REVISTA DESIGN & TECNOLOGIA
ISSN: 2178-1974
2021, Vol. 11, No.22
DOI 10.23972/det2021iss22pp52-69

PGDESIGN
www.pgdesign.ufrgs.br

Os benefícios da aplicação de iterações para avaliação de funções e para definição de soluções de design e engenharia no processo de desenvolvimento integrado de produtos

Paulo H. P. Setti[1], Osiris Canciglieri Jr.[1], Marcelo Rudek[1]

[1] *Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial e de Sistemas (PPGEPS), Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR, Curitiba, Brasil*

RESUMO

A busca por diferenciais competitivos na indústria atual tem exigido mudanças conceituais na política de desenvolvimento de novos produtos. Nessa direção, avaliar as funções de um produto e associá-las aos seus aspectos de manufaturabilidade tem sido crucial para redução de custo e para a obtenção de um projeto mais equilibrado no que se refere ao valor percebido pelo cliente e o real custo de fabricação de cada uma de suas funções. Entretanto, ainda não existem estudos relevantes que mostrem o atual estado da arte no que diz respeito a métodos que interacionem as fases de um processo de desenvolvimento integrado de produtos (IPDP). Com isso, o objetivo desse artigo é buscar a fronteira do conhecimento no que se refere à métodos e estudos que englobem, especificamente, as fases de projeto que definem as funções e fases que definem as soluções em um ambiente de engenharia simultânea. E, a partir desses resultados, cruzar essa fronteira com a proposta e aplicação de um método sobre um caso real de otimização de design em um subconjunto de um produto da indústria de bens de consumo. Dessa forma, este estudo aplicou e avaliou um novo método, seus ganhos e limitações. Verificando, assim, a influência do método no equilíbrio entre o valor e o custo de cada função do conjunto, além da comparação direta do custo final da solução com a versão sem aplicação do método. Dentre os resultados, este artigo apresenta um relatório mostrando a relevância das informações levantadas, a viabilidade do método, suas particularidades, impactos e limitações.

PALAVRAS-CHAVE

Processo Desenvolvimento Integrado de Produtos;
Engenharia Simultânea;
Engenharia de valor;
Valor de Funções;
Custo de Soluções

The benefits of applying iterations between functions and solutions in the integrated product development process

ABSTRACT

The search for competitive differentials in the current industry has required conceptual changes in in new product development processes. In this way, evaluating the product functions and associating them with its aspects of manufacturability has been crucial for cost reduction and for obtaining a better balanced of the design regarding the value perceived by the customer and the real manufacturing costs to meet each of the functions. However, there are not relevant studies showing the current state of the art for methods that cyclically interact with the phases of an integrated product development process (IPDP) assessing the issues of product functions, perceived value by the consumer, solutions definition and manufacturing costs. Thus, the objective of this paper is to seek the border of knowledge regarding methods and studies that specifically encompass the design phases that define the functions and phases that define the solutions in a concurrent engineering environment. And, from these results, cross that border with the proposal and application of a method over a real case of design optimization in a product subset from the consumer goods industry. Thus, this study applied and evaluated a new method, its gains and limitations. As well as, verifying the influence of the method in the balance between the value and the cost of each set function, in addition to the direct comparison of the final cost of the solution with the version without the method application. Among the results, this article presents a report showing the relevance of the information collected, the method viability, its particularities, impacts and limitations.

KEYWORDS

Integrated Product Development Process;
Concurrent Engineering;
Value Engineering;
Functions value;
Solutions cost

CONTATO: Paulo H. P. Setti – *settipaulo7@gmail.com*

© 2021 – Revista Design & Tecnologia

1. INTRODUÇÃO

Em um cenário altamente competitivo onde as empresas de tecnologia precisam lançar novos produtos cada vez mais rapidamente, com mais qualidade e com um menor custo de transformação, ajustes sistemáticos nos processos tradicionais de desenvolvimento de produtos (PD) se fazem necessários. Assim, para essa busca da evolução contínua do processo desenvolvimento ocorrer, o mundo científico vem trabalhando com novas propostas e analisando seus efeitos. Esse esforço conjunto entre a academia e o mundo industrial procura elaborar propostas para completar as atividades formais de desenvolvimento de novos produtos dentro dos limites orçamentários e, acima de tudo, gerando a possibilidade de alta rentabilidade com o menor risco possível. Para isso, cada empresa segue um processo de desenvolvimento de produtos (PDP) mais adequado ao seu negócio, mas que visa dividir as atividades desse PDP em fases e etapas, de maneira a sistematizar o processo criativo e auxiliar a tomada de decisão. Contudo, seja qual for o cenário industrial, a definição das fases e etapas partem dos requisitos de projeto definidos pelo corpo diretivo das organizações com base na voz do cliente e em estratégias mercadológicas, a fim de acomodar a diversidade das preferências do público consumidor (Ma and Kim, 2016). Esses requisitos definem as restrições e características de um produto e suas informações devem ser efetivamente compartilhadas em diferentes fases do PDP sem qualquer perda do significado (Szejka et al., 2017). Sendo os requisitos o fio condutor de um projeto de produto, todas as atividades definidas ao longo desse estágio do ciclo de vida mantêm seu olhar apontado a eles, porém levando em consideração as necessidades de todos os personagens envolvidos nos demais estágios vida desse novo bem de consumo. Logo, os interesses das mais diversas áreas, como marketing, design industrial, engenharia de produtos, manufatura, qualidade, logística, compras, assistência técnica e meio ambiente, devem ser discutidos em todas as fases e etapas do desenvolvimento. Esse trabalho multidisciplinar em um ambiente de engenharia simultânea (CE) gera decisões colegiadas que, em um primeiro momento, diminuem o tempo de projeto por trabalhar cada etapa não mais de forma serial e sim paralelamente, mas, principalmente, diminuem os retrabalhos futuros.

A necessidade de se trabalhar nesse ambiente de engenharia simultânea (CE) fez com que as fronteiras entre os vários departamentos que existiam nas empresas de tecnologias caíssem, transformando o processo de desenvolvimento de produtos em uma atividade integrada (IPDP). Entretanto, mesmo em um ambiente de engenharia simultânea onde os vários atores envolvidos no ciclo de vida do produto trabalham unidos em cada etapa do desenvolvimento, percebe-se que algumas etapas são tratadas muito isoladamente. Isto é, os muros entre as áreas das empresas foram derrubados, mas as paredes entre as fases e etapas do IPDP ainda estão erguidas. Com isso, discussões fundamentais para definição de um produto, realizadas em etapas anteriores, são evitadas de voltar ao debate e grandes oportunidades podem ser perdidas, como o equilíbrio entre valor e custo (Setti et al., 2021).

