmicas produzidas a partir das matrizes obtidas pela manufatura aditiva. Além disso, compara-se as vantagens e desvantagens da metodologia de modelamento virtual 3D e manufatura aditiva em relação a outros processos de fabricação.

O processo de fabricação escolhido a ser analisado neste trabalho foi a produção de peças cerâmicas denominadas "colagem" ou "barbotina", que é um processo de fundição em que são necessários modelos tridimensionais, moldes, vazamentos e acabamento das peças, Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do processo de fabricação das garrafas de cerâmica (barbotina, colagem).



Fonte: Os Autores (2023).

## 4. Resultados e discussão

### 4.1 Design do produto

As Metodologias de desenvolvimento e gestão de produtos são fundamentais para que a elaboração e execução do projeto tenham sucesso somando o problema ou as necessidades com mais facilidade. Esse processo de projetar, construir, testar e otimizar é feito em ciclos até a documentação e homologação do produto. Os processos de pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento de produtos engloba cálculos, orçamentos, desenhos detalhados, planejamento de manufatura, lançamento do produto no mercado, manutenção, parcerias, fornecedores entre outros (Rozenfeld et al, 2005).

### 4.2 Etapas do processo de desenvolvimento de produto e manufatura aditiva

O desenvolvimento de produtos usa frequentemente modelos e protótipos físicos, eles são úteis nos ensaios dos produtos no planejamento da produção, no layout da fábrica, no set-up das máquinas entre outros. Permitem observar a forma, cores, texturas além da avaliação ergonômica, experiências funcionais do produto pelo usuário ajudam no entendimento cognitivo do produto com mais facilidades do que nos esboços tridimensionais, Figura 2.

Figura 2 – Modelo virtual criado em sistemas CAD®.



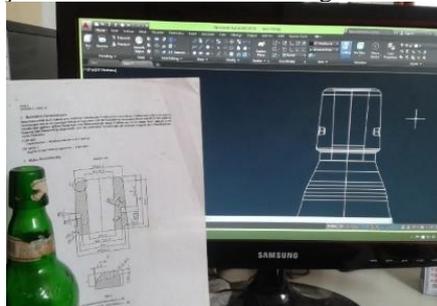
Fonte: Os Autores (2023).

A criação de modelos físicos é fundamental, pois nos modelos virtuais não é possível uma integração direta embora exista grande utilidade na utilização de modelos virtuais, como por exemplo, no estudo de cores, texturas, análises e simulação dos materiais empregados. A manufatura aditiva em comparação com outros processos de fabricação pode trazer algumas vantagens em relação a construção principalmente de

modelos, *mock-up* entre outros, pressupõe que a manufatura aditiva pode ser definida como um processo de fabricação por meio da adição de material em forma de camadas planas sucessivas (Volpato, 2007).

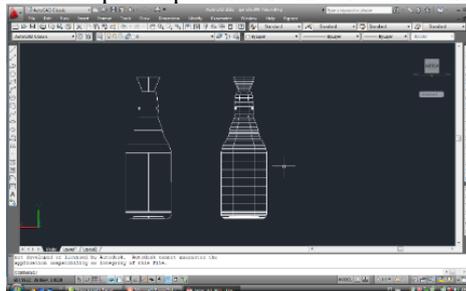
Pressupõe Gorni (2001), que os dados gerados a partir dos sistemas CAD possibilitam uma fonte de dados para a fabricação direta dos protótipos, Figura 2. Esse sistema juntamente com equipamentos de impressão 3D permitem aos projetistas produzirem os modelos virtuais e protótipos físicos rapidamente com baixo custo que permitam análises visuais para as análises e discussões sobre a estética, testes funcionais, identidade e ergonômicos do produto entre outros. Em todas as fases do processo de desenvolvimento de produtos o sistema CAD com suas características de concepção de elementos tridimensionais, Figuras 3 a 7.

Figura 3 – Esboço e detalhamento técnico de garrafas cerâmicas.



