REVISTA DESIGN & TECNOLOGIA
ISSN: 2178-1974
2021, Vol. 11, No. 22
DOI 10.23972/det2021iss22pp14-30

PGDESIGN
www.pgdesign.ufrgs.br

A importância da manufatura aditiva no processo de design de embalagens: o caso das Memórias de Resultado (MRs)

Rubenio dos S. Barros[1]; Raimundo L. Diniz[2]; Denilson M. Santos[2]; Karina P. Bontempo[3]

1 *Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.*

2 *Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Brasil.*

3 *Departamento de Desenho e Tecnologia, UFMA, São Luís, Brasil.*

RESUMO

A Manufatura Aditiva (*Additive Manufacturing* – AM), contribui para o design de produtos ao materializar ideias e projetos, se caracterizando como uma ferramenta importante no processo criativo. Nesse sentido, este artigo discute a influência da utilização da AM no processo de design de embalagens, sendo descritos os momentos nos quais foram tomadas ações para a concretização das ideias e como a AM contribuiu para o refinamento da embalagem. Para tal, a AM foi aplicada no projeto de redesign das embalagens de Memórias de Resultado (MRs), que são dispositivos que armazenam informações para o funcionamento das urnas eletrônicas. A pesquisa é de natureza aplicada, objetivo exploratório e teve como procedimento um estudo de caso. A AM foi incorporada como uma ferramenta dentro de uma metodologia específica para o design de embalagens, o Guia de Orientação para o Desenvolvimento de Embalagens (GODE). O uso da tecnologia perpassou diversas etapas do processo de design, com a construção de modelos (representações tridimensionais) específicos para melhor compreensão e análise das especificações. Foram incorporadas ainda técnicas para obtenção de auxílio de profissionais e usuários para avaliação a partir das peças desenvolvidas por AM, como a técnica Delphi e a ferramenta *Thinking Out Loud*. A AM demonstrou a eficácia das configurações da embalagem de uma forma que a descrição verbal ou a imagem bidimensional seria incapaz de comunicar. Auxiliou ainda na melhor compreensão do projeto pela equipe de design e por indivíduos externo ao grupo de projetação, contribuindo para as discussões de melhorias de forma dinâmica e contínua. Os testes com os protótipos geraram feedbacks que resultaram em refinamentos, como a ampliação das medidas da área de acondicionamento para que a remoção da MR não demandasse do usuário força maior que o ideal. Em suma, pode-se afirmar que a AM contribuiu para o êxito do projeto da embalagem, tendo auxiliado na checagem das proposições, numa maior aproximação com os usuários finais, na obtenção de maior precisão durante o processo de design, na incorporação de melhorias de usabilidade, e na identificação de fragilidades estruturais, alcançando maior proximidade das configurações da embalagem final antes da produção.

PALAVRAS-CHAVE

Design de Embalagem;
Manufatura Aditiva;
Impressão 3D;
Memórias de Resultado

The importance of additive manufacturing in the packaging design process: the case of Result Memories (MRs)

ABSTRACT

Additive Manufacturing (AM) contributes to product design by materializing ideas and projects, characterizing itself as an important tool in the creative process. In this sense, this article discusses the influence of the use of AM in the packaging design process, describing the moments in which actions were taken to realize the ideas and how AM contributed to the package refinement. To this end, the AM was applied in the project of packaging redesign for Result Memories (MRs), which are devices that store information for the operation of electronic voting machines. The research is of applied nature, exploratory objective and had as procedure a case study. AM has been incorporated as a tool within a specific packaging design methodology, the Guide of Orientation for Packaging Development (GODE). The use of technology went through several stages of the design process, with the construction of specific models (three-dimensional representations) for better understanding and analysis of specifications. Techniques were also incorporated to obtain assistance from professionals and users during the evaluations, based on the pieces developed by AM, such as the Delphi Technique and the Thinking Out Loud tool. The AM demonstrated the effectiveness of configurations of the package in a way that verbal description or two-dimensional imaging would be unable to communicate. It also assisted in better understanding of the project by the design team itself and by individuals outside the project group, contributing to the discussions for improvements on a dynamic and continuous basis. Tests with the prototypes generated feedbacks that resulted in refinements, such as expanding the measurements of the retention area so that the removal of the RMs did not require from the user more effort than necessary. In sum, it can be said that AM contributed to the success of the packaging design, having assisted in checking the propositions, in achieving a closer approach with the end-users, in obtaining greater precision during the design process, in the incorporation of usability improvements, and in identifying structural weaknesses, achieving closer proximity to final packaging configurations prior to production.

KEYWORDS

Packaging Design;
Additive Manufacturing; 3D printing;
Result Memories

CONTATO: Rubenio dos S. Barros – *rubeniobarros@hotmail.com*

© 2021 – Revista Design & Tecnologia

1. INTRODUÇÃO

A Manufatura Aditiva (*Additive Manufacturing* – AM), comumente também denominada impressão 3D, contribui para o design de produtos ao materializar ideias e projetos, se caracterizando como uma ferramenta importante no processo criativo, que auxilia na validação das proposições desenvolvidas e que serve para identificar aspectos do projeto que podem estar suscetíveis a melhorias. Volpato e Carvalho (2017, p. 16) afirmam que "esse processo aditivo permite fabricar componentes físicos a partir de vários tipos de materiais, em diferentes formas e a partir de diversos princípios", enquanto que Santos (2017) afirma que a AM proporciona aos designers a possibilidade de desenvolver e apresentar protótipos físicos de projetos com geometrias complexas e digitalmente customizadas.

Destaca-se assim, a contribuição da AM para a prototipagem no processo de design, sendo este um momento significativo para o alcance satisfatório do produto final, onde, de acordo com Pazmino, Pupo e Medeiros (2014, p. 4), "a prototipação é utilizada a fim de evitar possíveis desentendimentos com o usuário e testar a viabilidade técnica de um produto". Os autores complementam que os modelos e protótipos também são úteis para que os designers possam discutir ideias com *stakeholders*, facilitando a comunicação entre os membros das equipes e permitindo uma forma eficaz de testar produtos (PAZMINO; PUPO; MEDEIROS, 2014, p. 4).

O surgimento das tecnologias de AM foi possível pela integração de processos tradicionais de manufatura como a metalurgia em pó, a extrusão, a soldagem, a usinagem CNC, dentre outros, com diversas outras tecnologias, como o controle de movimentos de alta precisão, o sistema de impressão a jato de tinta, as tecnologias laser, etc., e pelo desenvolvimento de materiais adequados a cada um desses processos (VOLPATO; CARVALHO, 2017).

Apesar da AM ter surgido no final dos anos 80, somente nos anos 90 foi que os designers começaram a explorar as inúmeras possibilidades dessa tecnologia (SANTOS, 2017).

Os avanços no campo da AM estão revolucionando diversas áreas (indústria automotiva, aeronáutica, biologia, saúde, dentre outros) e contribuindo para a inovação, elevando a qualidade da prototipagem (ASPAR et al., 2017; BAILEY et al., 2016; RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Isso também tem gerado impactos significativos no Design e seus processos.

Com o aumento da percepção do potencial oferecido pela AM, o campo de aplicação foi se ampliando consideravelmente, passando a exigir mais dos processos de design em termos de melhoria geral da qualidade dos componentes, novos materiais e funcionalidades a serem incorporadas às impressoras 3D (VOLPATO; CARVALHO, 2017, p. 27).

Rayna e Striukova (2016, tradução nossa), complementam que o aperfeiçoamento das tecnologias de impressão 3D alcançou uma participação relevante no processo de manufatura que chega, em alguns casos, a ir além da prototipagem, já sendo possível e economicamente viável a confecção de produtos finais inteiramente com impressoras 3D.

De acordo com Bailey et al. (2016), dentre os setores da indústria que adotam a impressão 3D em seus processos de desenvolvimento de produtos, os motivos que levaram a essa adoção são a flexibilidade no processo de design, o baixo custo para personalização, prazos de entrega mais curtos, a geração de menos resíduos, a redução de dificuldades para a inserção no mercado e a produção próxima do cliente/usuário.

Volpato e Carvalho (2017) listam ainda como vantagens da AM os seguintes fatores: liberdade geométrica de fabricação, o que permite uma série de oportunidades em termos de projeto; não requer dispositivos de fixação, sendo as peças geralmente fixadas nas plataformas de construção por materiais depositados pela própria tecnologia, dispensando o projeto de qualquer dispositivo específico; não é necessária a troca de ferramentas durante a fabricação do componente, onde normalmente um único meio de processamento do material é utilizado do início ao fim do processo; o componente é fabricado em um único equipamento (com exceção das etapas de pós processamento); não são necessários cálculos complexos das trajetórias de ferramentas; rapidez na obtenção de baixa quantidade de componentes quando comparados aos processos tradicionais; possível produção de peças finais, em especial por meio das tecnologias baseadas em materiais metálicos ou polímeros de engenharia; potencial de misturar materiais diferentes, ou mesmo mudar a densidade do material durante o processamento, o que permite criar materiais com graduação funcional, variando as propriedades (resistência, dureza, porosidade, flexibilidade, etc.) ao longo da peça.

Assim, com o aperfeiçoamento da AM, há a possibilidade da elaboração de modelos e protótipos complexos, mais realistas e mais próximos dos produtos finais. Isso colabora com a crescente exigência de se utilizar um maior número de protótipos no Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) para uso dentro e/ou fora da empresa, em testes e comunicação com outros atores dentro e fora da cadeia (VOLPATO; CARVALHO, 2017).

Nesse sentido, o design de embalagens também se beneficia da incorporação da evolução dessa tecnologia no seu processo de desenvolvimento, visto que a AM possibilita a averiguação das configurações a um custo reduzido, se comparado com os moldes confeccionados a partir dos principais meios de produção de tecnologias tradicionais, apresentando precisão a período de tempo cada vez menor para a construção dos modelos. Portanto, a partir das vantagens listadas, é possível afirmar que o uso das técnicas de AM, desde as primeiras etapas de projetação, pode otimizar o processo de design, sendo que AM proporcionou um novo direcionador tecnológico na forma de desenvolver produtos, o que também pode impactar no design de embalagens (BAILEY et al., 2016; RAYNA; STRIUKOVA, 2016; COSTA; LUCIANO; VOLPATO, 2017).

Em relação aos projetos de embalagens voltado para dispositivos eletrônicos, como afirmam Bailey et al. (2017, tradução nossa), o uso das técnicas de impressão 3D pode favorecer o reconhecimento de inúmeras possibilidades e aplicações, como o estudo sobre a seleção de materiais, além do entendimento a respeito da relação dos dispositivos e as funcionalidades correlacionadas, pela incorporação de circuitos e outros componentes, durante a fabricação da embalagem (BAILEY et al., 2016; 2017).

Da mesma forma, pode-se notar que a aplicação da AM também pode impactar positivamente no projeto de embalagens para Memórias de Resultado (MRs), que são dispositivos de armazenamento de dados utilizados nas urnas eletrônicas brasileiras. As MRs apresentam diversas funcionalidades, que vão desde a checagem inicial do funcionamento das urnas até o armazenamento do resultado final das eleições para posterior apuração (JUSTIÇA ELEITORAL, 2012), ou seja, é um dispositivo que realiza *inputs* e *outputs* de dados importantes para a execução do processo eleitoral brasileiro.

A utilização da capacidade de inovação e versatilidade proporcionada pela AM no processo de design de embalagens para MRs pode contribuir para o alcance de uma solução que auxilie na preservação da integridade das MRs durante o transporte, uso e acondicionamento, o que é de grande relevância para o adequado funcionamento das urnas e, desta forma, para evitar possíveis falhas no funcionamento durante a

realização do processo eleitoral. Portanto, a logística quanto ao transporte e acondicionamento das MRs deve considerar adequações tanto quanto ao processo, quanto ao armazenamento destas, por meio de embalagens e, ainda, contribuir com eventuais dificuldades considerando, principalmente, a diversidade de características geográficas nacionais que conduz tal processo a locais remotos, dificultando as condições de transporte e acondicionamento seguro dos equipamentos.