Ao desenvolver novos produtos, é importante que as equipes de projeto compreendam as percepções dos consumidores sobre os produtos, pois o sucesso desses produtos depende muito do nível de satisfação do cliente (Kwong, 2009). A busca de equilíbrio entre valor e custo coincide com a busca de sucesso de um projeto, pois já se confirmou que quanto melhor esse equilíbrio, maior a probabilidade de sucesso comercial de um novo desenvolvimento no mercado. Conforme abordado por Stone et al., (2008), a satisfação do cliente é fundamental para a sobrevivência do negócio. E essa satisfação só é alcançada com a percepção de valor associada a realização de custo. Por outro lado, as abordagens ainda tratam essas duas grandezas separadamente, o que sugere que as caixas de atividades e etapas de um IPDP devem ser abertas e as discussões não ocorram mais dentro de cada caixa e sim ao redor delas.

Com base nisso, o objetivo desse artigo é, primeiramente, identificar o estado da arte no que se refere a interrelação e ciclos entre as fases de projeto que discutem valor e custo. Assim como a fronteira do conhecimento entre as fases de projeto conceitual e preliminar, dentro das quais, de forma clássica, se discutem e ponderam os valores percebidos de cada função e suas associações com os aspectos de manufaturabilidade gerados pelas soluções selecionadas. A partir desse ponto, é proposto e testado um método que busca o equilíbrio entre essas grandezas – valor e custo – de cada função.

Para isso, esta pesquisa buscou na literatura existente os métodos ou modelos científicos relacionados a esse universo de estudo. Ponderando as relevâncias, abrangências e aplicações práticas dos estudos e o impacto das respectivas revistas e autores na área de desenvolvimento de produtos inovadores orientados para indústrias de tecnologias. Assim, esse estudo é composto inicialmente por uma revisão sistemática da literatura, seguida da análise de conteúdo, com o objetivo de gerar reflexões sobre as interações existentes entre as fases e etapas de definição das funções e das soluções no IPDP, culminado na aplicação de um método em um caso real de design industrial da indústria de bens de consumo.

2. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTOS (PDIP)

O desenvolvimento integrado de produtos (DIP) deve ser entendido como uma abordagem gerencial para melhorar o desempenho do desenvolvimento de produtos por meio do gerenciamento da sobreposição, da execução paralela e do fluxo de trabalho simultâneo de atividades (Sommer, 2014). O estudo das etapas que compõem o processo de desenvolvimento integrado de produtos (PDIP) em um ambiente de engenharia simultânea mostra a importância do uso das ferramentas de auxílio no planejamento e tomada de decisões. Conforme argumentado por Shen (2017), ocorre uma transferência no fluxo de informações naturalmente ao longo do ciclo de vida dos produtos e esse fluxo deve ser sistematizado. Como a minimização de custos é sempre um dos objetivos que uma empresa busca, a avaliação profunda de alternativas de forma sistêmica torna-se fundamental para auxiliar os engenheiros e demais membros de um time de projetos a tomarem a decisão sobre a melhor configuração.

Os primeiros passos de um PDIP são as definições do que o produto irá executar, isto é, de suas funções. Para isso existem alguns modelos para projeto de produtos que operacionalizam os conceitos de Engenharia Simultânea e a integração entre áreas envolvidas no processo de desenvolvimento, entre eles a engenharia de valor (EV) e o projeto orientado à montagem (DFA). Entretanto os métodos são aplicados em fases diferentes do PDIP. A EV é aplicada na fase em que se discutem as funções, o projeto conceitual. Por outro lado, o DFA é aplicado preferencialmente no projeto preliminar por demandar dados técnico e propostas de soluções.

As metodologias sistemáticas de projeto prescrevem procedimentos passo-a-passo, desde a representação funcional, decomposição e busca de soluções até o projeto conceitual, preliminar e detalhado (Lu et al., 2011). Conforme argumentado por Zheng et al. (2014), devido ao crescente número de requisitos e à introdução de novas tecnologias, as

tendências atuais indicam que mais disciplinas foram envolvidas no projeto de um produto. Cada vez mais os projetos são desenvolvidos com a participação de atores das mais variadas áreas, especialmente nas fases conceitual e preliminar. A fim de alcançar a integração entre esses personagens multidisciplinares, mais e mais pesquisadores focam na interface entre eles, visto que a interface de informações desempenha um papel bastante significativo para garantir que os componentes definidos pelos projetistas de diferentes disciplinas se integrem corretamente e, eventualmente, ajude-os a alcançar o projeto integrado.

Sempre com o olhar voltado aos requisitos de desempenho, que são as constantes reverberações que a voz do cliente gera em cada reunião de tomada de decisão, a maioria dos autores divide o conhecimento em dois tipos: conhecimento explícito e conhecimento tácito – know-how – e a integração desses conhecimentos de atores de várias formações, experiências pessoais e ações em diferentes departamentos de uma empresa define o processo de desenvolvimento integrado de produtos (Marwa et al., 2017).

O processo de desenvolvimento integrado de produtos (IPDP) moderno tem requerido colaborações simultâneas de múltiplos grupos, produzindo e trocando conhecimentos e informações a partir de múltiplas perspectivas, como a de projeto, de fabricação (incluindo moldagem, usinagem, montagem, inspeção, etc.), além da perspectiva de descarte, de remanufatura, de marketing e outras, dentro e além das fronteiras institucionais (Zhang et al. 2017).

No mesmo sentido, PDIP pode ser definido como a forma tradicional de organização das informações e definição das etapas para a criação de um novo produto. Canciglieri Jr. e Young (2010) mostram que desenvolver um novo projeto é uma tarefa complexa que envolve todas as áreas funcionais de uma empresa e exige o trabalho simultâneo de uma equipe multidisciplinar. Isso vale tanto para um produto isolado, quanto para uma família de produtos, onde uma das tarefas importantes nesse complexo problema é a determinação de arquiteturas otimizadas de famílias de produtos, sendo a arquitetura do produto o arranjo de elementos funcionais que devem estar previstos em cada uma das etapas formais do IPDP (Ma e Kim, 2016).

Os passos de um IPDP podem variar de empresa para empresa, mas, invariavelmente são divididos em três fases muito bem caracterizadas, com nomenclaturas próprias. Dentro de cada uma dessas fases são utilizadas ferramentas de projeto para auxiliar na tomada de decisão. O projeto só é "promovido" à fase seguinte se cumprir, de maneira colegiada, cada umas das etapas intermediárias. Mas, quais são essas fases? Como foi falado, os nomes podem variar, mas, a priori, tratam de assuntos sempre específicos. A primeira fase aborda questões referentes à definição e análise das "funções" do novo produto. A segunda trata de assuntos e ferramentas de tomada de decisões relativa às soluções que serão adotadas. Já a terceira discute e define as especificações técnicas, protótipos e testes.