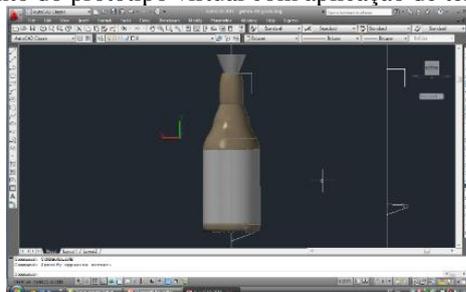
Fonte: Os Autores (2023).

Figura 4 – Desenvolvimento do protótipo virtual em software com tecnologia 3D.



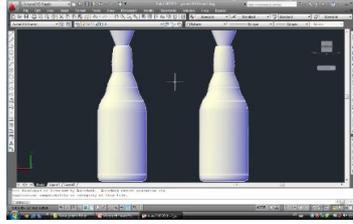
Fonte: Os Autores (2023).

Figura 5 – Desenvolvimento do protótipo virtual com aplicação de texturas conceituais.



Fonte: Os Autores (2023).

Figura 6 – Acabamento do protótipo virtual com aplicação de texturas conceituais.



Fonte: Os Autores (2023).

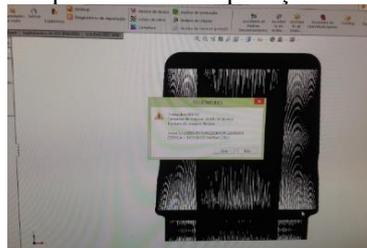
Figura 7 – Render do protótipo virtual com aplicação de texturas realistas.



Fonte: Os Autores (2023).

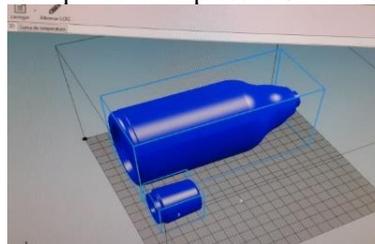
A partir do modelo 3D criado no sistema CAD é gerado arquivos computacionais de saída para impressoras 3D no formato STL (Stereolithography), que gera uma reprodução em malha triangular do modelo 3D. Esse arquivo STL é interpretado pela grande maioria de equipamentos de prototipagem 3D, possibilitando a confecção do modelo em um tempo relativamente pequeno com desenvolvimento preciso e um bom acabamento, além da possibilidade do armazenamento e edição dos modelos computacionais tridimensional, Figuras 8 a 11.

Figura 8 – Render do protótipo virtual com aplicação de texturas realistas.



Fonte: Os Autores (2023).

Figura 9 – Geração dos arquivos de impressão STL no sistema CAD.



Fonte: Os Autores (2023).

Figura 10 – Visualização dos arquivos de impressão STL para impressão.



Fonte: Os Autores (2023).

Figura 11 – Peça cerâmica finalizada com decoração personalizada.



Fonte: Os Autores (2023).

### 4.3 Processo de produção e prova industrial

O processo de fabricação de garrafas cerâmicas, utiliza uma tecnologia de conformação de peças conhecida mundialmente como colagem de barbotina. Esse processo, semiartesanal, consiste no enchimento de moldes de gesso no formato das peças finais, com uma massa cerâmica (barbotina) composta por uma suspensão de matérias primas naturais como: argila, água e aditivos que permitam o controle de sua viscosidade.

A técnica de colagem de barbotina é amplamente utilizada na fabricação de garrafas cerâmicas, devido às suas propriedades porosas, que permitem a filtragem de líquidos ou não. Além disso, as garrafas cerâmicas são mais resistentes a impactos e temperaturas elevadas do que as garrafas de vidro, o que as torna uma opção atraente para o armazenamento de bebidas, como vinhos e cervejas.

Após a conformação nos moldes, é realizada a secagem completa da garrafa, ela passa por um processo de acabamento, que pode incluir a aplicação de esmaltes, decorações ou gravações. Em seguida, as garrafas são levadas a um forno para a queima, que pode levar várias horas, dependendo do tamanho e da espessura da garrafa. Durante a queima, a temperatura é elevada gradualmente para evitar a ruptura da garrafa e alcançar a temperatura necessária para a sinterização da argila, que faz com que a garrafa se torne mais resistente e durável.