Dada as necessidades e critérios das MRs, bem como as possibilidades de contribuição para a eficiência no desenvolvimento de embalagens, o presente artigo buscou verificar o impacto do uso da Impressão 3D (ou manufatura aditiva) como uma ferramenta para impulsionar a eficiência no processo de (re)design da embalagem para MRs, pela materialização do processo criativo. Para tal, após a geração e avaliação da proposta final (conceitual) realizaram-se procedimentos para a materialização da ideia (modelagem eletrônica, representação tridimensional – a nível de mock-up – seguida da impressão 3D), além da incorporação de *stakeholders* (especialista em prototipagem e usuários em potencial) ao longo do processo de design para a discussão das alternativas a partir da interação com os resultados do uso da AM em prol do refinamento e melhoria do projeto.

2. O DESIGN DE EMBALAGEM PARA DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS

Segundo a Associação Brasileira de Embalagem – ABRE (2013), as embalagens são recipientes ou envolturas que armazenam produtos temporariamente, individualmente ou agrupando unidades, tendo como principal função protegê-los e estender o seu prazo de vida, viabilizando sua distribuição, identificação e consumo. Apresentam ainda como funções a contenção, a proteção e a comunicação, sendo submetidas a vários riscos como choque, vibração, compressão, perfuração, esmagamento, entre outros (ABRE, 2013; NEGRÃO; CAMARGO, 2008).

Acerca dos tipos de embalagem, existem várias formas de classificá-las dependendo dos diferentes aspectos que são levados em consideração como a forma, função, etc. Uma das divisões apresentadas pela ABRE (2012) diz respeito às relações das embalagens com o produto e com outras embalagens, sendo classificadas como primárias, secundárias e terciárias. A embalagem primária é a que tem contato direto com o produto, enquanto que a secundária é designada para conter uma ou mais embalagens primárias. Já a embalagem terciária é aquela que agrupa diversas embalagens primárias ou secundárias para o transporte (ABRE, 2012).

De modo geral, as embalagens podem atender desde um objetivo específico até múltiplas necessidades, que irão variar a partir de diferentes de fatores, como as questões conceituais, tecnológicas, mercadológicas, comunicacionais e de marketing, socioculturais, ambientais, dentre outros, ao qual o designer ou equipe de design deve estar atento para que o projeto da embalagem seja bem-sucedido e possa fornecer subsídios para a implementação de melhorias que possam pontuar, desde apenas uma simples alteração na especificação do produto como, por exemplo, peso ou espessura, até uma mudança mais ampla envolvendo componentes novos, materiais, tecnologia e outros aspectos de inovação (MESTRINER, 2002; ROMEIRO FILHO, 2011; NEGRÃO E CAMARGO, 2008; BUCCI, 2010).

Independentemente do tipo de embalagem, o processo de design em termos metodológicos pode ser caracterizado, como uma atividade multidisciplinar que necessita de especificidades diversas ao longo desse processo, que variam de acordo com a demanda daquilo que é pretendido embalar e envolve profissionais de áreas distintas (design, engenharia, física, química, psicologia, comunicação, produção, marketing, etc.), sendo importante que esses elementos consigam identificar mecanismos que lhes permitam interagir e discutir as proposições (MESTRINER, 2002; NEGRÃO; CAMARGO, 2008).

Negrão e Camargo (2008, p. 205) complementam ao considerarem o projeto de embalagem "um trabalho de equipe, e uma equipe que só obtém êxito quando consegue se comunicar e se unir em torno de um objetivo em comum". Em outras palavras, é um trabalho coletivo e colaborativo, onde cada elemento atuante é capaz de contribuir com suas especialidades para que se tenha êxito no resultado final.

Assim, dentro de um projeto de embalagem, a equipe de design pode se beneficiar da aproximação e participação dos usuários e também da interação com especialistas de outras áreas do conhecimento desde as fases iniciais, onde podem ser coletadas e filtradas informações de delineamento e compreensão da demanda, até as etapas finais, como a escolha de propostas, tendo uma visão mais precisa e condizente com a realidade de uso, a viabilidade técnica e o atendimento das funcionalidades pensadas para o resultado do projeto.

Tais características também ocorrem quanto ao design de embalagens para dispositivos eletrônicos. Entretanto, destacam-se certas especificidades da natureza deste tipo de produto que precisam ser atendidas para a garantia da integridade dos eletrônicos acondicionados.

Abreu (2013) afirma que, em indústrias que produzem componentes eletrônicos, a recomendação é que as embalagens que transportam os componentes possuam proteção eletrostática, a qual é considerada importante contra descargas eletrostáticas (*Electrostatic Discharge* – ESD) que podem danificá-los. O autor enfatiza, ainda, que a proteção eletrostática também contribui para a qualidade e para o rendimento dos componentes acondicionados por essas embalagens. Já Wilson (2017, tradução nossa) complementa que o designer de produtos deve estar atento às interferências eletromagnéticas em dispositivos eletrônicos, desenvolvendo soluções que reduzam essa suscetibilidade. Para contornar a sensibilidade às descargas elétricas e cargas estáticas desses componentes, Magrini et al. (2012, p. 33) afirmam que a utilização de embalagens plásticas pode ser essencial, pois, por possuírem propriedades isolantes e serem más condutoras de eletricidade, protegem o equipamento do ambiente, ao mesmo tempo em que garantem sua integridade física.

Outro fator que pode contribuir para o rendimento dos componentes é o cuidado com relação às características estruturais e dimensionais das embalagens para eletrônicos, onde as configurações e as combinações entre os tipos de embalagem (primárias, secundárias e terciárias) podem contribuir para a redução de custos por perdas desnecessárias e assistência técnica que possam ocorrer a partir de fragilidades na proteção proporcionada pelas embalagens (BORDIN, 1997, apud NEGRÃO; CAMARGO, 2008).

É relevante destacar, ainda, a necessidade de atenção quanto a possíveis exposições da embalagem e do dispositivo acondicionado a quedas, bem como a capacidade da embalagem de protegê-lo dos impactos gerados, pois, segundo Lim e Low (2002, tradução nossa), uma das causas mais comuns de falhas em produtos eletrônicos portáteis é o impacto da queda, no qual choques e impactos em tais produtos pode causar danos físicos e funcionais significativos. Os autores afirmam ainda que a compreensão sobre os choques induzidos por impactos em embalagens de produtos eletrônicos pode contribuir para um melhor projeto de embalagens, estando a confiabilidade das embalagens aos choques e impactos dentro das preocupações dos fabricantes desses dispositivos (LIM; LOW, 2002).

A atuação dessas forças externas sobre os dispositivos eletrônicos de armazenamento por meio da memória flash, grupo que inclui os pen-drives e as MRs, pode gerar riscos de avaria ao objeto digital (documentos, textos, base de dados, etc.) armazenados nesses dispositivos. Assim, é necessário visualizar o projeto de embalagem como sendo importante na colaboração para a preservação dos dados gerados, auxiliando na garantia de que a informação digital permaneça acessível e com qualidades de autenticidade suficientes para que possa ser interpretada no futuro recorrendo a uma plataforma tecnológica (JESUS; KAFURE, 2010).

Portanto, considerar os aspectos elencados acima no processo de design de embalagens para dispositivos eletrônicos, além de outras necessidades como a proteção físico-química, contra vibração, umidade e calor, é critério chave (WILSON, 2017; NEGRÃO; CAMARGO, 2008). Mas para que esses critérios sejam atingidos, percebe-se a necessidade de uma verificação a partir de modelagens e representações tridimensionais físicas, que possam auxiliar na acurácia das propostas e evitar fragilidades.

3. A MANUFATURA ADITIVA E A IMPORTÂNCIA NO PROCESSO DE DESIGN DE EMBALAGEM

Mestriner (2002) afirma que a pesquisa orienta com maior segurança a tomada de decisões e oferece uma maior oportunidade para conhecer o produto, a embalagem, o mercado e o consumidor, onde o conhecimento sobre esses componentes é fundamental para a conclusão vitoriosa do projeto. O autor coloca ainda como um dos pontos-chave para o design de embalagens, o conhecimento técnico da embalagem a ser desenhada, como sua estrutura, abertura e fechamento, os desenhos, dentre outros elementos que precisam ser conhecidos meticulosamente, tanto para se obter o máximo dos recursos disponíveis, como para evitar erros que possam prejudicar o projeto.

Mas para que seja possível visualizar e incorporar adequadamente muitos desses conhecimentos importantes para o processo de design de embalagens, é requerida, em algum momento, a construção de representações físicas. De acordo com os autores Pazmino, Pupo e Medeiros (2014, p. 4), “o modelo físico auxilia a mente para a imaginação, abastecendo o designer de novas ideias, novas ferramentas e um maior controle durante o processo de projeto”. Ainda segundo os autores, "no processo de projeto da concepção do produto, a antecipação do seu uso auxilia a identificar possíveis problemas relacionados à interação homem-produto".

Esse pensamento nos conduz à prototipagem, pois protótipos dão suporte aos designers para escolha de uma, entre várias opções, permitindo a percepção sobre a funcionalidade, o tamanho, a usabilidade, etc. Além disso, permitem a antecipação da experiência de uso que possibilitará a detecção de melhorias para o produto final (PAZMINO; PUPO; MEDEIROS, 2014).

Para Rayna e Striukova (2016), o principal objetivo do protótipo é identificar erros de design, em particular questões de compatibilidade e de uso. Junto a isso, os protótipos físicos também cooperam na comunicação como um elemento de conexão entre a equipe multidisciplinar e os usuários durante o processo de avaliação das soluções, permitindo a verificação das reações e opiniões dos usuários ainda no início do projeto (SABINO NETTO et al., 2012; KAMINSKI; OLIVEIRA, 2000).

Costa, Luciano e Volpato (2017) apresentam as seguintes características como vantagens dos protótipos e modelos para o PDP: funcionam como ferramenta de aprendizagem e tomada de decisões a cada interação em que são utilizados; contribuem para a taxa de sucesso do PDP em virtude do aumento da confiabilidade das informações que servirão de dados de entrada para as etapas seguintes; viabilizam o teste de diferentes hipóteses, explorando e avaliando soluções alternativas de melhoria; auxiliam na identificação de erros e problemas de projeto e evitam retrabalhos dispendiosos em fases mais adiantadas do PDP; são fundamentais em testes de usabilidade e estudos ergonômicos, uma vez que modelos computadorizados apresentam limitações nessas análises; contribuem para o redesign de produtos, auxiliando na construção de modelos de comparação e/ou de modificação direta; cooperam para a comunicação e entendimento, sendo uma base de informações comuns e catalisadores para a integração e troca de informações num ambiente de projeto composto por pessoas com diferentes habilidades e pontos de vista, incluindo usuários; podem ser usados como marcos no PDP, auxiliando na demonstração de progresso (evolução) do produto; permitem a realização de pesquisas de mercado e veiculação publicitária, avaliando uma situação mais realística de retorno do investimento a ser implementado.

Assim, o emprego dessas representações auxilia a equipe de design a perceber necessidades, requisitos e restrições de cada campo de conhecimento envolvido no desenvolvimento, tornando o processo de tomada de decisão mais criterioso e fundamentado (COSTA; LUCIANO; VOLPATO, 2017).

Percebe-se ainda que vários desses aspectos destacados, além de outras proposições de configuração, podem ser checados e potencializados a partir da AM. De acordo com Volpato (2017), a Manufatura Aditiva, anteriormente também conhecida como prototipagem rápida, é um processo de fabricação por meio da adição de material em forma de camadas planas e sucessivas, isto é, baseado no princípio da manufatura por camada, que permite a fabricação de componentes físicos em três dimensões com informações obtidas diretamente de um modelo geométrico gerado no sistema CAD, de forma rápida, automatizada e totalmente flexível).

