

INTEGRAÇÃO DO DFMA NO DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE AUXÍLIO AO DIAGNÓSTICO DA OSTEOPOROSE

INTEGRATION OF DFMA IN THE DEVELOPMENT OF A DEVICE TO ASSIST THE DIAGNOSIS OF OSTEOPOROSIS

INTEGRACIÓN DE DFMA EN EL DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO DE AYUDA AL DIAGNÓSTICO DE ENFERMEZAS OSTEOMETABÓLICAS

Amanda da Costa Marques^{1,2,3}, Denise da Silva Medeiros^{1,2},
Gabriela de Araújo Albuquerque^{1,2}, Antonio Luiz P. S. Campos^{1,2},
Dionísio D. A. de Carvalho^{1,2}, João Paulo Queiroz dos Santos^{1,2}, Bruno M. Pinheiro^{1,2},
Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentim^{1,2}, Agnaldo Cruz^{1,2}

RESUMO:

Desenvolver soluções tecnológicas para a população na forma de produtos é um processo que deve articular diversos fatores, como: os usuários, suas necessidades, o contexto de uso do produto e os materiais e tecnologias disponíveis para a sua construção. O designer de produtos faz a ponte entre esses fatores, por meio de metodologias que conduzem e encadeiam atividades no Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). A prototipagem é uma dessas atividades, que possibilita testar aspectos práticos dos artefatos e, por conseguinte, favorece aprimoramentos e adaptações. Nesse sentido, na medida em que o produto é projetado considerando seu processo de fabricação e montagem, abordagem conhecida como Projeto para a Fabricação e Montagem (DFMA), o PDP é favorecido. Este estudo demonstra como a aplicação do DFMA no processo de prototipagem de um dispositivo tecnológico criado para a Atenção Primária à Saúde, favoreceu seu desenvolvimento e aperfeiçoamento durante a pandemia, em um cenário limitado, especialmente quanto ao acesso à matéria-prima e à mão de obra. Os resultados apresentados propõem que a aplicação da DFMA em projetos de inovação, que buscam criar produtos físicos, contribui, não apenas com a redução de custos e tempo do projeto, mas com a sua exequibilidade em situações nas quais há restrições materiais e tecnológicas.

PALAVRAS-CHAVE: desenvolvimento de novos produtos; dispositivos médicos; gestão de projetos na pandemia; prototipagem.

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Laboratório de Inovação Tecnológica em Saúde

²Instituto Federal do Rio Grande do Norte – Núcleo Avançado de Inovação Tecnológica

³Centro Universitário SENAI CIMATEC – Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial

Fonte de Financiamento:
Instituto Federal do Rio Grande do Norte.

Conflito de Interesse:
Declaramos não haver.

Ética em Pesquisa:
Declaramos não haver necessidade.

Submetido em: data de
submissão: 15/05/2023
Aceito em: 16/11/2023

How to cite this article:

NOME

MARQUES, A. C. *et al.* Integração do DFMA no desenvolvimento de dispositivo de auxílio ao diagnóstico da osteoporose. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v19, n1, 2024.
<https://doi.org/10.11606/gtp.v19i1.212075>



ABSTRACT:

Developing technological solutions for the population in the form of products is a process that must articulate several factors, such as: users, their needs, the context in which the product is used and the materials and technologies available for its construction. The product designer bridges these factors through methodologies that lead and link activities in the Product Development Process (PDP). Prototyping is one of these activities, which makes it possible to test practical aspects of artifacts and, therefore, favors improvements and adaptations. In this sense, as the product is designed considering its manufacturing and assembly process, an approach known as Design for Manufacturing and Assembly (DFMA), the PDP is favored. This study demonstrates how the application of DFMA in the prototyping process of a technological device created for Primary Health Care, favored its development and improvement during the pandemic, in a limited scenario, especially regarding access to raw materials and the labor. The results suggest that the application of DFMA in innovation projects, which seek to create physical products, contributes not only to the reduction of project costs and time but also to its feasibility in situations with material and technological restrictions.

KEYWORDS: development of new products; medical devices; project management during the pandemic; prototyping.

RESUMEN:

Desarrollar soluciones tecnológicas para la población en forma de productos es un proceso que debe articular varios factores, como: los usuarios, sus necesidades, el contexto de uso del producto y los materiales y tecnologías disponibles para su construcción. El diseñador de productos articula estos factores mediante metodologías que conducen y vinculan las actividades del Proceso de Desarrollo de Productos (PDP). El prototipado es una de estas actividades, que permite probar aspectos prácticos de los artefactos y, por tanto, favorece mejoras y adaptaciones. Así, en la medida en que el producto se diseña teniendo en cuenta su proceso de fabricación y ensamblaje, enfoque conocido como Diseño para Fabricación y Ensamblaje (DFMA), se favorece el PDP. Este estudio demuestra cómo la aplicación del DFMA en el proceso de prototipado de un dispositivo tecnológico creado para la Atención Primaria de Salud, favoreció su desarrollo y mejora durante la pandemia, en un escenario limitado, especialmente en cuanto al acceso a materias primas y mano de obra. Los resultados presentados sugieren que la aplicación de DFMA en proyectos de innovación, que buscan crear productos físicos, contribuye no solo a la reducción de costos y tiempos del proyecto, sino también a su factibilidad en situaciones donde existen restricciones materiales y tecnológicas.

PALABRAS CLAVE: desarrollo de nuevos productos; dispositivos médicos; gestión de proyectos en la pandemia; creación de prototipos.