Há tempos, assim como descrito por Souder et al. (1997), é frisado que para uma integração real, é fundamental a cooperação das equipes de várias áreas de formação e interesse dentro de uma empresa como Marketing, Design, Pesquisa, Engenharia de Produtos, Engenharia Industrial, Qualidade, Logística, Manufatura, Vendas e Pós-Vendas, por exemplo, que trabalhando juntas e com o olhar voltado ao cliente final ao longo de todas as atividades intermediárias do projeto, definem o sucesso ou fracasso de um produto. Cada método de projeto usado em cada etapa das fases do PDIP deve ser estruturado através de discussões entre os representantes das áreas, formando um ambiente de engenharia simultânea, conforme ilustrado na Figura 1. Essa deve ser uma abordagem sistemática ao projeto integrado e simultâneo de produtos e seus processos relacionados, incluindo fabricação e suporte. Essa tratativa visa levar os desenvolvedores a considerar todos os elementos presentes no ciclo de vida do produto, desde a concepção até o descarte, incluindo requisitos do usuário, nível de qualidade, funções, valor, soluções, custos e cronograma.

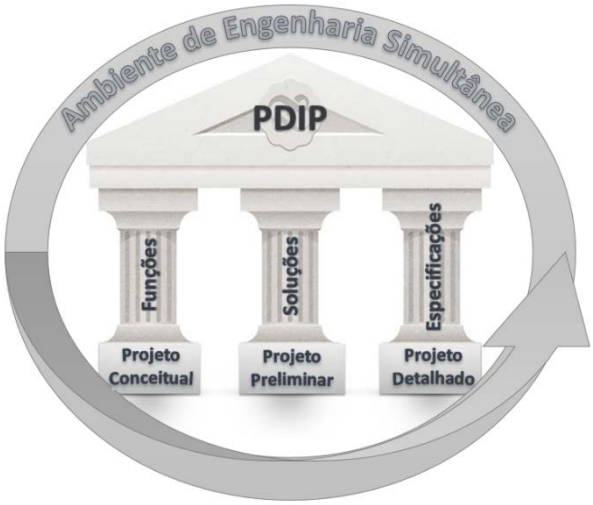


Figura 1 Três fases do desenvolvimento de produto imersas em um ambiente de Engenharia Simultânea.

3. ENGENHARIA SIMULTÂNEA NO CONTEXTO DO PDIP

Como descrito anteriormente, um desenvolvimento de produto (DP) para ser considerado um processo integrado de desenvolvimento (PDIP) deve estruturar suas atividades em um ambiente de engenharia simultânea (ES), onde o trabalho em paralelo dos vários membros de um time multidisciplinar torna-se indispensável. Logo a definição dessa filosofia de trabalho torna-se fortemente relevante.

Essa concepção foi introduzida pela primeira vez em um relatório apresentado pelo departamento de defesa americano (IDA) em 1988 (Winner et al., 1988 and Shouke et al., 2010). Desde então, esse padrão de trabalho baseado na ES tornou-se a principal escolha para muitas empresas reestruturarem seus processos e realizarem um sistema integrado de gestão, devido aos significativos ganhos de tempo e custos de desenvolvimento, além da melhoria da qualidade e quantidade de inovações pela participação dos representantes de todos os setores da empresa em todas as fases e etapas do PDIP.

Dessa forma, projetos de produtos devem ser vistos como como organizações temporárias, isto é, cada novo desenvolvimento é estruturado com membros das mais diversas áreas que se reúnem por um prazo determinado e de acordo com o inventário tecnológico disponível na empresa. Em função desta demanda por esse tipo de organização que empresas, que utilizam a engenharia simultânea como alicerce de desenvolvimento, aplicam em suas organizações a estrutura matricial por projeto. Logo, se torna fundamental que todos os níveis de uma organização entendam a filosofia de engenharia simultânea e saiba trabalhar nesse ambiente. Cada ferramenta de projeto usada em cada etapa das fases do PDIP deve ser estruturada através de discussões entre os representantes dos diversos departamentos que serão envolvidos ao longo do ciclo de vida daquele futuro produto, formando um ambiente de engenharia simultânea, conforme ilustrado na Figura 1. Com o desenvolvimento de sistemas de engenharia, a engenharia simultânea tem recebido cada vez mais atenção.

Recentemente, muitas tecnologias de ES foram desenvolvidas para resolver problemas de projeto integrados e simultâneos de sistemas de engenharia (Meng et al., 2016).

Todavia, a ES pode ser ao mesmo tempo uma filosofia e um ambiente. Como filosofia, é baseada no reconhecimento individual das próprias responsabilidades para a qualidade do produto. Como ambiente, é baseada no projeto paralelo do produto e processos que tem influência ao longo do ciclo de vida.

Conforme descrito por Chen, B. (2018), o processo de desenvolvimento integrado de novos produtos é complexo, em parte devido às amplas áreas de especialização que precisam trabalhar juntas para alcançar os melhores resultados e pelos mais variados pontos de vista dos representantes de todas as áreas envolvidas no ciclo de vida de um novo produto que são fundamentais para compor a configuração definitiva das funções e soluções desse desenvolvimento e que precisam ser analisados. Portanto, cada decisão deve ser tomada de forma colegiada, isto é, com a participação e discussão de todos os personagens que farão parte de todo o ciclo de vida desse novo produto, ou seja, os representantes de todas as áreas chaves da empresa desenvolvedora de inovação. Um excelente projeto de produto pode precisar de anos de experiência de trabalho além de lampejos de inspiração de um engenheiro projetista. Esses anos de experiência e conhecimento do PDIP dos membros de uma equipe de desenvolvimento serão o diferencial para a redução da probabilidade de fracasso de um novo produto (Pahl et al., 2007).

Alguns pesquisadores expõem que este modo de trabalho simultâneo efetivamente melhora a estabilidade do processo de projeto (Chen et al., 2007). As decisões colegiadas entre os membros de todas as áreas da companhia devem ocorrer durante todo o processo de desenvolvimento. Nesse sentido, Prasad (2016) argumenta que a cada dia, um maior número de empresas está descobrindo que o verdadeiro aumento na produtividade começa com fatores como processos limpos e eficientes, boa infraestrutura de comunicação, engenharia simultânea, colaboração e trabalho em equipe. A metodologia de ES é aplicada nas fases iniciais de desenvolvimento de novos produtos em vários setores da indústria moderna e é combinada com otimização de projeto multidisciplinares. A formalização das atividades de cada fase e etapa do PDIP torna o processo de desenvolvimento mais rápido e os resultados obtidos mais seguros em termos de proteção do investimento, pois busca minimizar os erros e perdas de oportunidades. Além disso, compromete todas as áreas da empresa em cada decisão a ser tomada.