A disponibilidade dessa tecnologia (AM) está fazendo com que as empresas mudem a forma de agir e o comportamento em relação ao seu PDP a partir do fato de que as tecnologias AM se apresentam como um efetivo apoio aos processos de criação (projeto) do produto. Desta forma, a materialização de conceitos, ideias e geometrias de forma rápida permite aos desenvolvedores sair do plano virtual para o plano físico, apoiando o processo mental e decisório de conceituação, detalhamento e manufatura do produto de forma mais direta e eficaz (COSTA; LUCIANO; VOLPATO, 2017).

Como tecnologia, a impressão 3D leva a uma significativa criação de valor, e uma evidente vantagem de seu uso é a habilidade de projetação e fabricação de produtos tridimensionais que seria difícil ou impossível de alcançar por meio de tecnologias tradicionais (RAYNA; STRIUKOVA, 2016; BAILEY et al., 2016).

Outras vantagens que podem ser citadas são: redução de material utilizado na confecção da peça, utilização eficiente de energia, facilidade de automatização do processo, e o fato de que a AM dispensa o uso de algumas ferramentas e moldes durante o processo de produção (VOLPATO; CARVALHO, 2017; VOLPATO et al., 2007).

No contexto do design de embalagens, Silva (2008, p. 18) complementa que o protótipo da embalagem é fabricado com o propósito de analisar o acondicionamento e sua capacidade de transporte sem comprometer a qualidade e a integridade das peças, proporcionando condições ergonômicas favoráveis e movimentação mecânica segura. Dentre os elementos de projeto, um de expressivo impacto pode se beneficiar da AM: o fator econômico. Para Azevedo (2013), as impressoras 3D possuem modo de operação, custo, material e apelo bem

diferentes das demais formas de prototipagem. Sua atmosfera engloba tanto o gerenciamento do orçamento de execução da projetação da embalagem, quanto os custos a serem previstos para a produção, de modo que o produto não se torne uma peça financeiramente inviável.

Já Aspar et al. (2017, tradução nossa), afirmam que abordagem da AM pode simplificar o processo de embalagem, mesclando as etapas de fabricação, encapsulamento de matriz em seu substrato e vedação. Além disso, ou autor afirma que a tecnologia pode permitir facilmente embalar e encapsular componentes de produção em massa.

Para Bailey et al. (2016), a impressão 3D apresenta oportunidades para a fabricação de embalagens voltadas para eletrônicos que vão ainda mais além, como o uso de múltiplos materiais e até mesmo a incorporação de componentes elétricos na embalagem enquanto esta é fabricada. Contudo, os autores também ressaltam desafios a serem superados para maior disseminação dessa tecnologia, podendo destacar os materiais utilizados, que precisam de avanços na performance e confiabilidade das especificações requisitadas; a velocidade de fabricação, que apesar de estar em gradativa redução, ainda é lenta se comparada com as tecnologias que a impressão 3D quer substituir; e as dimensões e tolerâncias, pois esses fatores podem não ser atingidos em escalas muito pequenas com a tecnologia presente.

Costa, Luciano e Volpato (2017) apresentam ainda como limitações a serem superadas: a condição de que a precisão e o acabamento superficial são inferiores aos das peças obtidas por processos convencionais, como a usinagem; a AM é ainda lenta e mais cara que os processos tradicionais, se considerada a fabricação de grandes lotes; problemas com distorções e empenamento do material podem ser observados em alguns processos, se não totalmente sob controle e calibrados; no caso das tecnologias AM de porte industrial, o custo envolvido de aquisição e operação do equipamento é elevado, incluindo os materiais e insumos do processo; a maioria das tecnologias possui limitações quanto à escolha dos materiais que podem ser empregados, e esses materiais possuem, em alguns casos, propriedades semelhantes às dos materiais convencionais, mas não exatamente iguais, o que pode limitar essa tecnologia para certas aplicações.

Entretanto, os autores ressaltam que cada vez mais esses problemas vêm sendo minimizados com a evolução das tecnologias de AM. O valor de aquisição da tecnologia e insumos também está se tornando cada vez mais acessível, tendo surgido impressoras 3D de baixo custo, e já é percebida a viabilidade de aplicação da AM na produção de componentes finais ou em situações que os componentes tenham um alto valor agregado (COSTA; LUCIANO; VOLPATO, 2017).

Mesmo com as barreiras existentes, a impressão 3D já se evidencia como uma possibilidade estratégica ao processo de design de embalagem, como observado a partir dos diversos benefícios identificados, possibilitando a verificação de um vasto leque de opções por meio de sua flexibilidade de construção dos protótipos e modelos. Como apresentado por Costa, Luciano e Volpato (2017, p. 53), a AM não deve ser vista somente como uma tecnologia que acelera a fabricação de protótipos, “mas que pode mudar a forma/filosofia de trabalho dos profissionais relacionados ao PDP”.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa é de natureza aplicada, com objetivo exploratório, que teve como tática adotada um estudo de caso (PRODANOV; FREITAS, 2013). O estudo de caso foi a concepção de uma nova embalagem para as Memórias de Resultado de urnas eletrônicas, tendo recebido foco nesse artigo as análises sobre a influência da utilização da Manufatura Aditiva no processo de design, como por exemplo, dentro do processo de validação de parâmetros e critérios de projeto.

4.1 O Caso da Embalagem para MRs

De acordo com a definição do Tribunal Superior Eleitoral (TSE, 2010), a Urna Eletrônica (UE) é um microcomputador de uso específico para eleições e apresenta-se com recursos de segurança que garantem o direito de sigilo do voto e a confiabilidade do processo de votação. A urna eletrônica é composta por periféricos, mecanismos e acessórios que garantem o seu funcionamento. Dentre esses periféricos, encontram-se a Memórias de Resultado (MRs).

As MRs (Figura 1) são dispositivos de armazenamento em memória *flash* por conexão USB, de uso exclusivo nas urnas e computadores autorizados pelo TSE, que contém informações necessárias e complementares para o funcionamento do sistema da UE, sendo sua principal função o armazenamento do resultado das votações para posterior transmissão e apuração. As MRs também auxiliam na resolução problemas da UE (data e hora incorretas, falha de periféricos, etc.) e, em algumas situações, caso haja defeito na comunicação entre a MR e a UE, é necessária a substituição da própria urna eletrônica (JUSTIÇA ELEITORAL, 2012).



Figura 1 Exemplos de MRs.

A partir de visitas técnicas ao Tribunal Regional Eleitoral do Maranhão (TRE-MA), foi possível constatar a existência de 42 mil MRs que auxiliam no funcionamento de 20.202 urnas do estado ao qual o Tribunal se destina. Essas MRs têm à disposição 744 embalagens, com capacidade para 50 MRs cada, para a realização do transporte dessas mídias, possibilitando a locomoção de até 37.200 MRs. Contudo, a embalagem de MRs existente apresenta problemas estruturais e de usabilidade que interferem no uso e nas funcionalidades desses dispositivos.

A embalagem utilizada (Figura 2) é uma maleta plástica produzida em Politereftalato de Etileno (PET), na qual foram observadas fragilidades que comprometem suas principais funções, que são a proteção, organização e retenção das MRs, além de interferir no manuseio e vida útil tanto da embalagem quanto do produto acondicionado (BARROS; DINIZ, 2018).

As fragilidades são resultantes do processo de produção (fabricação por termoformagem), do dimensionamento inadequado e do material escolhidos, que contribuem para o surgimento de ranhuras, trincas, ondulações e áreas amassadas ou quebradas, sendo, portanto, consequência do processo de fadiga do material às configurações estabelecidas do projeto da embalagem. Além disso, observa-se instabilidade quando as maletas são sobrepostas, expondo-as a risco de o colapso quando empilhadas. O ponto de dobradura entre as duas tampas da maleta não apresenta resistência adequada, apresentando-se rompido ou comprometido em algumas

áreas, com a presença de “cantos vivos” e áreas pontiagudas que se mostram como fonte de desconforto e risco para o usuário. O subsistema de fechamento da maleta foi considerado ineficaz por não garantir o total fechamento e, ao mesmo tempo, ser de difícil abertura, fazendo com que seja destinada mais força que o ideal para abertura. A área de empunhadura apresentou-se sem conformação com os requisitos de forma e dimensionamento antropométricos, além de apresentar rebarbas e bordas cortantes resultantes da ausência de um acabamento superficial para eliminar excessos de material gerados durante o processo de produção (BARROS; DINIZ, 2018).



Figura 2 Fragilidades encontradas na embalagem utilizada.

Diante dessas incompatibilidades, desenvolveu-se uma nova embalagem (Figura 3), visando aprimorar o gerenciamento das MRs, agilizar as atividades e impactar positivamente em todos os processos envolvendo MRs dentro do Tribunal, como o aumento da proteção durante o transporte de MRs entre setores, o acondicionamento e a organização adequados das MRs quando não estão sendo utilizadas e a incorporação de configurações para melhor usabilidade durante a interação usuário-embalagem-MRs. Com a proposta, que possui capacidade para acondicionar até 52 MRs (26 por tampa da embalagem), pretende-se ainda trazer maior praticidade no registro de movimentação das MRs, maior resistência da embalagem às forças externas que possam avariar a embalagem e as MRs, menor ocupação de espaço, ganho em conforto durante o transporte e manejo da embalagem, eliminação de empilhamento irregular, eliminação de movimentações indesejadas de MRs dentro da embalagem, sistema de abertura e fechamento mais eficiente, além de outros benefícios (BARROS; DINIZ, 2018).

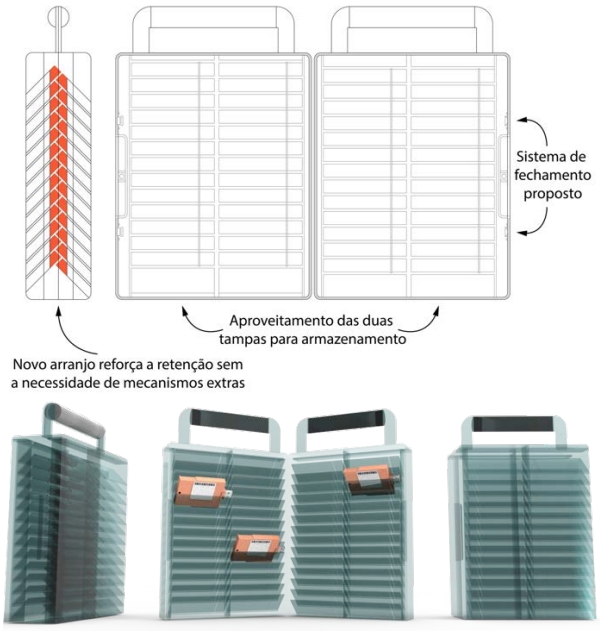


Figura 3 Embalagem desenvolvida.

Como a alternativa para a atual embalagem poderá ser desenvolvida em larga escala, e o fato de o desenvolvimento de um protótipo a partir do processo de produção do produto final se mostrar inviável devido ao alto custo dos moldes, a prototipagem por AM apresenta-se como uma alternativa atraente e vantajosa. Isso dialoga com o que é apresentado por Sabino Netto et al. (2012), que descrevem que, no caso de produtos de plástico, se a modificação ocorrer no início, antes da fabricação do molde, os custos são pequenos quando comparados aos custos decorrentes de retrabalhos e alterações.

A utilização desse recurso é ainda uma abordagem estratégica que garante que a etapa de verificação das configurações se dê de forma mais eficiente e controlada, ao se utilizar de materiais mais próximos ao material proposto para a embalagem final, o que seria inviável por meio da produção de protótipos desenvolvidos manualmente. Além disso, seu uso pode contribuir para a promoção de configurações mais adaptadas, ao permitir a construção de elementos isolados da embalagem para testes e análises específicos, como a impressão de determinados elementos para investigação dos fatores ergonômicos e de usabilidade da embalagem.

Como o produto ao qual esse estudo se destina envolve o acondicionamento de um componente importante no gerenciamento de urnas eletrônicas e que tem impacto no processo eleitoral, se faz necessária à incorporação de mecanismos que garantam que aquilo que está sendo projetado de fato atenda às necessidades da tarefa, evitando assim possíveis ineficiências que possam significar custos adicionais e o comprometimento das atividades tanto no processo de design quanto na execução das tarefas com a embalagem quando inserida em situação real de uso. Nesse sentido, reforça-se a contribuição significativa da AM para o resultado final.