Nesse estudo verificou-se que as peças após conformadas, acabadas, secas e queimadas em forno à temperatura de  $1.175^{\circ}\text{C}$  tem um ciclo de queima de 10 horas. Após classificação final as peças são então embaladas e expedidas.

No setor da indústria cerâmica a utilização desse processo é necessária a confecção de modelos, moldes e matrizes que tradicionalmente são feitos a partir de métodos artesanais. O problema do método artesanal ou semiartesanal é que toda vez que se necessita de ajuste o trabalho é demorado e custoso, isso quando não tem que recomençar todo processo. Com a utilização de sistemas eletrônicos de modelagem CAD 3D as alterações são feitas diretamente no arquivo eletrônico do projeto agilizando todo processo diminuindo custos.

A gestão do processo de fundição por borbotina em cerâmica segue algumas etapas semelhantes ao processo utilizado na fundição de metais. Algumas dessas etapas incluem:

- a. Preparação da massa cerâmica: a massa cerâmica é preparada com uma mistura de argila, feldspato e outros materiais. A proporção dos materiais utilizados pode variar de acordo com o tipo de peça a ser produzida.
- b. Preparação do molde: o molde é preparado com gesso e outros materiais para formar o molde vazado da peça. É importante garantir que o molde esteja limpo e seco antes da injeção da massa cerâmica.
- c. Injeção da massa cerâmica: a massa cerâmica é injetada na cavidade do molde sob pressão, preenchendo toda a cavidade e garantindo a formação da peça desejada.
- d. Secagem da peça: após a injeção da massa cerâmica, a peça é deixada para secar até que a umidade seja removida completamente.
- e. Desmolde da peça: o molde é removido cuidadosamente da peça cerâmica.
- f. Acabamento da peça: a peça é lixada e acabada para remover quaisquer imperfeições ou rebarbas.

A gestão do processo de fundição por borbotina em cerâmica envolve ainda a escolha dos materiais, o controle da temperatura e do tempo de secagem, a inspeção da qualidade da peça e outros fatores importantes para garantir a produção de peças de alta qualidade (Carter, Norton, 2007).

No processo de fundição por borbotina em cerâmica, a produção de modelos e moldes é uma etapa fundamental para garantir a qualidade e precisão das peças. Os modelos são utilizados como referência para a produção das matrizes e moldes, que por sua vez serão utilizados para produzir as peças finais. O início do processo se dá com a produção dos modelos que podem ser de diversos materiais como, por exemplo, em

madeira, argila, gesso ou polímeros. As matrizes são confeccionadas com materiais poliméricos e os moldes são produzidos a partir de gesso, silicone ou outros materiais resistentes ao calor e à abrasão, para se produzir peças em escala industrial.

O processo de produção dos moldes inclui etapas como a preparação da superfície, aplicação de camadas de material e secagem. É importante que os moldes sejam resistentes e duráveis para suportar o processo de injeção da massa cerâmica (Carter, Norton, 2007).

Esse projeto propôs a aplicação de técnicas de modelamento virtual 3D em substituição a modelagem tradicional artesanal, com a utilização de equipamentos e tecnologias de manufatura aditiva nas confecções dos modelos que serão a base para produção das matrizes. O processo foi desenvolvido em uma indústria cerâmica localizado na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte – RMVPLN, São Paulo, especializada em linhas de embalagens para envasamento de material líquido com bebidas, perfumes, temperos entre outros. As peças são ocas e produzidas por colagem de barbotina, Figura 12.

Figura 12 – Modelos tradicionais de madeira feitos artesanalmente.