INTRODUÇÃO: DESAFIOS DA INOVAÇÃO DURANTE A PANDEMIA

A aplicação de metodologias para guiar o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) consiste na integração de um conjunto de atividades, informações e ferramentas para projetar um produto, considerando o processo necessário para sua produção (Rozenfeld *et al.*, 2006). Desse modo, as possibilidades e restrições tecnológicas influenciam o processo de manufatura dos produtos, sua viabilidade, custo e tempo de desenvolvimento. Estando o PDP intrinsecamente ligado à inovação, regiões com um número limitado de indústrias e que não acumulam todos os agentes facilitadores desses processos estão naturalmente em desvantagem (Andersson *et al.*, 2004). Tal desvantagem se acentua em situações em que a limitação se expande, por exemplo, para os processos de mobilidade, o que foi vivenciado recentemente no início da pandemia de COVID-19.

O cerceamento ocasionado pelo momento pandêmico transformou em diversos níveis as relações de trabalho, evidenciando a importância do conhecimento e da inovação na construção de respostas rápidas em períodos de crise. Construir tais respostas no decurso desse evento só foi possível através de inúmeras adaptações no exercício do trabalho. Na saúde, a alta demanda por soluções em um curto espaço de tempo exigiu o manejo criativo para propor saídas alternativas diante de cada obstáculo. Mediante as necessidades trazidas pela pandemia, a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2020) enfatiza que, nesse período, os investimentos globais em inovação focaram no Desenvolvimento de Novos Produtos (DNP) e aprimoramentos dos existentes, dada a urgência e incerteza da conjuntura.

Em vista disso, o Sistema Único de Saúde (SUS) propõe a retomada do foco na assistência preventiva à doenças, facilitada pela Atenção Primária à Saúde (APS) (Soares; Da Fonseca, 2020). A prevenção ou tratamento precoce de enfermidades aumenta a resolutividade dos casos e, por conseguinte, aprimora a relação custo-efetividade do processo. Logo, acessibilizar o diagnóstico e tratamento a patologias, por meio do DNP, é um passo estratégico. E é nesse cenário que o Osseus, um equipamento voltado para o auxílio ao diagnóstico da osteoporose, está sendo desenvolvido no Rio Grande do Norte (RN).

A osteoporose é uma patologia marcada pela baixa densidade mineral óssea (DMO) no paciente, o que aumenta a incidência de fraturas e reverbera em alto impacto socioeconômico global. O diagnóstico padrão da doença parte da mensuração da DMO através do exame de absorciometria de raios X de dupla energia (DXA) sobre o fêmur proximal, a espinha lombar e, em alguns casos, o antebraço. Por submeter os pacientes à radiação ionizante, a leitura realizada pelo DXA, chamada de exame de densitometria óssea, requer o tempo mínimo de um ano entre aplicações (ISCD, 2015). Dado o seu alto custo e grande porte, o dispositivo DXA requer infraestrutura apropriada e operador especializado (Ceniccola *et al.*, 2019), fazendo com que o equipamento esteja disponível apenas na Alta Complexidade hospitalar. Tal fato aumenta a necessidade de métodos alternativos que auxiliem a prever a osteoporose e, para acessibilizá-los à população, requisitos como reduzir custos e tempo de desenvolvimento são fatores-chave. Assim, o intuito principal do Osseus é realizar a triagem de pacientes que realmente necessitem passar pelo DXA, através de um dispositivo portátil, autônomo, de baixo custo e fácil manejo, que possa integrar a rede APS nas mais diversas localidades.

Porém, como dito anteriormente, a inovação é prejudicada conforme há restrição no acesso a agentes facilitadores desse processo, característico por seu alto risco e complexidade inerentes. Tal fato se acentua quando se pretende, como resultado, o DNP de um produto físico, o que demanda infraestrutura, tecnologia, mão de obra e materiais específicos. De acordo com Rozenfeld e colaboradores (2006), tradicionalmente, em países em desenvolvimento, como o Brasil, o PDP tende a focar em adaptar e melhorar produtos existentes. O processo parte da transferência internacional de tecnologia, ficando a cabo do país comprador adaptar o projeto e o produto às condições locais, levando em conta os fornecedores e processos de produção disponíveis. Nesse sentido, desenvolver novos produtos é um processo mais arriscado quanto a resultados, pois lida com a tomada de decisão em fases iniciais do projeto, quando as

incertezas são maiores, e impactam até 85% do custo final do produto (Rozenfeld *et al.*, 2006). De modo que o processo de conceber novos produtos e tecnologias tem, nestes locais, um teor desbravador de trilhar os caminhos para construir a competência local de produção de tecnologias de maior valor agregado.

Se analisarmos o setor de inovação em saúde do Brasil, visualiza-se alta dependência externa, com significativas importações de medicamentos, fármacos, materiais, equipamentos, reagentes para diagnóstico e hemoderivados (CGEE, 2010). A importação de equipamentos e insumos para o setor industrial ocorre sob a incidência de elevados preços e tempo de frete, o que se amplificou desde a pandemia e guerra na Ucrânia, levando empresas brasileiras a buscarem fornecedores alternativos em outros estados do Brasil (FIERN, 2022). Diante da expressiva fragilidade da estrutura produtiva brasileira necessária à inovação, o desenvolvimento de produtos tecnológicos para a saúde exige considerável habilidade de seus condutores para transpor barreiras impostas pelo contexto, e finalmente ter sucesso no ciclo pesquisa-desenvolvimento-produto (CGEE, 2022). Segundo a OECD (2020), devido aos riscos do processo de inovação, a maioria das organizações se mantém na zona de conforto, sustentando modelos já existentes de negócio. A organização expõe ainda que essas associações tendem a focar mais em minimizar os riscos, e menos em um sistema inteligente e eficaz de tomada de decisão, que permita decidir qual ideia tem maior chance de sucesso. Partindo dessa lógica, somar à gestão do PDP abordagens que auxiliem no manejo inteligente de recursos, considerando durante o percurso do projeto o processo de produção e montagem e, portanto, o conduzam de acordo com o que há disponível para sua execução, aumentam suas chances de sucesso. Uma dessas abordagens é chamada de Projeto para a Produção e Montagem ou, DFMA, do inglês *Design for Manufacturing and Assembly*. É esta a estratégia adotada para o desenvolvimento local do equipamento que deu origem a esse trabalho, resultado do projeto “Estudo para desenvolvimento em escala industrial, validação pré-clínica e homologação do Osseus - dispositivo biomédico para auxílio no diagnóstico de doenças osteometabólicas”. O presente artigo tem por objetivo demonstrar como a aplicação do DFMA possibilitou o desenvolvimento regional do Osseus, em meio a obstáculos exponenciados pelo contexto pandêmico, a partir das adequações evidenciadas pelo uso da abordagem. Em vista da dificuldade de localizar pesquisas com aplicações práticas de DFMA, especialmente na área da saúde, o estudo aqui apresentado buscou contribuir para a literatura e prática da área.