4.2 Métodos e Técnicas

Para o processo de design, aplicou-se o método GODE – Guia de Orientação para o Desenvolvimento de Embalagens (MERINO; CARVALHO; MERINO, 2009), elaborado

especificamente para o projeto de embalagens, levando em consideração critérios e elementos que são intrínsecos a esse tipo de produto. A base do GODE é formada por cinco etapas básicas (Figura 4) iniciando-se pela Etapa 0, que trata da apresentação da demanda, e em seguida se desenvolve para as etapas de: Levantamento de Dados; Análise, Interpretação e Organização dos Dados; Fase de Criação e; Fase Executiva. Contudo, como apresentado na Figura 4, esse artigo se estende até a fase de criação, focando no processo de prototipação por AM e seu impacto no resultado final da proposta de embalagem, a partir dos resultados das pesquisas feitas por Barros e Diniz (2017; 2018).



Figura 4 Guia de Orientação para o Desenvolvimento de Embalagens (Adaptado de MERINO; CARVALHO; MERINO, 2009).

A Figura 5 apresenta um resumo das ações realizadas durante as etapas anteriores até a escolha da proposta final que foi desenvolvida, refinada e prototipada.



Figura 5 Resumo dos principais marcos de projeto alcançados até a escolha da proposta de embalagem.

Assim, são descritos neste artigo os momentos nos quais foram tomadas ações para a concretização dos modelos e protótipos da proposta durante a etapa de criação, mais especificamente a subfase de Refinamento, e como a AM contribuiu para o desenvolvimento do processo de design da embalagem.

Tendo sido definida a proposta nas etapas anteriores do projeto, foram incorporadas técnicas para obtenção de auxílio de profissionais e usuários para avaliação e refinamento, de modo a contribuir na consistência da proposta final. Para tal, utilizou-se a técnica Delphi (MORAES; SANTA ROSA, 2012), que consiste na coleta de opiniões com especialistas, sendo uma técnica disciplinada para colher opiniões de um número qualquer de pessoas. Sua aplicação no projeto consistiu na apresentação do projeto a especialistas, antes da produção das representações físicas, a partir de representações virtuais bi e tridimensionais explicativas das configurações e das situações de uso, com o auxílio dos softwares Google Sketchup, Adobe Illustrator (versão 2012) e Luxion Keyshot (versão 2015), para desenvolvimento e *rendering* do material explicativo.

Esse material foi apresentado a cinco especialistas: um especialista mestre em estética e biônica (biomimética), com experiência em design de produtos; um doutor especialista em materiais e processos; um mestre especialista em Design, com foco em design estratégico; uma mestre especialista em desenvolvimento de representações gráficas de produtos e no uso de máquinas de AM; e uma mestre *expert* em detalhamentos técnicos em representações. Foram feitas duas reuniões principais em grupo a partir da técnica Delphi, e foram realizadas aplicações pontuais com a especialista em AM para elucidação de questões pontuais.

Assim, foi incentivada a livre discussão do projeto entre esses especialistas e a construção de conexões entre a tecnicidade e conhecimentos específicos que cada um possuía da área em que atuam (MORAES; SANTA ROSA, 2012; BAXTER, 2000; IIDA; GUIMARÃES, 2016).

As opiniões foram registradas de forma escrita e analisadas para incorporação das recomendações e ideias junto à embalagem, a partir da discussão interna da equipe de design do projeto.

Dentro da etapa de criação, há a sub etapa de definição dos parâmetros. Segundo Merino, Carvalho e Merino (2009), neste momento destaca-se a apresentação gráfica de ideias, pois a medida em que as ideias vão sendo construídas e confrontadas com os conceitos (parâmetros), é recomendada a elaboração de modelos tridimensionais, que facilitarão a sua avaliação e principalmente possibilitarão seu manuseio. Para tal, utilizaram-se os softwares Google Sketchup Pro® versão 16.0.19913 para a construção das representações tridimensionais explicativas de uso, Autodesk AutoCAD® versão 2012 e 2014, para as representações bidimensionais técnicas.

Assim, a partir da proposta definida (Figura 3), foram produzidas as novas representações bi e tridimensionais virtuais, desta vez com um viés mais técnico e focando em cada elemento específico do sistema de acondicionamento (tampas, sistema de fechamento, sistemas de empilhamento, meios de retenção, etc.), e também nos cuidados quanto ao dimensionamento adequado de cada componente. Em relação as medidas que a embalagem deveria apresentar para se adequar às MRs, foi feito o uso durante a mensuração de um paquímetro da marca Vonder, com medida de 150 mm e escala de 0,05mm (Figura 6).

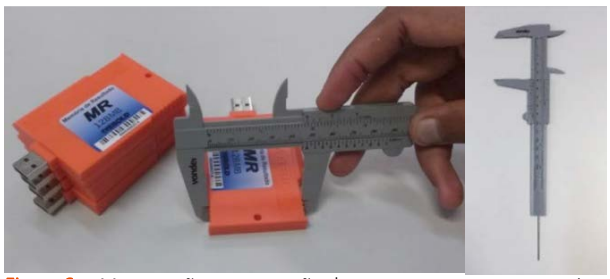


Figura 6 Mensuração e construção dos componentes para o projeto da embalagem.

Após a confirmação técnica das configurações, foi iniciado o processo de impressão dos componentes da embalagem para testes e, paralelamente, foi elaborado e construído um mock-up em papel couro (também conhecido como papelão de sapateiro) com base nas dimensões e configurações da embalagem, para percepção geral da proposta a partir de uma representação física. A construção do mock-up foi desenvolvida como parte da estratégia para contornar as limitações das representações virtuais. Em seguida, foi discutida a contribuição do mock-up para o projeto e em comparação com a AM.

A impressão dos componentes foi realizada com o auxílio do software de fatiamento CURA, versão 15.04.5, que converte as representações no formato G-CODE para adaptar o desenho ao processo de impressão em camadas utilizado na construção das peças pela impressora 3D da marca Ultimaker, modelo Ultimaker 2, com faixa de velocidade de impressão entre 30 a 300mm por segundo e com capacidade de resolução de camada de 20 mícron (ULTIMAKER, 2017). À medida que as peças eram impressas, a especialista em AM era consultada para verificação e elucidação de obstáculos, como qualidade e erro de impressão, ajustes na conversão do desenho, dentre outros.

Com as peças de teste impressas, foi feita a análise sobre as questões de funcionalidade e de uso pela equipe de design, para em seguida, serem analisadas pelos usuários. Foi solicitado que três funcionários do TRE-MA que tinham experiência prévia com operações envolvendo MRs que manuseassem as peças, procurando simular os movimentos esperados para as atividades envolvendo MRs e a embalagem. Foi pedido que paralelamente, seguindo as diretrizes da técnica *Thinking Out Loud* (MORAES; SANTA ROSA, 2012), que consiste na verbalização dos pensamentos durante a interação com o produto/sistema, que os participantes dessem suas opiniões acerca das propostas apresentadas.

Antes do início da participação dos usuários, foi apresentado aos indivíduos o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE), no qual contém de forma escrita a descrição do projeto, as tarefas a serem solicitadas, bem como a garantia do anonimato e confidencialidade das informações fornecidas. Desta forma, foi solicitada a assinatura do TCLE para confirmação da autorização e participação. Além disso, todas as informações aqui divulgadas referentes ao TRE-MA, seus processos, recursos e funcionários possuem autorização prévia para divulgação com intuito científico.

Assim, as peças e modelos para teste desenvolvidos a partir da AM foram entregues aos usuários para que interagissem com as propostas, se utilizando de MRs quando necessário, e avaliassem a eficiência das configurações, apontassem sugestões de melhorias ou fornecessem quaisquer informações que considerassem relevantes para o projeto.

Durante a interação, para registro dos dados, foram realizadas observações diretas e indiretas, e o registo de forma escrita das verbalizações dos usuários. Em seguida, os dados foram discutidos pela equipe de design e as informações pertinentes foram filtradas e refinadas para incorporação como forma de melhorias na embalagem.

Feitas as alterações a partir das análises e considerações dos usuários, foi desenvolvido o protótipo final, sendo este submetido a novas análises. Posteriormente, foram feitas as considerações às questões expostas pelo uso da impressão 3D no processo, destacando quais as vantagens e dificuldades encontradas para o processo de design e para a embalagem.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Visando contribuir para o refinamento da proposta escolhida, houve a aplicação da técnica Delphi (MORAES E SANTA ROSA, 2012) para que os especialistas apontassem o melhor caminho a ser seguido, com base na experiência em design de produto que possuíam, sendo essa abordagem de interação uma medida estratégica para aceleração do posterior processo de detalhamento antes do uso da AM. Os especialistas (Figura 7) foram capazes de apontar as melhores alternativas, quais as complicações quanto ao processo de produção, quais os erros que poderiam ser evitados e ainda elementos que aumentariam a eficiência do projeto como um todo e que se destacariam como um projeto de design.

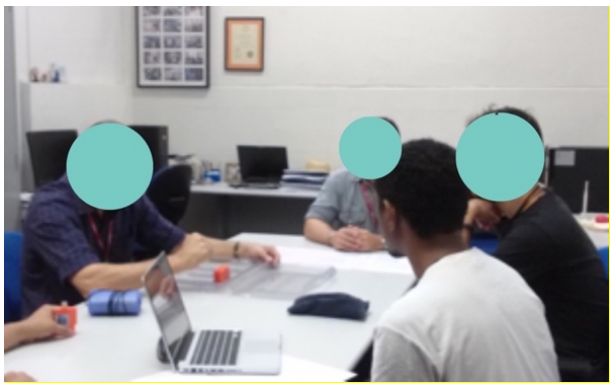


Figura 7 Primeira reunião com especialistas.

O especialista em materiais destacou a viabilidade da proposta, aprovando as abordagens escolhidas, tais como a forma de acondicionamento das MRs, a conexão das aletas com a tapa para mais resistência e a organização do conjunto, mas ao mesmo tempo, destacou a necessidade de atenção quanto ao processo de produção visto que, devido a complexidade da embalagem proposta, a escolha de um processo inadequado pode resultar em custos extras ou até mesmo a inviabilidade do projeto.

A recomendação dada foi a utilização do processo de injeção para confecção da embalagem, visto que é um processo de baixo custo e que permite um maior nível de complexidade frente a outros processos, como a termoformagem, e apresenta alta qualidade e uniformidade da distribuição do material por toda a peça. Quanto à confecção do protótipo em AM, foram elucidadas dúvidas quanto aos materiais, restrições e o tempo de execução dos modelos na máquina que seria utilizada. O especialista recomendou especial cautela para que as configurações de temperatura estejam adequadas ao material a ser utilizado para uniformidade de despejo do material e prevenção de ondulações nas peças impressas.

A segunda aplicação da técnica Delphi com dois especialistas em design de produto, sendo eles o especialista em estética e biônica e o de design estratégico (Figura 8), indicou a necessidade de maiores elementos que reforcem o conceito, que transformem a embalagem em unidades modulares que facilitem seu processo de empilhamento e transporte e que diferenciem a embalagem. Para isso, eles

mostraram possibilidades para o desenvolvimento desses quesitos, como o reforço da estética para comunicação acerca da função da maleta e de seu conteúdo.

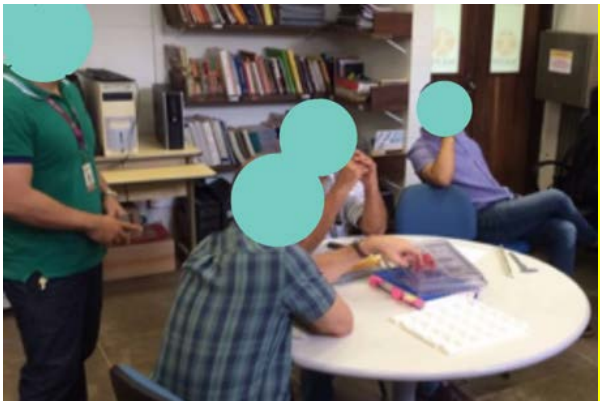


Figura 8 Segunda reunião com especialistas.