A forma como se define a execução de cada atividade, segundo Ullman (2010) e Pereira e Canciglieri Jr. (2013), deve envolver cada membro dessa equipe de desenvolvimento para definição de cada função agregada e cada solução definida para o novo produto. Assim, as metodologias de desenvolvimento de projeto baseadas na engenharia simultânea costumam ter concepção de caráter, fundamentalmente, multidisciplinar.

Esse ciclo o de desenvolvimento de produtos que segue a sistemática de primeiro tratar de funções, para na sequência discorrer sobre soluções e então definir as especificações, em um ambiente de ES, tem sido tratada na literatura como PDIP, onde suas três fases formais podem ser descritas como: projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado (Rauniar et al., 2017 e Kim & Lee, 2016). Nessa sequência e através de seus processos, a empresa é capaz de criar produtos em um ambiente de ES, mais competitivos, em menor tempo, podendo atender à constante evolução e demanda do mercado.

O objetivo final da engenharia simultânea é a integração de pesquisa e desenvolvimento, design de produto, planejamento de processo, fabricação, montagem e marketing em uma atividade comum. No centro do processo de ES está a equipe conjunta de projeto / produção que coordena os comentários e redesenha as sugestões de cada um dos especialistas do domínio. O fluxo de comunicação e informação entre os especialistas é crucial para o sucesso da ES. Nesta abordagem o conceitual é distribuído para todos os especialistas, momento em que cada um pode comentar sobre o projeto em relação à sua própria área de especialização (Shenas e Derakhshan, 1994). Esses especialistas têm que conceituar o produto e otimizá-lo até que um consenso seja alcançado sobre a conformidade de projeto, funcionalidade, produtividade e estimativas de custo. As funções e soluções são discutidos entre os agentes especializados de cada área de domínio. Todos sugerem alterações nas funções e soluções para atender a esses requisitos. Logo, ferramentas de projetos para sistematizar essas discussões devem ser elaboradas e usadas para organizar o processo de tomada de decisões. Em cada etapa do PDIP as tomadas de decisão devem ser colegiadas, criando um ambiente de engenharia simultânea entre as áreas e entre as fases do desenvolvimento. Com isso a oportunidade para a inovações e a sinergia tecnológica é grandemente aumentada através intercâmbio de informações de competências heterogêneas dos diferentes personagens.

4. FASES E ETAPAS DO PDIP

Projetos tradicionais de desenvolvimento de produtos (DP) são implementados dentro de limites rígidos de tempo e recursos. As mudanças tecnológicas aceleram com a competição global intensificada, que muda rapidamente as preferências dos clientes e encurta os ciclos de vida de novos produtos (Lu et al., 2017). Então, sendo DP apenas uma das atividades inerentes de todo ciclo de vida, é importante visualizá-la dentro desse contexto. Para isso, Labuschagne e Brent (2005) propõem que esse ciclo seja dividido em sete fases genéricas que podem ser adaptadas para atender às necessidades de projetos individuais. São elas: Geração das ideias, Pre-desenvolvimento, viabilidade, desenvolvimento do produto (PD), comissionamento, lançamento e revisão pós-implementação. Mas que podem ter nomes alternativos de acordo com as características da empresa, conforme Tabela 1.

Tabela 1 Sete fases do ciclo de vida de um produto. Adaptado de Labuschagne e Brent (2005)

	Fase do ciclo de vida do produto	Nomes alternativos		
Pre-desenvolvimento	Geração de ideias	Proposta	Concepção	Idealização
	Pre-viabilidade	Investigação inicial	Avaliação inicial	Pesquisa
	Viabilidade	Definição	Business case	Autorização executiva
Desenvolvimento	Desenvolvimento do produto (DP)	Implementação	Construção	Desenvolvimento e testes
	Comissionamento	Tentativas	Lotes de tests	Lotes de validação
Pos-Desenvolvimento	Lançamento	Liberação para produção	implementação	Aceite executivo
	Revisão pós-implementação	Business review	Auditoria	Pós revisão do projeto

Outras abordagens, como a preconizada por Yu e Sangiorgi (2018), dividem o ciclo de um produto em apenas duas fases, a de planejamento e a de execução. Porém as atividades finas são as mesmas e ocorrem na mesma sequência listada na tratativa anterior e em um ciclo contínuo entre projetos. Mostrando assim que, mais importante que o nome de uma determinada fase, as atividades e competências trabalhadas nelas é o que mais importa.

O que se percebe é que os estudos mais recentes evitam fechar as “caixas”, tantos dos estágios do ciclo de vida produtos, quanto das fases e etapas de cada um desses estágios, como o que abrange esse artigo, que tem seu foco dentro do estágio de design e desenvolvimento (PD). Esses mesmos estudos atuais, como o apresentado por Unger e Eppinger (2011), além de abrir essas “caixas”, propõe avaliações cíclicas entre elas, como vemos na Figura 2. Essa proposta de PDP em espiral repete etapas regulares, incluindo desenvolvimento de conceito, design de nível de sistema, projeto detalhado e integração e teste. O processo é flexível; o número real e o intervalo de loops podem variar.

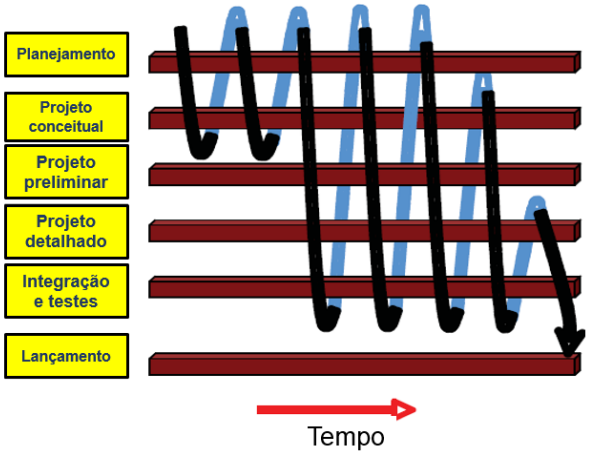


Figura 2 Espiral entre as fases do ciclo de vida de um produto. Adaptado de Unger e Eppinger (2011).

O PMBOK® guide (2017) define um projeto de produto como "um esforço temporário realizado para criar um produto ou serviço exclusivo". Para isso, esse processo deve ser sistematizado e organizado para que todos os assuntos relevantes, que terão impactos ao longo de todo seu ciclo de vida sejam discutidos e trabalhados. A abordagem dessas atividades de forma simultâneas entre as áreas garante o melhoramento do fluxo de informações e atendimento dos requisitos de projeto. Com isso, a integração dos personagens envolvidos ao longo de todo o ciclo de vida durante a fase de desenvolvimento gera o conceito de desenvolvimento integrado de produtos (DIP).