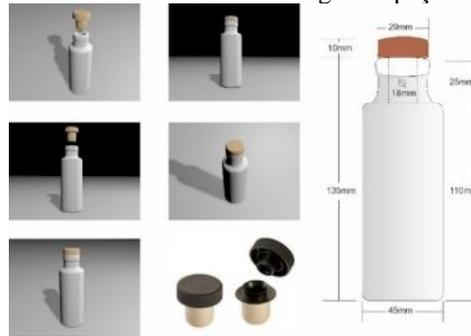


Fonte: Os Autores (2023).

As etapas do processo se resumem ao desenvolvimento do design das peças, sua adequação as normas ABNT, dimensionamento para as tampas padronizadas pelo mercado e aos tipos de vedações. Em seguida foi gerado esboços do produto para servir de base do protótipo 3D e a confecção do modelo físico que anteriormente era confeccionado manualmente por um modelista de forma semiartesanal e agora por meio do modelagem e impressão 3D.

Após a aprovação do modelo e dos testes pilotos são desenvolvidas as matrizes para a produção dos moldes de vazamento (fundição) da argila líquida, em seguida ocorre a conformação e a secagem para que seja possível a queima, Figura 13.

Figura 13 – Desenvolvimento do design das peças cerâmicas.



Fonte: Os Autores (2023).

O processo de “Colagem” consiste em vaziar a argila líquida em um molde de gesso, em que permanecerá durante um tempo determinado até que a água contida na argila seja absorvida pelo gesso; formando a parede da peça. O produto assim formado apresentará uma configuração externa que reproduz a formato interno do molde de gesso, Figuras 14 a 16.

Figuras 14 (a e b) – Matriz (azul) para produção dos moldes em gesso.



Fonte: Os Autores (2023).

Figuras 15 (a e b) – Processo de Fundição em moldes de gesso das peças cerâmicas.



Fonte: Os Autores (2023).

Figuras 16 – Desmoldagem – Retirada das peças do molde, após o processo de fundição.



Fonte: Os Autores (2023).

O processamento de queima é fundamental para obtenção dos produtos cerâmicos, pois dele dependem o desenvolvimento das propriedades finais destes produtos. Nessa operação, conhecida também por sinterização, os produtos adquirem suas propriedades finais, esse tratamento compreende as etapas de secagem e queima. As peças, após secagem, são submetidas a um tratamento térmico a temperaturas elevadas, em fornos contínuos ou intermitentes que operam em três fases: Aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura desejada; Patamar durante certo tempo na temperatura especificada e Resfriamento até temperaturas inferiores, Figuras 17 (a) e (b).

Figuras 17a e b – Processo de queima e tratamento térmico das peças cerâmicas em ambiente controlado.



Fonte: Os Autores (2023).

O acabamento é feito com esmalte ou vidrado, que formam uma camada vítrea, delgada e contínua. O objetivo desse processo é aprimorar a estética, tornar o produto impermeável, melhorar a resistência mecânica e propriedades elétricas entre outros fatores. Os resultados alcançados com a mudança de processo foram significativos no que diz respeito ao tempo de projeto.

No processo artesanal o tempo médio para o desenvolvimento era de quase dois meses desde o início do projeto até o protótipo piloto, com custos elevados por conta do deslocamento, dos materiais utilizados, da mão de obra especializada entre outros. O tempo com a utilização dos protótipos virtuais e modelos produzidos a partir de impressoras 3D diminuíram quase 75% em relação ao artesanal e os valores investidos no projeto em torno de 50% com a diminuição de erros e retrabalhos, Figura 18.

Figuras 18 – Acabamento com a utilização de esmalte (branca) e sem esmalte (terra cota).



Fonte: Os Autores (2023).

### **Considerações finais**

A utilização de tecnologias avançadas de modelagem 3D e impressão de moldes em cerâmica tem se mostrado uma tendência crescente na indústria cerâmica. Essas tecnologias permitem a produção de modelos e moldes com alta precisão e complexidade, reduzindo o tempo de produção e aumentando a eficiência do processo.