PROJETO PARA PRODUÇÃO E MONTAGEM (DFMA)

Projetar é o ponto de partida para o desenvolvimento de qualquer produto ou inovação. Alguns autores estimam que entre 70 e 80% do custo final do produto é definido durante o projeto (Venkatachalam; Mellichamp; Miller, 1993; Favi; Germani; Mandolini, 2016), chegando a 85% segundo Rozenfeld *et al.* (2006). De acordo com o autor, as decisões que impactam significativamente aspectos finais do produto são tomadas nas fases iniciais do projeto, quando as incertezas sobre suas especificações e processo de fabricação são maiores. É durante o percurso do desenvolvimento, com as sucessivas tomadas de decisão feitas a partir do acúmulo de informações, que as incertezas diminuem. Consequentemente, gerenciar as incertezas depende da qualidade das informações coletadas e integradas durante o projeto, bem como do contínuo manejo dos requisitos e das possíveis mudanças no mercado (Rozenfeld *et al.*, 2006). Quando as incertezas são relacionadas especialmente à infraestrutura, tecnologias e materiais disponíveis para o DNP, abordagens que orientem esse processo favorecendo sua manufatura e montagem, aumentam a viabilidade do produto. Uma delas é o Projeto para a Produção e Montagem, ou DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*).

O termo DFMA refere-se a uma combinação de métodos (DFM e DFA) pertencentes à família DfX (*Design for X*, em que o X simboliza o aspecto que será favorecido pela abordagem) (Formentini, 2022). A técnica provê um procedimento sistemático para análise de propostas de projeto pelo ponto de vista da montagem e produção, o que resulta em produtos mais simples, confiáveis e baratos de se produzir e montar (Boothroyd, 2002). De um lado, a DFM planeja o produto buscando facilitar a manufatura das partes que irão compô-lo (Boothroyd, 2002). A DFA, por sua vez, busca facilitar a montagem dos artefatos e reduzir o tempo do processo, a partir da eliminação de tarefas críticas e diminuição do número de partes separadas (Boothroyd, 1987; 1994; Formentini; Rodríguez; Favi, 2022). Para Favi e colaboradores (2016), a integração da DFA e DFM é complexa, o que faz com que o procedimento tipicamente seja executado em duas fases. Pela DFA inicialmente avalia-se diferentes propostas de solução comparando as vantagens e desvantagens de se eliminar ou combinar cada parte e o tempo gasto para montagem, levando à simplificação da estrutura do produto e à seleção de materiais e processos. Então aplica-se a DFM ao conceito selecionado, buscando detalhar os componentes do produto pelo menor custo de manufatura. Importante destacar que, por vezes, quando buscamos favorecer um aspecto da montagem, podemos prejudicar aspectos da produção, e vice-versa, sendo necessária uma análise detalhada do que beneficiará mais o projeto (Favi; Germani; Mandolini, 2016), de acordo com cada contexto, especialmente em relação aos custos e tempo gasto.

Existem diversos métodos que buscam avaliar aspectos da produção e montagem a partir de indicadores específicos, sendo o criado por Boothroyd e Dewhurst um dos mais difundidos na prática industrial (Favi; Germani; Mandolini, 2016). Dentre as premissas da abordagem, estão: simplificar o design das peças, padronizá-las e reduzir o número de partes o quanto possível; projetar dentro das capacidades do processo e evitar requisitos desnecessários de acabamento de superfície, empregando materiais comuns; moldar o projeto para ser à prova de erros, facilitar a fabricação e a montagem; projetar produtos modulares, com as partes orientadas ao manuseio; favorecer a junção e fixação eficientes; minimizar partes flexíveis e interconexões (Boothroyd, 1994; 2002).

A análise DFMA pode ser construída pela sistematização dos dados relativos ao tempo e custo de produção das peças, tempo e custo de montagem, número de componentes, detalhamento do que é adquirido pronto e outros fatores como, por exemplo, o tempo que leva para receber as peças. Para Favi e colaboradores (2016), o fato de a aplicação do método normalmente necessitar de maior detalhamento do projeto do produto, é um dos pontos fracos da abordagem, pois complica sua utilização em estágios iniciais do projeto. Se a aplicação da DFM parte da análise dos atributos necessários em uma peça para a escolha sistemática de materiais e processos que serão combinados para construí-la (Boothroyd, 2002), é difícil considerar antecipadamente as possibilidades de seleção enquanto o conceito do produto ainda está sendo desenvolvido. Segundo Ashby (2005), existe uma relação intrínseca e dinâmica na definição da forma, função, material e processo de produção de artefatos. O autor aponta que o cerne da viabilidade técnica e econômica do produto final está na gestão concomitante de definições que não podem ser feitas separadamente, pois influenciam umas às outras.