Após as avaliações feitas pelos especialistas e também a partir de levantamento da literatura (LIMA, 2006; NEGRÃO E CAMARGO, 2008) sobre processos de produção, materiais plásticos e suas propriedades, direcionou-se então o projeto para o uso do processo de injeção plástica. Segundo Lima (2006), o processo de injeção possui produção alta e econômica, onde dependendo da máquina utilizada, do molde, da geometria e do tamanho da peça, podem ser feitas milhares de peças em um único dia. Sua aplicação é recomendada para peças que requeiram forma marcante, altas escalas de produção, elevada precisão dimensional e ótimo acabamento, sendo que é difícil limitar a amplitude de possíveis produtos advindos do processo de injeção (LIMA, 2006).

Adentrando mais detalhadamente na análise da proposta apresentada, os especialistas apresentaram suas opiniões em relação a qual o potencial da proposta. Segundo os participantes, a utilização de ambas as tampas da embalagem para armazenamento foi considerada uma solução positiva, ao mesmo tempo em que o arranjo entre as tampas, as aletas em que seriam posicionadas as MRs e as próprias mídias, indicavam maior segurança e firmeza na retenção. A internalização do sistema de fechamento também teve resultados positivos, apesar de que foi considerada a necessidade de melhorias ou até mesmo que fosse repensado o tipo de trava adotado. A empunhadura foi percebida como não sendo a mais adequada, sendo dada a recomendação de que esta transmitisse a sensação de que não fosse uma parte adicional, mas sim uma parte integrante da embalagem, e que comunicasse maior percepção de firmeza e coerência da forma.

A partir de análise do material já desenvolvido e das novas alternativas geradas, foram feitas a adequações sugeridas durante a aplicação da técnica Delphi (MORAES E SANTA ROSA, 2012), (Figura 9).

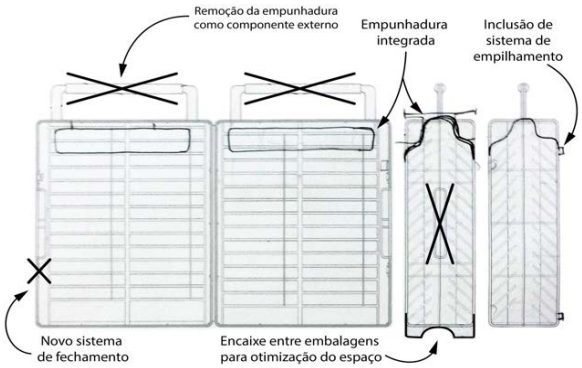


Figura 9 Adequação da embalagem pós Técnica Delphi.

Ocorreram alterações nos seguintes itens: sistemas de travamento interno da embalagem, de modo que este fosse mais fácil, prático e integrado; no diâmetro e na forma da empunhadura, para que a forma geral da embalagem fosse mais uniforme, resistente e ergonômica; houve o aproveitamento de espaços ociosos, tornando-os áreas de conexão entre as embalagens e para promoção da segurança no empilhamento; e a melhor distribuição das MRs no interior da embalagem.

Em seguida, foram produzidas as novas representações virtuais (Figura 10) para viabilização das impressões por AM.

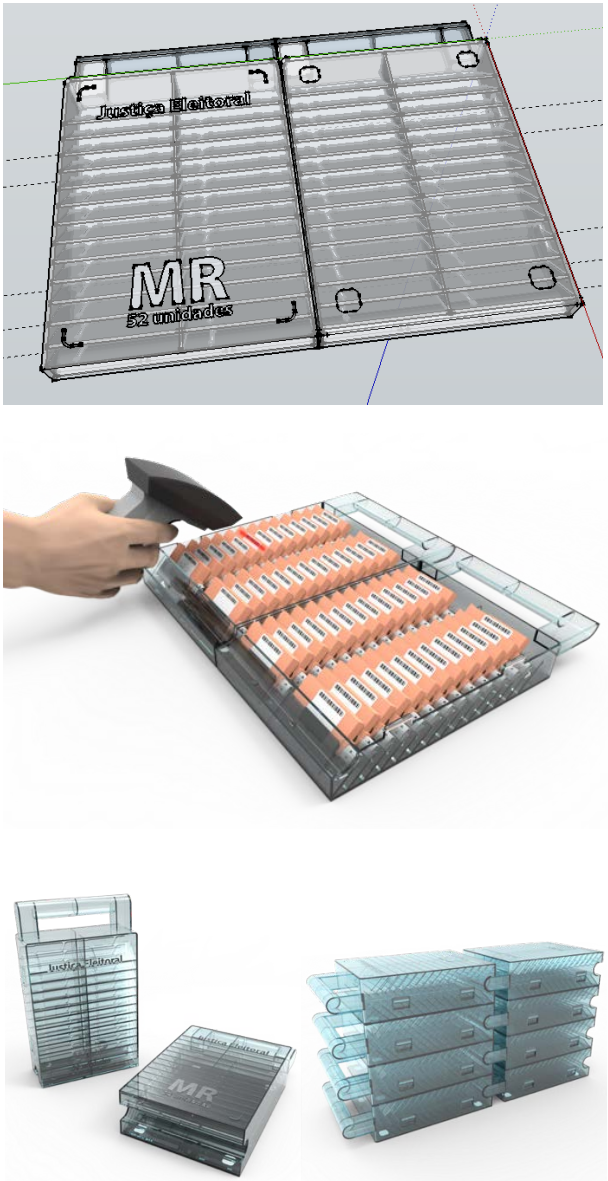


Figura 10 Representação da embalagem.

Visando maior agilidade e organização nas representações, alguns componentes foram desenvolvidos separadamente do conjunto da embalagem para realização de testes (Figura 11), de modo que, caso fossem necessárias alterações, não houvesse a necessidade de construção de todo o modelo novamente. Isso, consequentemente, resultaria também na economia do material utilizado na impressão dos modelos de teste.

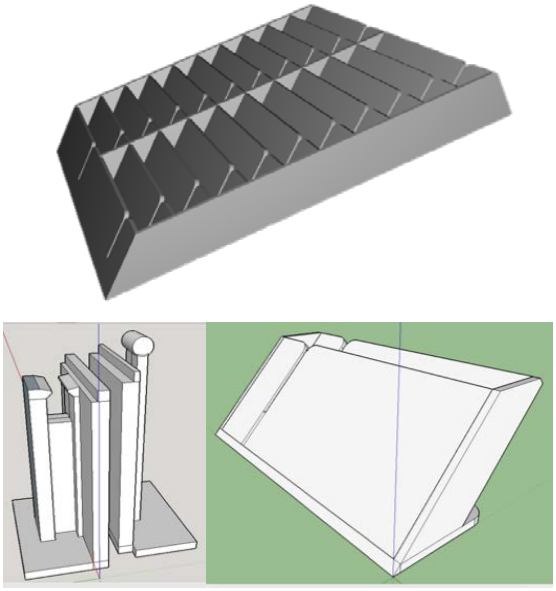


Figura 11 Desenvolvimento individual de componentes.

Todas as alterações feitas nesses componentes individuais foram incorporadas nas representações gráficas do conjunto à medida que suas especificações estivessem definidas e consideradas satisfatórias, de modo a observar sua relação com outros elementos a partir de representações tridimensionais de uso, como a relação entre outras embalagens no processo de empilhamento, os encaixes do sistema de abertura, empunhadura, dentre outros.

Concluídas as representações, houve a apresentação do material a uma especialista em representação gráfica e AM a partir da técnica Delphi (MORAES; SANTA ROSA, 2012), que indicou as pontuações técnicas a serem feitas para a impressão 3D ser bem-sucedida, levando em consideração a capacidade dimensional da impressora, estruturas de suporte necessárias a serem criadas no software para viabilizar a impressão, melhor orientação das representações antes da conversão para a o formato G-CODE (linguagem da impressão) para se obter melhor acabamento, configurações de temperatura da impressora para evitar ondulações das peças impressas, dentre outros.

As principais dificuldades destacadas pela especialista foram os aspectos dimensionais dos componentes que se aproximavam do limite da área de impressão permitida pelo modelo de impressora utilizado, e o tempo que seria demandado para a impressão, podendo demorar dias para serem finalizados e ainda ficariam suscetíveis a falhas no processo que poderiam comprometer a impressão do componente como um todo. Assim, foram feitas alterações para que o tamanho das peças a serem impressas se distanciasse o máximo possível do limite da área de impressão.

Feitas as alterações necessárias e com a aprovação da especialista, aconteceram os primeiros testes de impressão do modelo (Figura 12). O material utilizado para impressão foi o polímero Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS). Seguindo as recomendações da especialista para o material escolhido, foram predefinidas as temperaturas do *noozle* (estrutura de onde o material é expelido) e a base da impressora em 260˚C e 50˚C respectivamente.

Inicialmente, fez-se o modelo de apenas um dos módulos de armazenamento para melhor compreensão das especificações necessárias e da relação qualidade-tempo desejada na impressão. Um procedimento similar foi adotado por Sabino Netto et al. (2012), no qual a equipe de projeto do estudo desenvolveu um protótipo rápido para avaliar, especificamente, algumas características do produto para elucidar dúvidas com relação à usabilidade e o funcionamento.



Figura 12 Impressão e teste do primeiro módulo.

Enquanto a impressão era realizada, foi iniciada a construção do *mock-up* (Figura 13) em papel couro, tendo sido confeccionadas primeiramente as estruturas internas de retenção.



Figura 13 Contrução do mock-up.

O mock-up foi desenvolvido tendo como principal objetivo proporcionar a execução de testes que possibilitassem a captação de resultados a partir da interação com o produto.

Com a impressão do primeiro módulo concluída, foi possível perceber durante os testes feitos pela equipe de projeto para simulação do acondicionamento da MR, a existência de uma falha crítica (*feedback*) na funcionalidade que não foi percebida nas representações gráficas virtuais. O posicionamento da abertura/recuo existente nas aletas para passagem dos relevos que existem na MR próximos a entrada USB (Figura 14a), pensada de modo a impossibilitar movimentações horizontais indesejadas, fazia com que a MR fosse inserida de modo que o código de barras (patrimônio) ficasse voltado para a parte inferior, o que impossibilitava a leitura do patrimônio dentro da embalagem, que era justamente um dos principais elementos do conceito pensado. Assim, o posicionamento da abertura precisou ser alterado para que houvesse a rotação do eixo da MR no acondicionamento e o patrimônio ficasse visível.

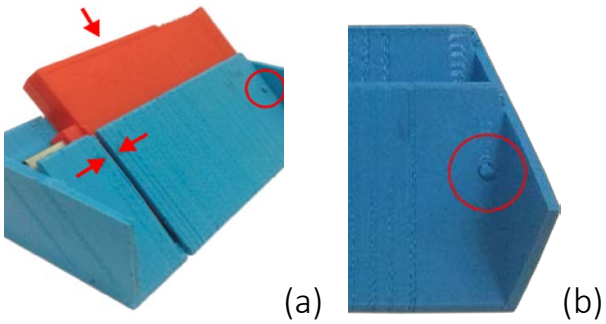


Figura 14 Primeiro módulo impresso.

Outro ponto percebido (*feedback*) a partir do protótipo do módulo de retenção é que a profundidade de abertura existente nas aletas era demasiadamente grande e comprometia a resistência do conjunto, podendo facilmente romper-se (Figura 14b). Assim, esse recuo foi alterado e limitado a 3,15 cm do total de 4 cm de altura das

aletas. Foi estendido ainda o comprimento da área interna para colocação das MRs para facilitar a inserção e remoção dessas mídias.

Observou-se ainda que um dos mecanismos pensados para a garantia da retenção das MRs, mais especificamente o relevo de encaixe junto ao orifício existe nas MRs (Figura 14a e Figura 14b), impossibilitava a inserção das mídias dentro da área de retenção, o que resultou na remoção desse componente. Mesmo sem a presença desse mecanismo, a retenção não era comprometida, pois a área de encaixe (formada pelas aletas internas de divisão) apresentavam aproximadamente as mesmas medidas da MR, dificultando movimentações indesejadas.