Este artigo argumenta que existe uma forte vantagem competitiva na integração das atividades de projeto e desenvolvimento, não só entre os agentes multidisciplinares que trabalham juntos ao longo das fases e etapas, mas também na integração entre as próprias fases. Essa sistematização transforma o DIP em um processo lógico, onde o fluxo contínuo de informações orientaria a gestão das atividades e a facilitaria tomada de decisões. Chamamos isso, então, de processo de desenvolvimento integrado de produtos (PDIP), dentro do qual três fases com atividades muito bem definidas e focos distintos são listadas. A primeira onde se discute, avalia e define as funções a serem entregues ao consumidor final, a segunda onde se discute e define as soluções que atendam todos os requisitos de projeto e a terceira, onde se elaboram as especificações, simulações e testes.

Logo, em um horizonte de planejamento estendido, com etapas bem definidas dentro de cada fase, permite-se mais simultaneidade nas atividades, tornando as decisões colegiadas. Porém, deve-se observar que o conceito de check points, usados por muitas empresas para a passagem de cada etapa torna o processo de tomada de decisões extremamente linear, o que pode resultar em perdas de oportunidade de melhoria por falta de retroalimentação das informações.

Nesse contexto é importante definir que as fronteiras dessas atividades de desenvolvimento devem ser um caminho de mão dupla, com fluxo de informações e decisões nos dois sentidos do PDIP, elaborando quadros mentais que devem ser ativados ciclicamente (Harvey e Aubry, 2018).

Assim, mais do que um nome para cada estágio, fase e etapa, esse artigo objetiva discutir o conteúdo dessas informações e refletir sobre o fluxo dessas informações dentro do PDIP. Mais especificamente nos momentos onde são discutidos os temas relativos ao valor agregado das funções durante a concepção e quando são definidas as soluções que geram custos específicos para a industrialização das mesmas.

Esse estudo tem seu foco apontado para a fronteira entre as fases de projeto conceitual e projeto preliminar. Dentro dessas fases, as etapas que formam os elos desse estudo são as de análise de valor agregado das funções (intrínseca à fase conceitual) e a de análise de custo (intrínseca à fase preliminar). A Figura 3 representa o volume de controle dentro do qual está contido o método proposto nesse artigo. Onde são propostas iterações entre as fases de projeto conceitual e preliminar, com vistas para o equilíbrio entre valor e custo de forma integrada e em um ambiente de engenharia simultânea.

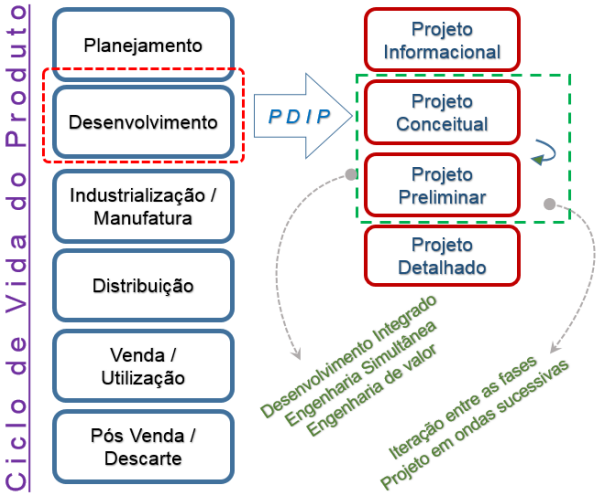


Figura 3 Definição da localização da pesquisa no ciclo de vida de um produto.

Para resumir, no processo de desenvolvimento integrado de produtos (PDIP), o ponto de partida é sempre uma análise de requisitos. Essa análise é então usada em um projeto conceitual, ou seja, para desenvolver um conceito que atenda aos requisitos através de funções. O conceito selecionado é, a partir de então, projetado de forma a elaborar mapas de possíveis soluções ao longo do projeto preliminar. Selecionada a melhor combinação e soluções, o projeto é detalhado.
Como o método proposto nesse artigo está localizado na fronteira das fases de projeto conceitual e projeto preliminar e usa as etapas de engenharia de valor (EV) e análise de custos como elo, esses elementos serão conceituados a seguir.

4.1 Projeto Conceitual

O primeiro passo no início de um novo desenvolvimento é buscar a conceituação do produto que, por fundamento, é a representação de um objeto pelo pensamento, segundo Marshall e Leaney (2002), por meio de suas características gerais. Logo, conceito é uma abstração que depende de estímulos para serem extraídos do âmago das ligações cerebrais humanas.

Porém definindo-se métodos e etapas formais nessa fase inicial, garante-se uma produção intelectual e prática que independe unicamente da inspiração individual de cada membro da equipe de projeto. E, na verdade, estimula o uso de todo inventário de conhecimentos dos elementos envolvidos no novo desenvolvimento. Ma et al. (2017) argumentam que durante o processo de design conceitual, o conhecimento derivado de diferentes domínios é necessário para obter um projeto realmente criativo e inovador.

Então, com o foco em desenvolvimento integrado de produtos, pode-se dizer que "conceitos" são cada um dos benefícios que poderão ser adquiridos pelo consumidor, isto é, a intenção global do produto ou serviço visto da perspectiva do consumidor. Nesta fase, segundo Sousa-Zomer e Miguel (2017), é necessário considerar "o que deve ser oferecido ao cliente" e "como realizar esta oferta".

Esse é o momento do desenvolvimento que envolve objetividade e racionalidade, mas também subjetividade e abstração na geração das funções a serem agregadas no produto. A subjetividade é necessária para instigar o processo criativo que permite a busca de conceitos e funções inovadoras fora das convencionais. No outro sentido, a sistematização do processo se torna fundamental para ponderar o grande volume de informações geradas. O bom ou mau resultado dessa fase está diretamente relacionado com o alcance desse equilíbrio entre razão e abstração, e será decisivo para aumentar as chances de sucesso do novo produto, pois cada decisão tomada nesse ponto do desenvolvimento resulta em um produto final bastante alterado.

No final dessa fase conceitual as respostas para as seguintes perguntas devem ser alcançadas: O que o produto faz? Quanto vale cada uma das ações que ele faz? Quanto custa cada ação que ele faz? Essa é uma fase que, a rigor, teria uma abordagem bastante qualitativa e subjetiva sem o uso das ferramentas de desenvolvimento de produtos, mas, com suas aplicações, se consegue uma tratativa muito mais pragmática, estimulando, no momento correto, a liberdade de criação. Olhando para essas abordagens, a maioria delas é dedicada na fase de conceito do processo de desenvolvimento de produto. Pode ser visto que a modularidade do produto surge dos estágios iniciais do projeto (Kong et al., 2009).