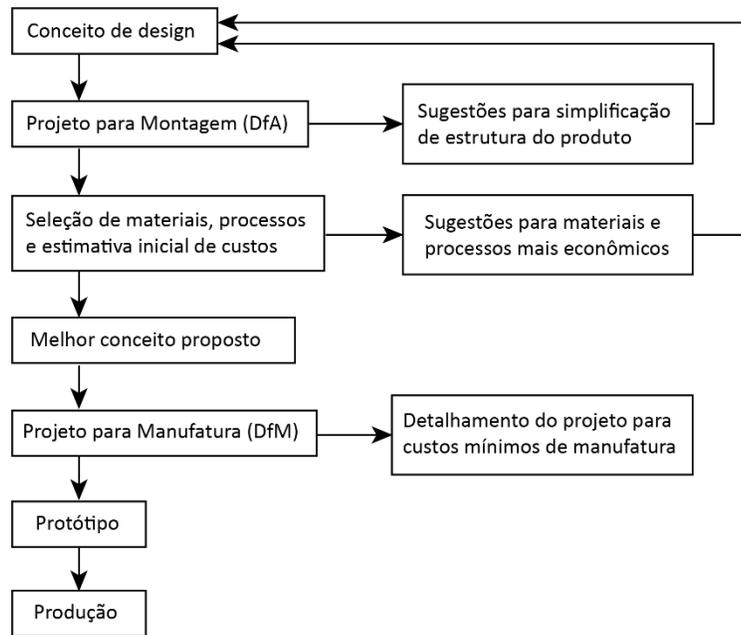
Além disso, alguns autores apontam que há uma tendência em escolhermos processos e materiais com os quais já estamos familiarizados, o que pode inibir testes e a escolha de possibilidades mais vantajosas (Boothroyd, 2002; Ashby, 2005; Ullman, 2010; Rozenfeld *et al.*, 2006). Neste quesito, Boothroyd (2002) indica executar uma avaliação econômica de materiais e processos concorrentes durante a fase conceitual do produto, para quando chegar na fase de detalhamento do projeto, a equipe já conheça os economicamente viáveis e assim aumentar a probabilidade de escolha assertiva. Ashby (2005) sugere que a pesquisa e seleção de materiais e processos de produção ocorra ao longo do PDP, conforme as definições ocorrem.

A figura 1, adaptada do livro *Product Design for Manufacture and Assembly* (Boothroyd, 2002), resume as etapas de aplicação da abordagem DFMA durante o desenvolvimento do produto. O conceito criado é analisado pela perspectiva da montagem, levando a uma possível

simplificação da estrutura do produto. Então, pela perspectiva da produção, é feita uma análise dos materiais indicados para a fabricação, estimando os custos iniciais tanto da primeira proposta, quanto da proposta simplificada pela DFA, o que permite a análise e decisão do que é mais vantajoso. A etapa seguinte parte da seleção do melhor conceito, que é detalhado e avaliado quanto ao seu processo de fabricação, buscando alternativas que reduzam os custos desse processo. Então é construído um protótipo, que possibilita examinar aspectos práticos do produto, e posteriormente parte-se para a produção.

Figura 1. Fluxograma de etapas comuns na aplicação da abordagem DFMA no PDP

Fonte: Adaptado de Boothroyd, 2002



A partir das avaliações dos conceitos criados, o (re)design dos componentes possibilita soluções que levam à redução de custos com manufatura e tempo de montagem de dispositivos, pela simplificação ou redução dos componentes do produto (Boothroyd, 1987). A abordagem DFMA encoraja o diálogo entre os designers, engenheiros de produção e demais indivíduos envolvidos no desenvolvimento do produto (Boothroyd, 2002), e incentiva o uso de conhecimentos sobre os processos de fabricação na tomada de decisão sobre os aspectos do produto nos estágios iniciais de projeto (Bralla, 1986). Tal fato favoreceu o desenvolvimento e aprimoramento do Osseus, exposto no item a seguir, especialmente durante a pandemia de COVID-19.

ESTUDO DE CASO: DESENVOLVIMENTO E APRIMORAMENTO DO OSSEUS

Desenvolvido por meio de uma combinação de técnicas e conceitos transdisciplinares, o Osseus tem como intuito acessibilizar o diagnóstico da osteoporose na APS. Sua tecnologia utiliza um sinal de radiofrequência (RF) para medir a densidade mineral óssea de modo não invasivo a partir da falange medial do dedo médio (Pinheiro *et al.*, 2021). O resultado da leitura é analisado por meio de técnicas de Aprendizado de Máquina, juntamente com dados coletados sobre fatores de risco do paciente que possam afetar a sua DMO, o que possibilita a triagem de

quem necessita ou não realizar exames mais invasivos, como o DXA. Neste estudo, a aplicação da abordagem DFMA focou no desenvolvimento do hardware do produto. O processo de desenvolvimento e aprimoramento do Osseus, ilustrado na figura 2, seguiu o fluxo iterativo exposto por Rozenfeld e colaboradores (2006) do tipo Projetar (gerar alternativas)-Construir-Testar-Otimizar, ao qual foram incorporados os princípios do DFMA.