Acerca desse primeiro teste de impressão, foi possível identificar fragilidades no projeto que não seriam detectadas, como não foram, apenas pela representação tridimensional virtual da embalagem. Assim, após as análises, ocorreram as alterações de melhoria no projeto e o segundo módulo de teste foi impresso (Figura 15). Foi elevada a qualidade de impressão e utilizado outro polímero para a construção do modelo, sendo este o Poliácido Láctico (PLA), de aparência translúcida, que se mostrava um material mais maleável e com melhor acabamento, se aproximando mais da proposta final.



Figura 15 Novos testes do módulo de retenção.

As melhorias realizadas (*feedback*) se tornaram evidentes após a construção do segundo módulo, tendo sido constatada a praticidade na leitura do patrimônio oferecida pela proposta, visto que em momento algum a visualização do código de barras foi interrompida ou prejudicada. Houve um avanço na resistência proporcionada, parte pelo material empregado, parte pela elevação da qualidade da impressão, e também em parte pela eliminação da divisão completa (recuo para inserção das MRs) na superfície das aletas. Foram obtidos ainda ganhos em acabamento, visto que a peça se mostrou mais uniforme e, nesse momento, foi possível checar com mais precisão as ações de inserção, remoção e retenção da MR.

A partir desse modelo, percebeu-se a necessidade de aumento em 0,2mm do espaço entre as aletas onde se encaixam as MRs para que remoção desses dispositivos na embalagem não demandasse força maior que o ideal. Percebeu-se ainda que seria interessante o desenvolvimento de curvaturas no início do recuo nas aletas (destacado em vermelho na Figura 15), de modo a facilitar a inserção e remoção das memórias de resultado.

Durante o processo de impressão dos módulos para teste, foi finalizada a produção o mock-up (Figura 16). O mock-up pode ser dividido em três segmentos: **1.** área para empunhadura; **2.** tampas externas de proteção e; **3.** área interna de retenção, sendo todas as peças interligadas e feitas do mesmo material.

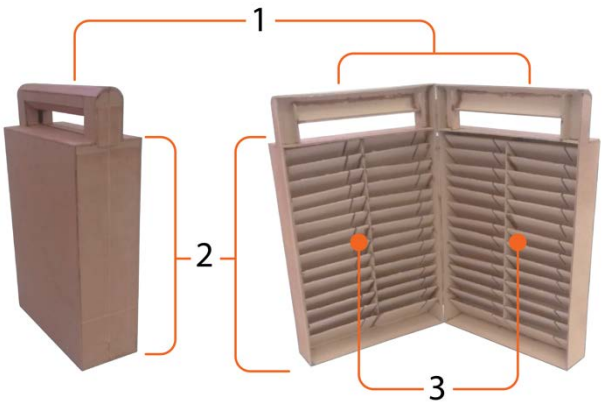


Figura 16 Mock-up finalizado.

Com o uso de MRs fornecidas pelo TRE-MA, foi possível averiguar a praticidade quanto à retenção, dimensionamento geral da embalagem, empunhadura, espaço entre as MRs, divisão interna da embalagem, dentre outros fatores.

O dimensionamento geral ocupado pelo mock-up foi considerando adequado para sua finalidade, bem como para o seu transporte, não existindo áreas com cantos vivos que poderiam ser consideradas fontes de desconforto ou de risco para os usuários, confirmando o que foi pensado virtualmente e sendo, portanto, um progresso significativo obtido frente a embalagem que está em uso pelo Tribunal.

Assim como observado de forma unitária no segundo modelo desenvolvido por AM, confirmou-se a eficiência em conjunto da visualização e leitura dos códigos de barras (patrimônio) das MRs por meio da orientação proposta para as MRs.

Após as observações com o mock-up, percebeu-se durante a tarefa de inserção e remoção de MRs a necessidade de extensão da área entre as paredes mais externas próximas a empunhadura e as últimas aletas de retenção em 1,5 cm (Figura 17) para que a inserção e remoção da MRs não fosse comprometida ou desconfortável para o usuário, visto que houve dificuldade durante o processo devido a falta de espaço suficiente para a inserção, mas especialmente não havia espaço para a remoção.

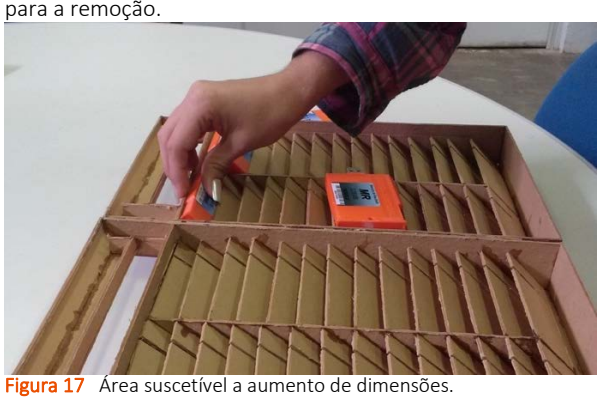


Figura 17 Área suscetível a aumento de dimensões.

Essa problemática foi resultante da perda de controle dimensional gerada pelo uso do papel couro, pois a espessura da chapa difere da espessura estabelecida para estrutura interna no projeto. Algumas das demais aletas de retenção

também apresentaram complicações durante a inserção e remoção das Memórias de Resultado, o que também foi causado pela impossibilidade de controle preciso dos espaços (pré-estabelecido de 14,4mm) durante a colagem das peças.

Mesmo que essa dificuldade na inserção e remoção das MRs próximas a empunhadura tenha sido resultante principalmente pela falta de controle dimensional percebida no mock-up, a equipe de design considerou a ampliação do espaço entre a tampa e as aletas para que situações similares não fossem observadas nem no protótipo por AM e nem no produto final.

Em relação à empunhadura, a medida do diâmetro de 3,2cm aplicada se mostrou adequada e em conformidade com a literatura (PANERO e ZELNIK, 2002; HENRY DREYFUSS ASSOCIATES, 2005). Contudo, a área vazada de 1,5 cm para inserção dos dedos de modo a envolver toda a área cilíndrica da empunhadura se mostrou pequena, dificultando a inserção dos dedos. Mais especificamente, houve atrito com a tampa da embalagem quando as articulações entre os metacarpos e falanges eram inseridas durante o fechamento da mão em torno da empunhadura.

Assim, o mock-up contribuiu para o momento da interação real com algumas das configurações da embalagem que não poderiam ser observados virtualmente, como por exemplo o conforto. Foi importante ainda para o refinamento porque indicou a necessidade de melhorias e ajustes das características físicas e funções da MRs, influenciando assim na tomada de decisões no projeto e na prototipação por AM. Nas etapas de posteriores, as problemáticas identificadas foram corrigidas.

Vale ressaltar que certas configurações do conceito não puderam ser representadas a partir do mock-up devido as limitações estruturais resultantes do material utilizado, como a estrutura com encaixes e recuo na base da embalagem para conexão entre as embalagens durante o empilhamento, com intuito de evitar movimentações e colapso do conjunto (Figura 10). Devido ao fato desses componentes não poderem ser representados fielmente por meio de um mock-up, como o sistema de abertura e fechamento, foi importante a contribuição da AM para que houvesse a materialização desses componentes e suas funcionalidades fossem testadas.

Sequencialmente, foram elucidadas as problemáticas encontradas no segundo módulo e foi impresso o teste final unitário de retenção (Figura 18a), tendo este último alcançado os padrões para a facilitação da remoção e inserção da MRs, conduzindo de forma suavizada a inserção da MR na posição desejada.

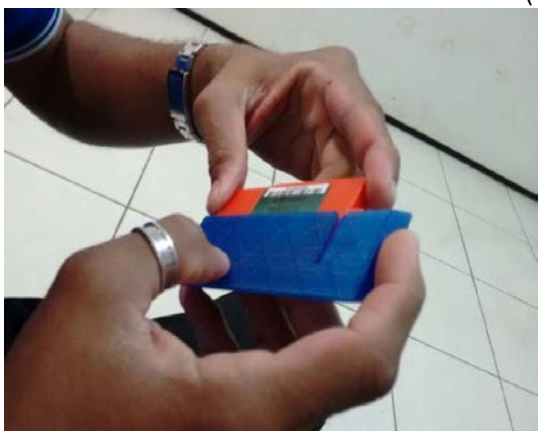
Após a aprovação do módulo unitário pela equipe de projeto, este foi testado pelos potenciais usuários, como mostrado na Figura 18b.

Os indivíduos que participaram da interação com o módulo unitário impresso foram a chefe do setor de administração e manutenção de urnas eletrônicas (ligada ao gerenciamento das MRs) e dois terceirizados que possuíam contato prévio com as MRs e as embalagens em uso no Tribunal, especialmente durante a realização da atividade de transporte de MRs para diferentes setores do tribunal e para a realização da limpeza das MRs (remoção de adesivos e etiquetas de identificação das eleições anteriores). Por meio da técnica *Thinking Out Loud* (MORAES E SANTA ROSA, 2012), foi solicitado que os funcionários manuseassem o módulo, inserissem e removessem as MRs e dessem suas opiniões acerca da proposta apresentada.

Os participantes destacaram a inovação na forma como a MR é acondicionada na proposta e a eficiência da retenção, impossibilitando quaisquer movimentos e deslocamentos indesejados. Obtiveram-se considerações positivas quanto ao comprimento das aletas, o que na percepção de um dos participantes, facilitaria a pega e remoção das MRs. Ao final, os usuários aprovaram a proposta e confirmaram a praticidade na leitura do patrimônio.



(a)



(b)

Figura 18 Módulo aprovado.

Como evidenciado pela incapacidade de precisão dimensional do mock-up, a AM foi importante para percepção quanto a precisão da retenção da MR dentro do módulo, auxiliando os usuários a compreenderem as mudanças efetivas a serem implementadas.

Após a análise do módulo unitário, foi iniciada a construção do primeiro conjunto dos módulos de retenção (Figura 19). Esse conjunto também foi impresso com o polímero PLA e teve capacidade total para 20 MRs. A redução da capacidade total de acondicionamento de 26 para 20 MRs no conjunto, como é proposto para cada tampa da embalagem final, foi necessária porque a área de impressão da máquina utilizada não permitia que um número maior de aletas fosse impresso em uma peça única. Contudo, essa redução não foi considerada um problema, visto que o objetivo principal era a verificação da retenção em conjunto e a visualização pelos os usuários de como a organização geral seria realizada, o que pôde ser realizado. No geral, a retenção teve um nível de controle, uniformidade e precisão satisfatórios e superiores ao mock-up, não havendo irregulares no dimensionamento das aletas, por ser produzido em um processo totalmente automatizado.

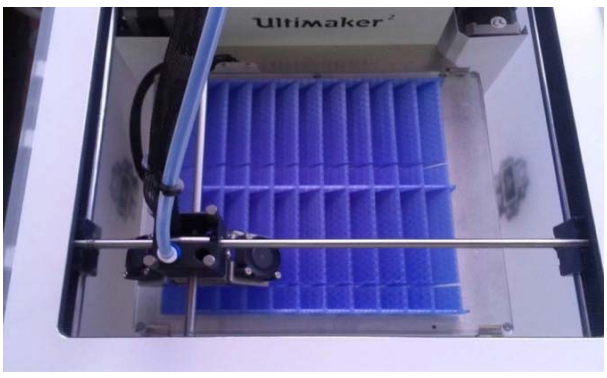


Figura 19 Impressão e teste do conjunto de módulos de retenção.

A impressão foi realizada no modo rascunho rápido, visto que este apresenta qualidade agradável e menor tempo de construção do modelo, o que resultou numa economia de aproximadamente 21 horas para a conclusão da confecção do modelo.