O início da fase de projeto conceitual é o momento em que se definem as funções do novo desenvolvimento, o que o produto vai fazer, as suas ações quando em uso. E, como por definição, funções são os objetivos de um produto ou sistema operando de sua maneira prescrita, elas podem ser definidas como qualquer coisa que faz o item funcionar, isto é, é aquilo que deve ser desempenhado pelo novo bem de consumo. São as características do produto que servem a um propósito e atende a uma necessidade e que fazem o produto funcionar e vender. No entanto, sem a aplicação dos conceitos e métodos de projeto, vários problemas de desorganização da fase criativa vêm à tona devido à falta de um método de mensurar o valor a ser percebido pelo cliente para cada função.

Como o pilar principal dessa fase são as "funções", torna-se importante conceituá-las. Pode-se definir "função" como uma ação executada por um objeto material para alterar um atributo de outro objeto material ou para manter o atributo de outro objeto material (Ko et al., 2011). Assim, uma função é uma ação a ser realizada pelo produto e deve ser tratada sempre como um verbo. Com isso, o objetivo da análise funcional é identificar e avaliar claramente as vantagens e desvantagens funcionais do sistema ou produto de engenharia. Logo, o projeto conceitual se estende até o ponto onde todas as funções que estarão presentes no novo produto estejam definidas. E, ainda, quando o valor agregado de cada uma, no ponto de vista do consumidor final, esteja calculado.

4.1.1 Engenharia de Valor (EV)

De acordo com Park et al. (2017), a geração de ideias durante o estudo de valor pode se tornar ineficiente usando apenas técnicas convencionais de criação livre, como o *Brainstorming* e muito tempo pode ser consumido desnecessariamente para entender visualmente as funções essenciais das áreas de estudo. Para resolver esses problemas, vários estudos consideraram o desenvolvimento do sistema de gerenciamento de banco de dados para recuperar e reutilizar os dados passados de EV entre projetos, além de fornecer um sistema de apoio à decisão durante a análise de valor.

Muitas vezes tratada como gestão de custo ou como uma atividade paralela ao projeto, ela sofre e exerce influência em quase todas as áreas do PDIP, uma vez que seu princípio se baseia na inter-relação entre importância percebida, custos, prazos e escopo.

A razão fundamental para a abordagem da análise de valor (AV) é simplificar produtos e processos, objetivando obter um desempenho equivalente ou otimizado do produto, porém, com custos menores. A avaliação deverá calcular o "valor" e o "benefício" de uma solução em relação a um objetivo estabelecido (Pahl et al., 2007). A busca do equilíbrio entre o Valor – importância dada pelo cliente a determinada função do produto – e o Custo – valor monetário necessário para que aquela função seja implementada no produto – é a chave para elaboração de um estudo de Engenharia de Valor. Estudos nesta área ilustram que um projeto bem planejado, implementado e apoiado resultará em um resultado bem-sucedido (Aquino e Leifer, 2014).

A base da aplicação da técnica AV envolve três etapas distintas: o estabelecimento das funções, a avaliação da função por comparação e o desenvolvimento de alternativas de soluções que busquem custos equivalentes ao valor. Essa afirmativa coloca a Engenharia de Valor como a ponte entre as fases de projeto conceitual e projeto Preliminar. Pois, o primeiro, tem o foco nas funções, enquanto o segundo tem o foco nas soluções. A análise valor (AV) é uma abordagem quantitativa e interdisciplinar que se concentra na melhoria da eficácia e eficiência das funções de um produto, processo ou organização. Partindo desse ponto, de forma simplificada, o valor de um produto pode definido como a razão de sua função pelo custo (valor = função / custo) e pode ser aumentada melhorando a percepção das funções para melhor entrega objetivos do produto ou reduzindo seus custos (Michalakoudis et al., 2017).

Entretanto, este balanceamento entre valor e custo é complexo, uma vez que o valor de mercado de um produto e de cada uma de suas funções pode ser interpretado diferentemente por cada consumidor. Esse equilíbrio de valor de um produto ou função do produto não se resume, exclusivamente, a redução de custo de suas soluções. Em alguns casos, o valor de um produto pode inclusive ser expandido através do incremento de funções e o consequente aumento de custo de tal função especificamente. Uma vez que somente a redução de custo dos componentes não garante efetivamente o aumento do valor de mercado de um produto.

4.2 Projeto Preliminar

O projeto preliminar do produto trabalha de maneira quantitativa, sobre a melhor concepção desenvolvida, com o objetivo de configurar os itens que caracterizam o produto em sua geometria e formas. Nessa etapa do desenvolvimento integrado de produtos que se faz a transição dos entes subjetivos do projeto conceitual para um estado racional onde os conhecimentos acadêmicos e formação profissional serão fundamentais para o sucesso. Nesta etapa do projeto é preciso

usar toda criatividade possível, porém de maneira racional e ponderada no processo de tomada de decisão.

O foco principal nessa etapa é a busca de soluções. Essa busca poder ser que maneira intuitiva ou tácita, como também de forma sistemáticas, onde cada função é desdobrada em decisões e, para cada decisão, são listadas inúmeras soluções. Esse método permite estimular o processo criativo na busca de soluções alternativas que, além de organizar um mapa de soluções de forma mais visual possível, facilita a montagem de combinações de soluções tecnicamente possíveis, o que auxilia o processo de tomada de decisões.

A análise das soluções estuda todas as combinações possíveis entre os elementos de um componente ou produto. Ma et al. (2017) ressalta que as regras básicas para a análise da combinação das soluções são: o problema a ser solucionado deve ser descrito com grande precisão; devem-se identificar as variáveis que caracterizam o problema e isso depende dos conhecimentos e habilidades do analista; cada variável deve ser subdividida em classes, tipos ou estágios distintos – se a variável for contínua, deve-se dividi-la em determinadas faixas ou regimes; as soluções possíveis são procuradas nas combinações entre as classes.

No final dessa etapa preliminar deve-se ter a resposta para as seguintes perguntas: Quais as soluções para cada decisão? Qual combinação de soluções tem o melhor equilíbrio entre valor e custo das funções? Qual a configuração final do produto?

A geração de soluções alternativas para as mesmas funções é um elemento central no projeto de engenharia. A busca por soluções através do uso da matriz morfológica explora isso e incentiva o projetista a identificar novas combinações de princípios de soluções existentes (Ölvander et al., 2009). Assim como discutido por Ma et al. (2017) que defende o uso da matriz morfológica além da fase conceitual para organizar o processo de geração de soluções e combinações de propostas, a abordagem apresentada neste trabalho é racionalizar esses passos no projeto preliminar, usando a matriz morfológica com base organização das soluções propostas, porém orientando a tomada de decisões nas necessidades elementares da manufatura e do processo de montagem, sedo o DFA a filosofia do projeto preliminar que servirá como elo para consolidação do método proposto.

5. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E FRONTEIRAS DO ESTUDO

Um produto pode ser comparado com um ser vivo. Ele é concebido, se desenvolve, realiza várias ações, atinge resultados e um dia morre. Esse é o ciclo de vida de um produto, dentro do qual está o estágio que é o foco desse estudo – o desenvolvimento.

No estágio de desenvolvimento do produto (PD) são estudados e definidos os requisitos do projeto, as funções que ele executará, as soluções para que ele funcione e as especificações técnicas para fabricação e controle. Para sistematizar tudo isso foram criados ferramentas e métodos de organização e auxilio a tomada de decisões, isso é, definiu-se um processo de desenvolvimento de produtos (PDP).

Esse conceito de se criar um novo produto através de um PDP trouxe um grande ganho de termos de inovação e qualidade percebida no produto final. Porém, pela necessidade de se lançar produtos cada vez mais rapidamente e com pouca margem para retrabalho, notou-se que o quanto antes envolver todos os elementos que interagem com o projeto ao longo de todo seu ciclo de vida, mais rápido e com menos retrabalho esse produto é lançado. Isso se dá, principalmente, por possibilitar o desenvolvimento de atividades paralelamente e pelo envolvimento de todos os membros que formam essa equipe multidisciplinar em todos os passos desse processo. Essa maneira integrada de se projetar transformou o PDP em um processo de desenvolvimento integra do de produtos (PDIP).

Os nomes dos estágios do ciclo de vida, das fases do PDIP e do passo-a-passo desse processo podem variar de empresa para empresa e são chamados e subdivididos de formas diferentes por vários autores. Porém, de modo geral, os estágios do ciclo de vida têm uma fronteira bem clara – o desenvolvimento – dentro do qual são definidos marcos e pontos para verificação e tomada de decisão.

Os processos de desenvolvimentos integrados de produtos (PDIP) usados nas empresas contemporâneas requerem colaborações simultâneas de múltiplos personagens, representantes de cada área envolvida ao longo ciclo de vida do novo produto a ser desenvolvido. Para isso, esse processo é dividido em fases e passos que, como falado, podem variar conforme a necessidade e característica da empresa. Contudo, algumas atividades são recorrentes: 1° definição das funções; 2° definição das soluções e 3° definição das especificações.

Nesse contexto, durante um desenvolvimento real de produtos, o processo de tomada de decisões reflete diretamente no sucesso ou fracasso do produto no mercado. Afinal, não basta apenas juntar um grande grupo multidisciplinar de trabalho, todos os personagens desse grupo devem estar alinhados com os conceitos do PDIP, guiados por ferramentas fundamentais de desenvolvimento e chancelados por marcos de verificação no final de cada fase e etapa.

Assim, as empresas de desenvolvimentos de produto e o meio científico buscam, constantemente, definir essas fronteiras de fases e otimizar as ferramentas de projeto usadas em cada etapa do projeto de um novo produto. Porém, mesmo em um ambiente de engenharia simultânea onde as atividades não precisam ocorrer em série, várias oportunidades podem ser perdidas devido aos tratamentos das etapas como atividades fechadas, sem retroalimentação dos dados.

Pensando na questão nevrálgicas desse estudo, que é a busca do equilíbrio entre valor percebido pelo cliente final para cada função do produto versus seus custos reais de industrialização, buscou-se dentre as fases, as que tratam especificamente desses conceitos. E, sendo a fase conceitual de desenvolvimento de um novo produto focada na definição das funções, enquanto que na fase preliminar são definidas as soluções, fica eminente a necessidade de a interação entre elas para busca do equilíbrio valor x custo. Logo "Projeto Conceitual" e "Projeto Preliminar" foram definidos como lastros dessa pesquisa.

Como a intensão final desse estudo é propor um modelo de desenvolvimento que envolva as fases conceituais e preliminares através da interação dos métodos tradicionais de desenvolvimento, entender qual a fronteira do conhecimento com relação a esses métodos se torna fundamental. Logo, o termo "Método" torna-se o terceiro lastro do levantamento sistemático.

6. REVISÃO SISTEMÁTICA

A primeira fase do trabalho consistiu na implementação de um método rigoroso para estruturar a revisão sistemática. Uma revisão sistemática da literatura baseada nos três termos fundamentais identificados para essa pesquisa (Figura 4) foi proposta para identificar os principais estudos e referências na definida na fronteira do estudo, com o objetivo de aprofundar o conhecimento e a compreensão sobre as questões da pesquisa e suas soluções.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica com palavras em inglês isoladas, relacionadas ao contexto do estudo. Foram elas: PDP, IPDP, Function, Solution, Cost, Value, concepção, projeto, preliminar. Essa busca inicial na base

CAPES resultou em mais de quarenta milhões (> 40.000.000) de artigos.

A segunda tentativa foi utilizando os três termos fundamentais isoladamente. As expressões em inglês definidas como chave na definição da fronteira do estudo – "Concept Design", "Preliminary Design", "Method" – resultaram em mais de 450.000 resultados quando pesquisadas isoladamente. Assim, a combinações entre os termos se mostrou indispensável para busca de artigos que tratassem de, ao menos, dois dos lastros simultaneamente. Gerando as ligações duas a duas conforme mostrado na Figura 4.

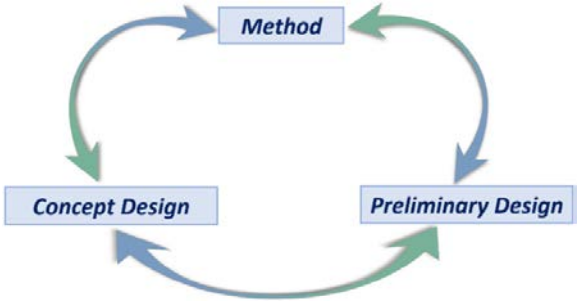


Figura 4 Definição dos termos fundamentais para pesquisa.

A lógica de busca na base CAPES foi escrita como:
[(Concept* Design) OR (Preliminary Design) OR (Method*)]
AND
[(Concept* Design) OR (Preliminary Design) OR (Method*)]

O que gerou inicialmente uma lista de 92.181 livros e artigos das mais diversas áreas e idiomas. Sobre esse resultado foram incluídos os seguintes filtros de parâmetros que foram mantidos até o final da revisão sistemática:
- Só artigos;
- Dos últimos 20 anos;
- Escritos na língua inglesa;
- Revisado por pares;
- Da área das engenharias.

Esses sistemática com esses filtros reduziram os resultados de 92.181 para 2.108 artigos. Um número ainda muito grande e inviável para uma revisão sistemática mais profunda. Porém, em uma leitura apenas dos títulos, verificou-se que muitos artigos não tratavam de desenvolvimento de produtos (PDP) ou de engenharia simultânea que gera um processo de desenvolvimento integrado de produtos (IPDP).