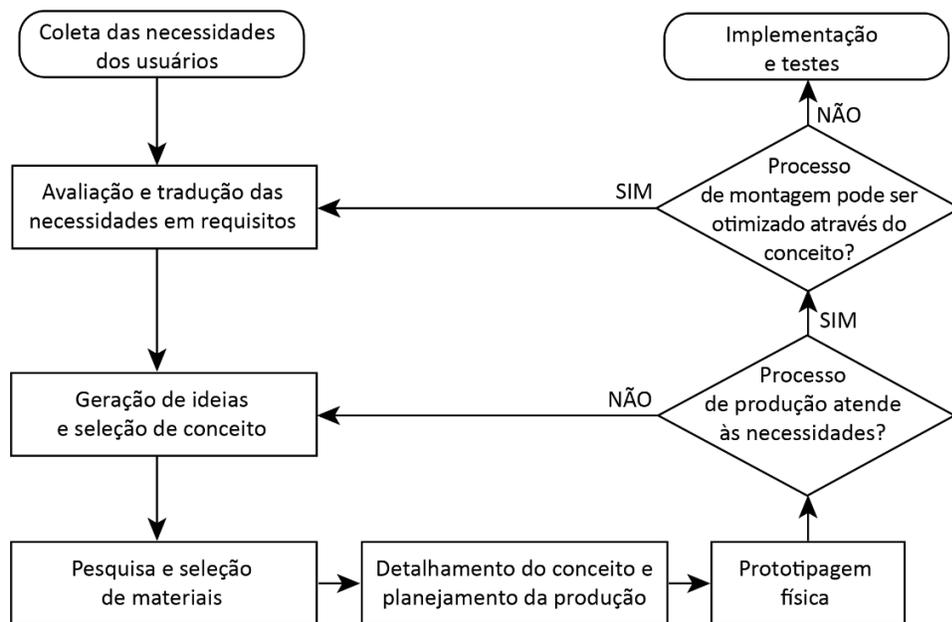


Figura 2. Fluxograma do PDP do Osseus

Fonte: Autores

Uma vez que o dispositivo se encontra em etapa de desenvolvimento pré-industrial, o processo de produção aqui referido trata de protótipos funcionais utilizados para testar aspectos da configuração do produto e validar a tecnologia em ensaios clínicos, havendo variação na demanda de produção de acordo com a fase de validação. Os requisitos para seleção de materiais e processos acompanharam a fase projetual do PDP, de modo que os primeiros protótipos foram produzidos em menor escala e com menos acurácia em relação às exigências do ambiente final a que o artefato se destina. O conceito inicial propunha o uso de uma tela para entrada e saída de dados no sistema, incorporada ao *case* do dispositivo, o que gerou um protótipo funcional construído em parceria com o *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) antes da pandemia. Devido à infraestrutura disponível no MIT, com o projeto e o plano de corte preparados ao longo de um dia, o primeiro *case* (figura 4), foi construído a partir de chapas de alumínio em menos de duas horas. Os demais componentes internos foram adquiridos localmente, em curto período. Porém, a montagem foi prejudicada pela redução dos espaços internos, um conflito de requisitos ocasionado em razão da busca pela compactação do sistema, para favorecer sua portabilidade, que gerou um dispositivo estreito em que as bordas das chapas de alumínio apresentavam risco de corte ao montador. O processo de montagem levou cerca de quarenta horas, e o custo total não foi contabilizado.

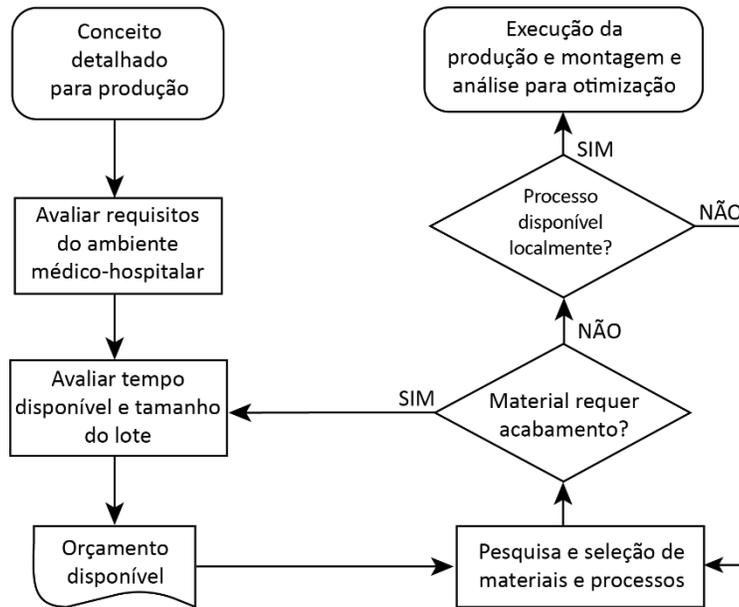
Para o desenvolvimento do Osseus no Brasil, além da redução dos custos do processo, a equipe partiu das premissas: favorecer o processo de produção e montagem; compactar componentes internos e manter a estrutura compacta, sem desconsiderar a necessidade de aumentar o acesso ao interior do dispositivo; adequar material e processo para a produção local do produto durante a pandemia. Como primeira simplificação da estrutura, substituímos a tela para entrada e saída de dados, pelo uso de dispositivos de apoio, como celulares ou tablets. O planejamento da execução dos protótipos partiu da subdivisão do sistema entre componentes internos e externos, peças de suporte, *case* interno e *case* externo. Para facilitar o processo,

buscou-se utilizar o maior número de peças normalizadas comercializadas, como placas de circuitos eletrônicos, fiação, botões e conectores led. Alguns dos materiais são vendidos somente no exterior, o que acarreta um maior tempo de frete, fator que se alavancou durante a pandemia, fazendo com que alguns itens levassem mais de 6 meses para serem entregues. Tal fato levou os desenvolvedores a iniciarem um processo de pesquisa para produção local de alguns itens, como as antenas de emissão e recepção do sinal RF e o material utilizado para absorção desse sinal.

A escolha das tecnologias e materiais para produção (figura 3) partiu da proposta de Boothroyd (2002) de analisar, em estágios iniciais de projeto, os requisitos gerais relativos ao volume necessário para produção, ao grau de complexidade das peças e suas possíveis formas, aos fatores de aparência e acurácia necessários, de acordo com as imposições do ambiente hospitalar e do serviço a ser executado. Assim, o aumento da demanda de testes necessários para validar a tecnologia exigiu uma maior produção de protótipos dentro de um tempo previsto, ampliando, conseqüentemente, requisitos como o volume necessário para produção, assim como fatores de aparência e acurácia tornaram-se mais relevantes. Tal fato refletiu especialmente no projeto do *case* do dispositivo, quando a abordagem DFMA foi particularmente útil para viabilizar sua produção dentro das restrições do contexto.