Após finalizada a impressão, observou-se que houve uma pequena ondulação das extremidades do conjunto (Figura 20). Contudo, tais distorções não interferiram em nenhumas das funcionalidades da embalagem, visto que foram áreas pequenas, sem contato com as MRs ou com outros componentes do módulo.



Figura 20 Ondulações na impressão do primeiro módulo.

Com o primeiro conjunto de retenção impresso e suas funcionalidades analisadas e confirmadas como estando de acordo com os critérios, foi dado o início para a construção do segundo conjunto (Figura 21), mas desta vez como a elevação do nível de qualidade de impressão, visando erradicar quaisquer falhas. Essa construção exigiu 54 horas para finalização.

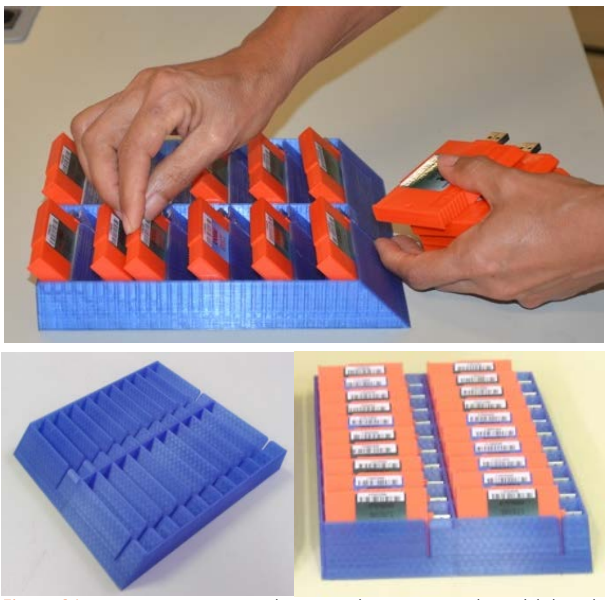


Figura 21 Impressão e teste do segundo conjunto de módulos de retenção.

Tendo sido elucidadas as questões de retenção, outras partes integrantes da embalagem foram impressas para testes de funcionalidade, como o sistema de abertura e fechamento (Figura 22).

Por meio deste processo, observou-se que o sistema de fechamento proposto não era o mais adequado, pois sua configuração era demasiadamente complexa e não era satisfatoriamente resistente, possuindo partes de diferentes espessuras e com muitos detalhes que, caso sofressem alguma avaria, afetariam a eficiência do fechamento. Observou-se ainda que esse mecanismo necessitava de ajustes, pois demandava força acima do ideal na separação das peças para que fosse realizada a abertura. Desta forma, optou-se pela utilização de um novo sistema mais simples de encaixes, que foram instalados em dois pontos de contato das tampas da embalagem, nas faces opostas à área de articulação entre as tampas.



Figura 22 Teste do sistema de abertura e fechamento.

As partes que formam a área de empunhadura também foram impressas separadamente para análise. Quando unidas, as partes formaram a área cilíndrica destinada para empunhadura e transporte manual. Sobre esse elemento, não houve complicações referentes a qualidade de impressão, e a forma cilíndrica atendeu as recomendações ergonômicas (HENRY DREYFUSS ASSOCIATES, 2005; IIDA; GUIMARÃES, 2016).

5.1 Protótipo Final

Com as adequações finalizadas (*feedbacks*), a representação virtual do protótipo final foi concluída para impressão. Devido a limitação da área de impressão da impressora 3D utilizada a representação foi seccionada em seis partes separadas antes da conversão no formato G-CODE e sequencial impressão. Para acabamento superficial, aplicou-se massa plástica na área externa do protótipo, para sequencialmente ser lixada e aplicada uma tinta spray multiuso de secagem rápida na cor cinza em toda a embalagem (Figura 23).

As configurações do protótipo final são descritas a seguir:

a) Forma: apresenta formato retangular, com estruturas que propiciam estabilidade e resistência para o empilhamento das embalagens (demonstrado na Figura 10).

b) elementos de diferenciação: são os elementos que podem ser destacados e estão relacionados aos fatores de uso, como a estratégia de acondicionamento interno em 45˚ das MRs, que traz agilidade e praticidade para o processo de leitura de patrimônio, podendo ter impacto direto nas demais operações de armazenamento, organização e controle das mídias. As dimensões reduzidas, se comparadas com as da embalagem observada nas visitas de campo, também interferem positivamente no processo de armazenamento, visto que com a proposta, há a possibilidade de armazenamento das MRs dentro das embalagens nos armários existentes no Tribunal destinados ao acondicionamento em grandes quantidades desses dispositivos, o que é inviável nas condições atuais.

c) Comunicação visual: a forma da embalagem, com uma área para empunhadura bem definida, sistema de abertura e fechamento evidente e de fácil assimilação, recuo para encaixe das MRs nas aletas, que também se assimilam ao formato das MR na parte superior para

compreensão da forma correta de inserção da mídia, além de outros elementos, fornecem informações visuais que colaboram para intuição de uso.



Figura 23 Protótipo final.

d) Manipulações da embalagem: o modelo de empunhadura adotado tem as considerações antropométricas sobre controles manuais e manejo. Na empunhadura da nova maleta, o manejo é caracterizado como um manejo grosseiro, onde os dedos têm a função de prender, mas são mantidos relativamente estáticos enquanto que os movimentos são feitos pelo punho e braço. Pelo fato da pega ser do tipo grosseiro, ela permite a transmissão de força de movimentos que pode chegar a até 40kg, o que implica que o transporte manual das embalagens não apresentará complicações para o usuário acerca da transmissão de força e sustentação, visto que a embalagem com capacidade máxima de acondicionamento preenchida apresenta um peso muito inferior a esse limite (HENRY DREYFUSS ASSOCIATES, 2005; IIDA; GUIMARÃES, 2016).

e) Segurança ao produto acondicionado (MRs): a abertura, a inclinação e o espaço entre as aletas fazem com que as MRs sejam devidamente retidas nas áreas designadas. Além disso, a malha em ziguezague formada pelas estruturas das aletas de ambas as tampas coloca as MRs em direções opostas e cria a situação onde as MRs de uma das tampas serve como uma espécie de trava contra movimentação das memórias da tampa oposta, sendo, portanto, mais um mecanismo de segurança contra movimentações indesejadas. A estrutura interna de retenção formada pelas aletas proporciona um bom desempenho estrutural geral para embalagem, evitando ondulações e minimizando a possiblidade de quebra, rachadura e o surgimento de outras avarias. Esse ganho foi resultante do fato de que as estruturas internas da embalagem têm conexão direta com a parede mais externa do conjunto, havendo uma área demasiadamente pequena para o surgimento de ondulações entre os espaços existentes, garantindo assim resistência frente a forças externas, como pressão (LIMA, 2006).

O refinamento proporcionado pela AM contribuiu para a construção de um produto que de fato atende as necessidades dos usuários e que apresenta um caráter inovador, gerando resultados que permitiram a solicitação de uma patente na modalidade modelo de utilidade (BR2020170245530), depositada no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI).

5.2 Discussões Sobre o Impacto da Manufatura Aditiva no Processo de Design

Observa-se a partir desta pesquisa, mesmo com as limitações tecnológicas ainda existentes como a presença de eventuais falhas de impressão e ondulações dos modelos, que a AM não é apenas um item técnico, mas uma ferramenta com valor científico, visto que pode impactar diretamente no processo de design de embalagens, como apresentado neste estudo de caso. E como afirma Groth (2006, p. 68), essa tecnologia pode ser uma ferramenta poderosa no design porque demonstra a eficácia da embalagem de uma forma que a descrição verbal ou a imagem bidimensional jamais poderia, sendo o mais próximo da embalagem final antes da produção que o designer e o cliente podem chegar.

Assim como descrito por Pazmino, Pupo e Medeiros (2014), comprovou-se que a prototipagem, nesse caso pela impressão 3D, possibilita a antecipação da experiência de uso e o suporte à equipe de design na tomada de decisões ao longo do processo de design. As alterações que se mostraram necessárias no estudo de caso, em algumas situações com modificações de apenas milímetros de diferença, dificilmente seriam percebidas sem a representação física da proposta, o que poderia acarretar em atrasos e custos adicionais mais adiante no PDP.

Caso a verificação dessas modificações fosse desenvolvida por outras formas de prototipação, como a construção manual do modelo, poderiam haver impactos restritivos quanto ao tempo e/ou custo que poderiam limitar ou inviabilizar o detalhamento de certos aspectos da embalagem para análise, como foi observado durante a construção manual do mock-up em papel couro, que foi incapaz de representar de forma precisa as dimensões propostas e sua confecção durou 13 dias, sendo que algumas peças produzidas por AM duraram menos de 1 hora para serem concluídas. Assim, a construção do mock-up também evidenciou que o uso da AM agilizou as atividades e trouxe maior precisão ao processo de design da embalagem.

Sem a verificação e ajustes possibilitados pelos protótipos confeccionados, um dos principais benefícios da embalagem estaria comprometido, pois caso fosse impresso o molde final sem a verificação do posicionamento adequado da abertura nas aletas, as MRs poderiam ser acondicionadas, mas a praticidade da leitura de patrimônio seria perdida. Isso confirma, portanto, o que é salientado por Costa, Luciano e Volpato (2017) e Rayna e Striukova (2016), ao destacarem a

importância do protótipo para a detecção e prevenção de erros de design.

A facilitação da comunicação entre os membros do projeto defendida por Volpato et al. (2007) também foi comprovada neste estudo, visto que a análise dos protótipos foi um rico momento de discussões de melhorias para projeto a partir do "*feeling*" proporcionado pela representação tátil. A facilitação na comunicação também foi observada durante a interação com os usuários, que puderam visualizar a proposta, interagir e executar ações próximas à situação real de uso, permitindo-lhes assim contribuir com mais exatidão para o processo de melhoria. O uso da AM para inserção de forma ágil das modificações por eles recomendadas resultou em um dinamismo e engajamento consistente, com vários *feedbacks* importantes para a embalagem final que dificilmente seriam alcançados apenas com o uso das representações tridimensionais virtuais.

Partindo para um panorama mais amplo, quando se debate a inserção da impressão 3D no processo de design, este cada vez mais passa a contemplar as questões técnicas inerentes a essa tecnologia, se beneficiando das vantagens que ela proporciona, especialmente a maior liberdade de criação (MONTEIRO, 2015). É possível complementar esse pensamento com o que é descrito por Greenhalgh (2016, tradução nossa), que afirma em seus achados que a impressão 3D melhorou significativamente a qualidade do projeto de design, sendo um catalizador para impulsionar projetos para um patamar além do convencional, e que pode ainda alterar a estratégia cognitiva durante o processo de design. E para Sabino Netto et al. (2012), a utilização dessa tecnologia é apresentada como uma alternativa viável para a inclusão de características ergonômicas aos produtos de plástico, o que foi confirmado no estudo de caso.

A inserção da AM no processo de design também exige a adaptação do profissional às plataformas virtuais e softwares avançados que interagem com essa tecnologia sendo, portanto, mais um elemento que influencia na atuação do designer e no design de produto. Seu uso permite criar e avaliar as inter-relações formais/estruturais já na fase de definição da forma, aumentando o nível de liberdade projetual pela integração de considerações estruturais no momento da definição da forma do produto, para então serem prototipados. Isso pode impactar drasticamente o design pois abre novas possibilidades para a criação de formas que podem ser esteticamente mais interessantes, ao mesmo tempo estruturalmente mais eficientes e com a utilização de menos material (MONTEIRO, 2015).

Contudo, percebe-se a necessidade de maiores investigações quando ao real potencial de impacto da impressão 3D, pois como afirma Greenhalgh (2016), ainda há pouca literatura com ênfase em dados empíricos e experimentais comparando técnicas de construção de modelos tradicionais a técnicas de impressão 3D no que diz respeito ao cumprimento de objetivos de design.

Destaca-se ainda o cuidado quanto a forma que a AM é pensada e inserida no processo de design, pois a AM é importante, mas é apenas parte de um processo multidisciplinar e deve ser pensada de forma integrada às outras etapas de projetação.