A adequação do produto está associado à habilidade da empresa em identificar as necessidades dos clientes e imediatamente desenvolver produtos de forma a atendê-las a um tempo e custo competitivo. Em todo processo de desenvolvimento é necessário que sua elaboração e execução sejam orientadas por ferramentas, a fim de direcionar e facilitar a solução do problema ou sanar a necessidade detectada. As novas tecnologias computacionais associadas aos processos de manufatura aditiva quando inserido no processo de desenvolvimento de produtos ou no setor produtivo tem a capacidade de propor novas interações alavancando produtividade ao setor industrial, agregando valor aos produtos e dimensionando todo setor comercial.

Com o levantamento dos problemas e os planos de ação aplicados nesse estudo, houve uma maior agilidade e menor tempo de desenvolvimento e produção das garrafas além da diminuição dos custos de desenvolvimento dos modelos, proporcionando um alinhamento entre pedido de desenvolvimento e a entrega do produto aos clientes. O resultado demonstra um ganho significativo de tempo do processo de confecção dos modelos impactando tanto na produção, quanto na qualidade das peças finais.

## Referências

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15270-1: Componentes cerâmicos**. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos, Rio de Janeiro, RJ, 11 p. 2005.
- CARTER, C., NORTON, M. **Ceramic materials: science and engineering**. s. l: Springer, p. 400-450. 2007.
- COOPER, R.G. **Product leadership: how top product managers launch awesome products and build successful teams**. New York: McGraw-Hill Education. 2017.
- DOMINGO-ESPIN, M.; CAMPOY, P.; CIURANA, J. Additive manufacturing of ceramics: a review. **Materials**, v. 13, n. 7, p. 1507, 2020.
- GORNI, A. A. Introdução à manufatura aditiva e seus processos: editor técnico, **Revista Plástico Industrial**. Mar. 2001. p. 230-239. Disponível em: <<http://www.gorni.eng.br/protrap.html>>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- GODINHO K. O., HOLANDA, J. N. F., DA SILVA, A. G. P. Obtenção e avaliação de propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos à base de argila e vidros reciclados. **Cerâmica**, 51, 419-427, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/jfWszhqLBhygTCqB4Lb7GPm/>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- LEE, Y. J.; SHIM, J. S.; PARK, J. A study on the application of 3D modeling techniques in industrial design. **International Journal of Control and Automation**, v. 10, n. 9, p. 75-84, 2017.
- LÖBACH, B. **Design industrial**. São Paulo: Edgard Blücher. 2001.
- MEDEIROS, E.N.M., SPOSTO, R.M., NEVES, G.A., MENEZES, R.R. Incorporação de cinza de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz em massa cerâmica: utilização da técnica de planejamento, **Cerâmica**, 56, p. 399-404, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/LKCh4ddWpVQdzQj8SKFTZ6g/>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- STEWART, J. **3D Modeling and design: a guide to CAD techniques**. 3. ed. Wiley, 2016.
- ZHANG, L. Production of bricks from waste materials – a review. **Constr Build Mater**, 47, p. 643–55, 2013.
- VOLPATO, N. **Manufatura aditiva: tecnologia e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.
- ZACCARON, A., BENEDET, G.A., ROSSO, F., NANDI, V.S., FERNANDES, P., BERNARDIN, A.M., PICCOLI, R. Incorporação de vidro na composição da massa de cerâmica vermelha como valorização de resíduo, In: **Anais do 7º Fórum Internacional de**

Resíduos Sólidos, Porto Alegre, RS., v. único. p. 1-7, 2016. Disponível em: <https://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/79>. Acesso em: 20 nov. 2023.

ZOCCA, A.; COLOMBO, P.; GOMES, C. M. Additive manufacturing of ceramics: issues, potentialities, and opportunities. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 98, n. 7, p. 1983-2001, 2015. Disponível em: <https://ceramics.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jace.13700>. Acesso em: 20 nov. 2023.

ULLMAN, D.G. **The mechanical design process**. New York: McGraw-Hill Education. 2010.

WANG, M. et al. Design and manufacture of ceramics via 3D printing technology. **Ceramic International**, v. 44, n. 18, p. 21757-21777, 2018.