Figura 3.
Encadeamento das etapas para escolha de materiais e processos de produção dos *cases* do Osseus

Fonte: Autores



Então, foi realizada uma análise dos recursos disponíveis para prototipagem, o que por vezes exigiu da equipe de projeto buscar formas alternativas para concretizar o que foi concebido em nível abstrato. Partindo dessa análise, o segundo protótipo exposto na figura 4, foi projetado para ser materializado através de manufatura aditiva. O processo de produção dessa unidade em empresa terceirizada, em novembro de 2019, levou mais de 87,5 horas, com um custo superior a R\$800,00 se considerarmos o acabamento.



Figura 4. Protótipos produzidos durante o PDP do Osseus

Fonte: Autores

Devido ao tempo de produção do segundo *case*, um lote maior ficaria inviável em um tempo restrito. Foi realizado o *redesign* do conceito para sua produção a partir de chapas de acrílico, terceiro protótipo ilustrado na figura 4. A proposta manteve parcialmente o aspecto curvilíneo, o que prejudicou sua execução e aparência final, fazendo com que o protótipo não atendesse às expectativas estéticas da equipe. O tempo de produção foi de 4,18 horas, custando R\$350,00 por unidade, no início de março de 2020. Após montagem e avaliação, o modelo foi simplificado, para sua construção em formato retilíneo (quarto artefato na figura 4), favorecendo o uso das chapas de acrílico, reduzindo o tempo e o custo do processo. A nova proposta levou 3,59 horas para ser executada por empresa do ramo, e custou R\$306,70 por unidade, cotação realizada em dezembro de 2020. A figura 5 ilustra a comparação entre o tempo e o custo de produção local dos três *cases* mencionados.

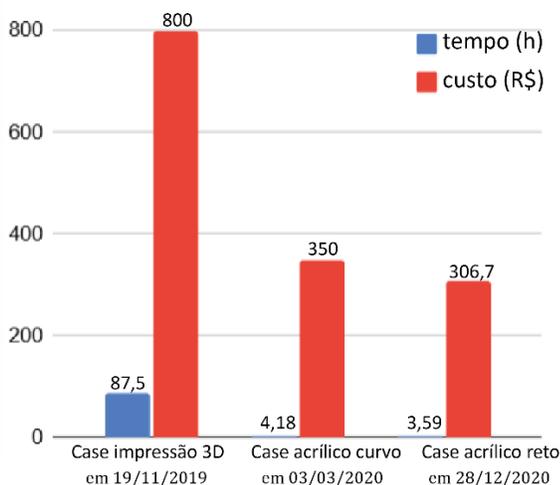


Figura 5. Comparação entre custo e tempo de produção de cada *case* do Osseus

Fonte: Autores

Assim, a produção de cada *case* evidenciou aspectos práticos do processo, o que refletiu em adaptações que levaram à redução do tempo e custo de produção. Chegando em um conceito bem estabelecido quanto a produção, o foco tornou-se favorecer o processo de montagem do produto. Considerando as interconexões elétricas significantes contidas no dispositivo, cujo preparo, segundo Boothroyd (1994), pode tomar parte considerável do processo, a equipe empenhou-se nas seguintes adaptações: aumentar o acesso aos componentes internos; projetar passagens mais diretas para a fiação e os componentes internos; possibilitar a montagem externa de partes do dispositivo através de subconjuntos. A tabela 1 demonstra as

variações de custo e tempo de produção e montagem dos cinco protótipos executados no PDP do produto.

Tabela 1. Custo e tempo de montagem de cada *case* do Osseus

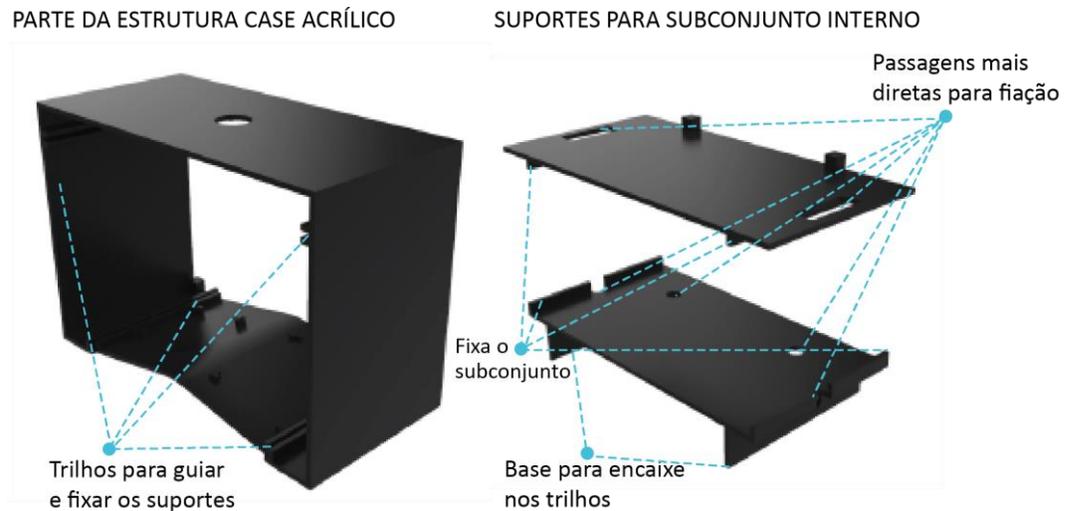
	Item	Custo (R\$)	Produção (horas)	Acabamento (horas)	Montagem protótipo (horas)
Design inicial	Case alumínio MIT	---	1,6	---	40
Redesign	Case impressão 3D	790	39,5	48	13,2
	Case acrílico (curvo)	350	4,09	0,09	9,8
	Case (retilíneo 1)	306,7	3,5	0,09	5,7
	Case (retilíneo 2)	306,7	3,5	0,09	5,2

Fonte: Autores

A redução dos custos e tempo de produção de cada *case* foi influenciada em três aspectos: a troca da matéria-prima, de impressão 3D em PLA, para chapas de acrílico, que são cortadas, dobradas e unidas por cola, e não demandam revestimento posterior, somente um rápido polimento; a adaptação da forma, de curvilínea para retilínea, o que favorece a construção do *case*; a modificação dos suportes internos, que permitiram a redução do número de parafusos para fechamento da estrutura. O tempo de montagem dos protótipos, por sua vez, foi beneficiado pelo aumento moderado dos espaços internos; pela inserção de passagens diretas para a fiação e alocação de componentes; pela criação de suportes móveis, que possibilitaram a montagem externa e posterior encaixe dos componentes já montados — para este fim, foram criados trilhos na parte interna do *case* (figura 6), que fixam lateralmente as peças de suporte da estrutura interna, e permitem sua mobilidade e retirada do subconjunto pela parte traseira da carenagem, quando aberta.