Um foco excessivo na AM em projetos em que o produto final é produzido a partir de outros processos de fabricação é algo que merece atenção, pois há o risco de ser dado mais enfoque a como o produto será impresso em detrimento a como o produto será manufaturado. Essa abordagem pode resultar em produtos que são inviáveis de serem produzidos pelos processos tradicionais de manufatura. Portanto, há a necessidade de se ter em mente durante o processo de design a busca pelo equilíbrio entre a experimentação e a liberdade proporcionada pela impressão 3D e os requisitos de produção nos casos em que produtos finais serão produzidos por outros processos de fabricação (GREENHALGH, 2016).

Neste sentido, Monteiro (2015) afirma que novas abordagens devem ser pensadas e trazidas para os métodos de design, e estes, necessitam ser revistos para representar as novas formas de projeto, bem como as novas possibilidades de atuação do designer, exigindo do profissional a capacitação para entender o funcionamento e os recursos que esta ferramenta oferece para poder se utilizar da impressão 3D conforme a necessidade de cada projeto.

6. CONCLUSÕES

Este estudo buscou discutir como a AM por impressão 3D pode impactar no processo de design e aumentar a eficiência do resultado final do projeto. Diante dos resultados da etapa de criação, percebe-se que os diferentes tipos de protótipos desenvolvidos por meio da tecnologia de AM e utilizados no decorrer deste projeto foram importantes para o aprimoramento da qualidade final do produto, proporcionando *feedbacks* que permitiram verificar rapidamente a usabilidade e a funcionalidade da embalagem. A partir das análises feitas com as peças impressas, pode-se afirmar que houve uma percepção mais precisa e abrangente da proposta, a qual recebeu retorno positivo dos respondentes e potenciais usuários finais durante a interação com esses elementos.

Como limitações, tem-se o fato de que algumas características não puderam ser checadas, como a comunicação visual acerca da capacidade disponível da embalagem quando fechada, devido ao material opaco e pelo acabamento utilizado no protótipo final, quem diferem do conceito pensado. Além disso, as limitações de dimensão da impressora utilizada e a necessidade de construção por partes inviabilizaram a checagem das estruturas de conexão entre as tampas.

Com os resultados dos testes e o protótipo final desenvolvido, abre-se caminho para a viabilização da validação da proposta com os usuários finais no próprio TRE-MA, englobando as principais tarefas a serem desempenhadas com as embalagens quando estiverem confeccionadas, a partir de novos testes e verificações em situação de uso, com um maior aprofundamento acerca das questões ergonômicas.

Como os resultados da pesquisa têm a possibilidade de serem disponibilizados a âmbito nacional, visto que quando um projeto é adquirido por um tribunal, os demais tribunais das outras unidades federativas também têm acesso a esse material e podem replicá-lo. Portanto, como pesquisas futuras, é interessante e importante a constatação dos impactos resultantes do uso da embalagem, como a observação se sua utilização se daria de acordo como planejado, quais as novas possibilidades e quais os desafios gerados a partir da inclusão da embalagem ambiente de trabalho, sempre recuperando a opinião dos usuários quanto as soluções implementadas.

Apesar de que ainda existam barreiras a serem superadas pela impressão 3D, como a efetivação e maior disseminação da impressão de artefatos com diferentes materiais, melhor acabamento e maior qualidade nos produtos finais, em perspectivas futuras, não se deve desconsiderar um maior protagonismo da impressão 3D no processo de design de embalagens e na confecção do produto final em larga escala, especialmente no segmento voltado para o acondicionamento de dispositivos eletrônicos, onde os primeiros passos já foram dados e que se observa uma tendência nesse sentido. Tais avanços trariam mudanças significativas na forma de uso que poderiam contribuir para novas melhorias no acionamento de

MRs (JING et al., 2014, tradução nossa; MONTEIRO, 2015; ASPAR et al., 2017; BAILEY et al., 2016, 2017).

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à CAPES, ao TRE-MA, à Lucilene Cardoso, à Larissa Ferro, ao Moisaniel Pimentel, à FAPEMA, à Professora Andrea Katiane (DEDET/UFMA), ao Núcleo de Ergonomia em Processos e Produtos (NEPP), ao professor doutor Eugenio Merino, ao Núcleo de Gestão de Design e Laboratório de Design e Usabilidade (NGD-LDU/UFSC).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

1. ABRE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGENS. Embalagem. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.abre.org.br/setor/apresentacao-do-setor/a-embalagem>. Acesso em: 12 dez. 2017.
2. _____. Tipos de embalagem. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.abre.org.br/setor/apresentacao-do-setor/a-embalagem/tipos-de- embalagens/>. Acesso em: 05 maio 2017.
3. ABREU, L. C. F. Normalização dos processos de definição da embalagem de fornecedor e cliente. Minho, Portugal, Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, (2013), 195 p.
4. ASPAR, G. et al. 3D Printing as a New Packaging Approach for MEMS and Electronic Devices. In: IEEE - Electronic Components and Technology Conference (ECTC), 67., 2017. Proceedings... [s.l.], 2017. p. 1071-1079. IEEE. http://dx.doi.org/10.1109/ectc.2017.119.
5. AZEVEDO, F. M. de. Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D. 2013. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica Com ênfase em Eletrônica, Escola de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
6. BAILEY, C et al. Multi-physics Models and Condition-based Monitoring for 3D-Printing of Electronic Package. In: International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems, 18., abr. 2017. Proceedings... [s.l.], p. 1-8, abr. 2017. IEEE. http://dx.doi.org/10.1109/eurosime.2017.7926286.
7. BAILEY, C. et al. 3D-printing and electronic packaging: current status and future challenges. In: IEEE Electronics Packaging Technology Conference (EPTC), 18., 2016. Proceedings... [s.l.], nov. 2016, p. 850-853. http://dx.doi.org/10.1109/eptc.2016.7887895.
8. BARROS, R. dos S.; DINIZ, R. L.; Problematização do Processo de Embalagem de Memórias de Resultado (MRs) de Urnas Eletrônicas. In: Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interface Humano Tecnológica: Produto, Informações, Ambientes Construídos e Transportes, 16., 2017, Florianópolis. Anais... São Paulo: Blucher, 2017. p. 1056-1071. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/16ergodesign-0101.
9. _____. Projeto Conceitual de Embalagem para Memórias de Resultado de Urnas Eletrônicas sob a Abordagem do Design Colaborativo. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 13., 2018, Joinville. Anais... São Paulo: Blucher, 2019.
10. BAXTER, M. Projeto de produto. Guia prático para o desenvolvimento de novos produtos. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 2000.
11. BUCCI, D. Z. Processo de desenvolvimento de produto-embalagem: uma proposta orientada à sustentabilidade. Florianópolis, Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina (2010), 497p.
12. COSTA, Carlos Alberto; LUCIANO, Marcos Alexandre; VOLPATO, Neri. A manufatura aditiva no Design de produtos. In: VOLPATO, Neri. Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo: Blucher, 2017. Cap. 3. p. 45-68.
13. GREENHALGH, S. The effects of 3D printing in design thinking and design education. Journal of Engineering, Design and Technology, [s.l.], v. 14, n. 4, p.752-769, 3 out. 2016. Emerald. http://dx.doi.org/10.1108/jedt-02-2014-0005.
14. GROTH, G. Exploring Package Design. Clifton Park: Thomson Delmar Learning, 2006. 207 p.
15. HENRY DREYFUSS ASSOCIATES. As medidas do homem e da mulher: fatores humanos em design. Porto Alegre: Bookman, 2005. 104 p.
16. IIDA, I.; GUIMARÃES, L. B. de M. Ergonomia: projeto e produção. 3. Ed. São Paulo: Blücher, 2016.
17. JESUS, J. D. P. de; KAFURE, I. PRESERVAÇÃO DA INFORMAÇÃO EM OBJETOS DIGITAIS. Biblionline, João Pessoa, v. 6, n. 2, p.29-43, jul. 2010.
18. JING, S. K. et al. A Review of Product Design for Additive Manufacturing. Applied Mechanics and Materials, [s.l.], v. 635-637, p.97-100, set. 2014. Trans Tech Publications. http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.635-637.97.
19. JUSTIÇA ELEITORAL. Manual de Exercitação de Urnas Eletrônicas – modelos: UE2004, UE2006, UE2008, UE2009, UE2010, UE2011. 1a. Edição. Brasília: Tribunal Superior Eleitoral, 2012.
20. LIM, C. T.; LOW, Y. J. Investigating the Drop Impact of Portable Electronic Products. In: ELECTRONICCOMPONENTS AND TECHNOLOGY CONFERENCE, 52., 2002, San Diego. Proceedings... San Diego: IEEE, 2002. p. 1270 - 1274.
21. KAMINSKI, P. C.; OLIVEIRA, J. H. S. A. A Prototipagem Rápida Inserida nas Diferentes Fases de um Projeto como Instrumento de Inovação. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2000. Anais... Rio de Janeiro: ABCM, 2000.
22. LIMA, M. A. M. Introdução aos materiais e processos para designers. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2006.
23. MAGRINI, A. et al. Impactos ambientais causados pelos plásticos: uma discussão abrangente sobre os mitos e dados científicos. Rio de Janeiro: E-Papers, 2012.
24. MERINO, E.; CARVALHO, L. R.; MERINO, G. Guia de orientação para o desenvolvimento de embalagens: uma proposta de sistematização orientativa. Revista D.: Design,

Educação, Sociedade e Sustentabilidade, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 1-17, 2009.

25. MESTRINER, F. Design de Embalagem - Curso Básico. 2a. Edição. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
26. MORAES, A. de; SANTA ROSA, J. G. Design participativo, técnicas para inclusão de usuários no processo de ergodesign de interfaces. 1. ed. Rio de Janeiro: Rio Book's, 2012.
27. MONTEIRO, M. T. F. A Impressão 3D no Meio Produtivo e o Design: um estudo na fabricação de joias. 2015. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
28. NEGRÃO, C.; CAMARGO, E. Design de embalagem: Do marketing à produção. São Paulo: Novatec Editora, 2008.
29. PANERO, J.; ZELNIK, M. Dimensionamento humano para espaços interiores: um livro de consulta e referência para projetos. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2002.
30. PAZMINO, A. V.; PUPO, R.; MEDEIROS, I. MODELOS DE DIVERSAS FIDELIDADES NO PROCESSO DE DESIGN ITERATIVO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 11., 2014, Gramado. Anais... São Paulo: Blucher Design Proceedings, 2014. v. 1, p. 1 - 12.
31. PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 277 p.
32. RAYNA, T.; STRIUKOVA, L. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. Technological Forecasting and Social Change, [s.l.], v. 102, p.214-224, jan. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.023.
33. ROMEIRO FILHO, E. (Coord.). Projeto de produto. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
34. SABINO NETTO, A. C. et al. Desenvolvimento ergonômico de produtos de plástico auxiliado por protótipos rápidos. UFSC, 2012.
35. SANTOS, Jorge Roberto Lopes dos. A manufatura aditiva no Design de produtos. In: VOLPATO, Neri. Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo: Blucher, 2017. Cap. 2. p. 31-44.
36. SILVA, G. C. da. Prototipagem rápida e ferramental rápido aplicados às peças utilizadas em ensaios estáticos de embalagens para acondicionamento e transporte de peças automotivas. 2008. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Automotiva, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
37. TSE – TRIBUNAL SUPERIOR ELEITORAL. Por dentro da urna. 2. Ed. Brasília: TSE, 2010.
38. ULTIMAKER (Geldermalsen). Professional 3D printing made accessible. 2017. Disponível em: <http://ultimaker.com>. Acesso em: 20 fev. 2018.
39. VOLPATO, Neri (Org.). Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo: Blucher, 2017.
40. _____. Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações. São Paulo: Blücher. 2007.
41. VOLPATO, Neri; CARVALHO, Jonas de. Introdução à manufatura aditiva ou impressão 3D. In: VOLPATO, Neri. Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo: Blucher, 2017. Cap. 1. p. 15-30.
42. WILSON, P. The circuit designer's companion. [S.l.]: 4. ed. Newnes, 2017.