Figura 6. Algumas das adaptações realizadas para favorecer a montagem

Fonte: Autores



A partir da primeira montagem de cada conceito, é feito um estudo das etapas para tornar o processo mais eficiente, gerando um plano de montagem para os protótipos seguintes que, por conseguinte, levam menos tempo. Com a montagem do primeiro *case* retilíneo, foram avaliados alguns aprimoramentos necessários, como o aumento da passagem da fiação, e a modificação do local de alguns componentes. Com as novas adaptações, o tempo de montagem dos protótipos seguintes foi reduzido.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

De acordo com Naiju (2021), DFMA é um método que ajuda no projeto de produtos nos estágios iniciais e as adaptações aplicadas nesse projeto, guiadas por essa abordagem, possibilitaram a redução de custos, de tempo de produção e de montagem dos protótipos. Isso devido à adequação aos materiais e processos de produção disponíveis, bem como do redesign contínuo do dispositivo realizado após avaliar sua manufatura e montagem. Foi considerada a engenharia de valor para o processo de obtenção de uma solução ótima para o problema de design do projeto em construção, com a ajuda da abordagem DFMA (Naiju, 2021). Por isso, considerar a disponibilidade de matéria prima e tecnologias por si só, por vezes, não evidencia qual a escolha mais vantajosa para a situação, pois apesar do *case* construído por manufatura aditiva proporcionar maior liberdade formal, o tempo de impressão e a necessidade de revestimento e acabamento do material para adequação ao ambiente médico-hospitalar, impossibilitaram a produção de protótipos em maior escala, necessários para atender às demandas do projeto. Além disso, uma forma estruturada facilita a montagem e a capacidade de fabricação geral de um produto (Peter *et al.*, 2008). Assim, as chapas de acrílico apresentaram melhor custo-benefício a partir de sua adequação formal. O formato retilíneo do conceito final beneficiou a produção e a utilização dos espaços internos. Por fim, os ajustes empregados nos suportes internos permitiram a mobilidade dos componentes integrados em subconjuntos, para sua montagem externa e posterior instalação no interior do dispositivo.

Conforme pode ser visto na literatura, os projetistas tendem a conceber as peças em termos dos processos e materiais com os quais estão mais familiarizados (Boothroyd, 2002; Ashby, 2005; Rozenfeld *et al.*, 2006; Ullman, 2010). Entretanto, no decurso do projeto, cada protótipo funcionou como um *output* intermediário, possibilitando avaliar aspectos de produção e montagem de modo iterativo, com novos ciclos processuais e aprimoramentos consecutivos. Embora somente a execução material desses protótipos tenha permitido identificar aspectos práticos do processo, orientar o projeto do Osseus considerando desde o início sua produção e montagem favoreceu sua viabilidade, mesmo em um cenário de maior restrição material e tecnológica, como o vivenciado durante o início da pandemia de COVID-19. Como resultado, o projeto gerou protótipos exequíveis em pouco tempo, a baixo custo, com um processo que foi se adaptando à limitação material e tecnológica do contexto.

A dificuldade em localizar estudos com aplicações práticas de DFMA, em língua portuguesa, especialmente para a inovação em saúde, foi fator de incentivo à contribuição desta pesquisa para a área. Diante da significativa fragilidade inerente à estrutura produtiva brasileira, a busca pela transformação de pesquisas acadêmicas em soluções tecnológicas na forma de produtos, requer constantes manobras criativas, nas quais o uso de métodos e conhecimentos diversos pode ser de grande auxílio. Essa vivência reforçou o quão essencial é o diálogo entre os diferentes eixos que participam da construção da inovação tecnológica, por meio da busca pela integração transdisciplinar dos conhecimentos que constroem o projeto, e a tentativa de atender suas necessidades, dentro das possibilidades projetuais. Economias de industrialização tardia, como a brasileira, vivem sob constante pressão de um mercado externo mais preparado para a produção de bens complexos, o que reforça questões como: vale a pena investir a longo prazo para a construção de competências locais de inovação na forma de produtos físicos?

O percurso para habilitar o processo de inovação requer o acúmulo de capacidades tecnológicas, o que pressupõe tempo e investimento, em um movimento arriscado e impreciso quanto ao retorno. No caso do Brasil, nota-se um hiato na interconexão de competências, de modo que, embora tenhamos expressivas produções científicas na forma de artigos, a sua aplicação em soluções para necessidades imediatas da população é bastante insatisfatória. Assim como o patenteamento de um produto, por si só, não significa o sucesso do ciclo pesquisa-desenvolvimento-produto, nem da inovação. A inovação ocorre quando a solução chega às pessoas, ao mercado. Este cenário dificultoso local é influenciado pela falta de investimentos bem direcionados, equipamentos e conhecimento especializado para construir

as competências necessárias para conduzir o processo. Do mesmo modo que o uso da abordagem DFMA auxiliou o projeto Osseus a encontrar saídas para as limitações impostas pelo contexto, é preciso encontrar meios de viabilizar o desenvolvimento da capacidade de inovação nacional.

Referências Bibliográficas

ANDERSSON, Martin et al. Regional innovation systems in small & medium-sized regions a critical review & assessment. **Working Paper Series in Economics and Institutions of Innovation**, n. 10, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/3-540-34488-8_4>. Acesso em: 01 fev. 2023.

ASHBY, Michael. **Materials selection in mechanical design**. Oxford: Elsevier, 3 ed., 2005.

BORILLE, Anderson et al. Applying decision methods to select rapid prototyping technologies. **Rapid Prototyping Journal**, v. 16, n. 1, p. 50-62, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/13552541011011712>>. Acesso em: 10 fev. 2023.

BOOTHROYD, Geoffrey. Product design for manufacture and assembly. **Computer-Aided Design**, v. 26, n. 7, p. 505-520, 1994.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. Product Design for Manufacture and Assembly (DfMA). **Wakefield, Boothroyd Dewhurst Inc**, 2002.

BOOTHROYD, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. **Product Design for Manufacture and Assembly**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1201/9781420089288>>. Acesso em: 18 out. 2023.

BRALLA, James G. **Design for manufacturability handbook**. McGraw-Hill Education, 1999.

CAMPBELL, R. I. et al. Design evolution through customer interaction with functional prototypes. **Journal of Engineering Design**, v. 18, n. 6, p. 617-635, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/09544820601178507>>. Acesso em: 16 jun. 2023.

CANCIGLIERI JUNIOR, Osiris; SELHORST JUNIOR, Aguilar; SANT'ANNA, Ângelo Márcio Oliveira. Método de decisão dos processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos. **Gestão & Produção**, v. 22, p. 345-355, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0104-530X633-13>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

CENICCOLA, Guilherme Duprat et al. Current technologies in body composition assessment: advantages and disadvantages. **Nutrition**, v. 62, p. 25-31, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.nut.2018.11.028>>. Acesso em: 10 fev. 2023.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Foresight estratégico da pesquisa em saúde no Instituto de Medicina Integral Professor Fernando Figueira - IMIP**. Relatório Final. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br>>. Acesso em: 25 jul. 2023.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Boletim Anual OCTI**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, v.3 (jun. 2023), 2021. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br>>. Acesso em: 25 jul. 2023.

FAVI, Claudio; GERMANI, Michele; MANDOLINI, Marco. A multi-objective design approach to include material, manufacturing and assembly costs in the early design phase. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 251-256, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.043>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

FORMENTINI, Giovanni; BOIX RODRÍGUEZ, Núria; FAVI, Claudio. Design for manufacturing and assembly methods in the product development process of mechanical products: a systematic literature review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 120,

n. 7-8, p. 4307-4334, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00170-022-08837-6>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE (FIERN). **FIERN**, 2023. Sondagens Industriais. Disponível em: <<https://www.fiern.org.br/sondagens-industriais/>>. Acesso em: 1 mar. 2023.

HORÁK, P. et al. Environment friendly DFMA. **QFD/FMEA laboratory on the University of Pannonia, Fascicle of Management and Technological Engineering**, v. 7, 2008. Disponível em: <https://imt.uoradea.ro/auo.fmte/files-2008/TCM_files/HORAK%20PETER%201.pdf>. Acesso em: 18 out. 2023.

KANTAN TECNOLOGIA. **Portal da Inovação do RN**. Disponível em: <<https://inovacaorn.com.br/pages/>>. Acesso em: 01 mar. 2023.

NAIJU, C. D. DFMA for product designers: A review. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, p. 7473-7478, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.134>>. Acesso em: 18 out. 2023.

PINHEIRO, Bruno de Melo et al. The influence of antenna gain and beamwidth used in OSSEUS in the screening process for osteoporosis. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 19148, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-021-98204-4>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

RAMALINGAM, Ben; PRABHU, Jaideep. Innovation, development and COVID-19: Challenges, opportunities and ways forward. **Paper: OECD**, v. 1, 2020. Disponível em: <<https://www.oecd.org>>. Acesso em: 02 mar. 2023.

ROZENFELD, Henrique; AMARAL, Daniel Capaldo. **Gestão de projetos em desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SANT'ANNA, Ângelo Márcio Oliveira. Framework of decision in data modeling for quality improvement. **The TQM Journal**, v. 27, n. 1, p. 135-149, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/TQM-06-2013-0066>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

SOARES, Cíntia Siqueira Araújo; DA FONSECA, Cristina Luiza Ramos. Atenção primária à saúde em tempos de pandemia. **JMPHC| Journal of Management & Primary Health Care | ISSN 2179-6750**, v. 12, p. 1-11, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.14295/jmphc.v12.998>>. Acesso em: 01 fev. 2023.

Sociedade Internacional para Densitometria Clínica (ISCD). **ISCD**, 2023. Cargos Oficiais Adultos do ISCD atualizados em 2019. Disponível em: <<https://iscd.org/learn/official-positions/adult-positions/>>. Acesso em: 5 fev. 2023.

ULLMAN, David G. **The mechanical design process**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

WOOD, Amy E.; WOOD, Charles D.; MATTSON, Christopher A. Application and modification of design for manufacture and assembly principles for the developing world. In: **IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC 2014)**. IEEE, 2014. p. 451-457. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/GHTC.2014.6970321>>. Acesso em: 05 mai. 2023.

Amanda da Costa Marques
amanda.marques@lais.huol.ufrn.br

Denise da Silva Medeiros
denisesilvamd@hotmail.com

Gabriela de Araújo Albuquerque
gabriela.albuquerque@lais.huol.ufrn.br

Antonio Luiz P. S. Campos
antonio.campos@ufrn.br

Dionísio D. A. de Carvalho
dionisio.carvalho@huol.ufrn.br

João Paulo Queiroz dos Santos
joao.queiroz@navi.ifrn.br

Bruno M. Pinheiro
bruno.melo@lais.huol.ufrn.br

Ricardo Alexandro de M. Valentim
ricardo.valentim@lais.huol.ufrn.br

Agnaldo Cruz
agnaldo.cruz@lais.huol.ufrn.br