Percebe-se, então, que a quantidade de artigo relacionados a esses temas ainda é muito grande e com uma abrangência de resultados muito maior do que a fronteira definida no problema. Para buscar esse foco propôs-se a definição de um núcleo de temas chaves para impedir resultados fora da fronteira do estudo, conforme definido anteriormente na Figura 4.

Para conceituação desse núcleo, foram definidos termos chaves que estavam presentes na definição da fronteira do volume de controle do estudo, com o objetivo de garantir a contextualização dessa pesquisa. Assim, acrescentou-se como foco central do trabalho os seguintes termos e palavras como chaves: "Product Design", "Product Development", "PDP", "IPDP" e "Concurrent Engineering".
Com isso, ajustou-se a base de definição dos termos fundamentais de acordo com as ligações preconizadas na Figura 5. Esse novo relacionamento entre os lastros iniciais de pesquisa e os temas fundamentais do contexto do estudo, geraram uma lista de artigos compatíveis com a abrangência que se buscava. Para isso, a lógica usada foi escrita como:

[(Product Design) OR (Product Develop*) OR (PDP) OR (IPDP) OR (Concurrent Engineering)]
AND
[(Concept* Design) OR (Preliminary Design) OR (Method*)]

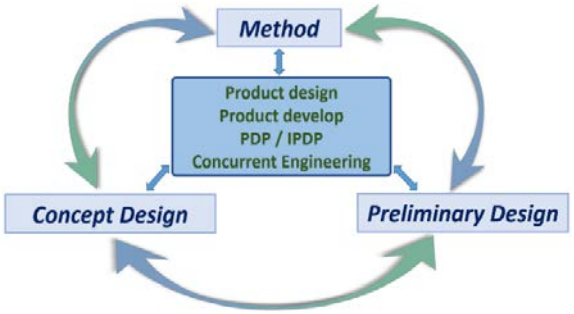


Figura 5 Definição dos termos fundamentais para pesquisa após ajuste

O resultado dessa busca foi a lista de 758 artigos. Os resumos de cada um deles foi lido e o seguinte critério de exclusão foi definido:
1 - Trata de temas não relacionados a engenharia?
2 - Trata de temas não relacionados ao desenvolvimento de produtos?
3 - Trata de desenvolvimentos de softwares e TI?
4 - Trata de modelos puramente matemáticos?

Se todas as respostas forem "NÃO" o artigo seguiria no estudo. Se alguma das respostas fosse "SIM" o artigo seria excluído. O resultado desse critério gerou uma relação de 236 artigos. Nota-se que até este momento nenhuma análise conceitual de conteúdo foi realizada e isso será abordado no próximo item.

7. ANÁLISE DE CONTEÚDO

Com os 236 artigos selecionados na etapa anterior, agora é necessário fazer uma análise crítica de conteúdo destes artigos para determinar a borda do conhecimento do tema estudado.

A Figura 6 ilustra a distribuição destas publicações nos últimos 20 anos. Com isso, é possível observar que o tema teve um crescimento de 1998 até 2007 e se manteve relevante até o momento. Isso mostra que a complexidade dos produtos vem aumento com o passar do tempo e exigem que o processo de desenvolvimento de produtos seja cada vez mais integrado, necessitando de abordagens e ferramentas no suporte de suas atividades.

Com a observação do diagramada da Figura 6, nota-se que o tema teve grande crescimento entre os anos de 1998 e 2007 e que manteve a relevância nos últimos 10 anos. Assim, justificou-se a continuidade da pesquisa e a busca pela borda do conhecimento através do refinamento da análise sistemática.



Figura 6 Quantidade de artigos por ano de publicação.

A partir deste ponto, buscou-se avaliar a relevância e nível de impacto dos artigos selecionados levando-se consideração a quantidade de artigos por periódicos e a respectiva pontuação para o JCR (Journal Citation Ranking) e SJR (Simago Journal Ranking).

Assim, foram destacados dez journals mais relevantes sobre os quais serão alicerçadas as buscas pelo estado da arte. São eles:

- Advanced Engineering Informatics;
- Applied Ergonomics;
- Design Studies;
- Expert Systems with Applications;
- International Journal of Advanced Manufacturing Technology;
- Journal of Engineering Design;
- Journal of Industrial Ecology;
- Journal of Intelligent Manufacturing;
- Journal of Product Innovation Management;
- Research in Engineering Design.

Ainda buscando critérios que ponderem a importância dos artigos selecionados, pesquisou-se a quantidade de citações que cada artigo teve. Foram considerados relevantes para o estudo os artigos que foram citados ao menos uma vez por ano, desde sua publicação. Assim, dos 104 artigos, apenas 66 foram considerados relevantes dentro dessa fronteira de estudo.

Após leitura dos resumos de todos os 236 resumos e após a aplicação dos filtros de relevância citados, estratificou-se 66 artigos, para os quais foram realizadas as suas leituras completas e análise detalhada de seus conteúdos para definição da fronteira do conhecimento.

Os 66 artigos foram lidos detalhadamente e analisados profundamente. Deles, 21 foram entendidos como chave para o tema a ser estudado. Estes são o estado da arte no que se refere a estudos de interface entre as fases de projeto conceitual e projeto preliminar. Está nesse ponto a fronteira de conhecimento a ser ultrapassada com a proposta de pesquisa a ser desenvolvida (Figura 7).

A Figura 7 mostra todas as etapas dessa revisão e a delimitação dos artigos fundamentais para o estudo. Dos 21 artigos considerados de referência básica para a pesquisa, destacam-se Stone et al. (2000), Vasantha et al. (2012) e Gershenson (2004), com 477, 201 e 258 citações, respectivamente entre os artigos listados.



Figura 7 Artigos listados desde as pesquisas iniciais até a aplicação de todos critérios de exclusão e leitura

Os artigos que foram analisados como o estado da arte no que se refere aos temas da fronteira de estudo proposta, conforme Tabela 2.

Analisando os grupos de autores envolvidos nos 21 artigos, podemos observar, na Figura 8, como os autores, líderes de grupos, estão distribuídos no planeta Terra. Sendo essa a fronteira atual do conhecimento nessa área de desenvolvimento.



Figura 8 Distribuição dos autores chaves ao redor do mundo.

Na Figura 9 pode-se observar com detalhes as contribuições e áreas de trabalho e pesquisa que cada um dos autores-chaves listado tem atuado e em que temas suas contribuições poderiam ser mais relevantes. Nessa tabela os autores foram ordenados de acordo com o número de citações que tiveram apenas dos artigos selecionados. Por exemplo, Stone (2000, 2004 e 2008) teve três artigos entre os 21 selecionados nesse estudo. E esses seus três artigos tiveram 477 citações até o momento da pesquisa.

Partindo de um universo inicial de milhões de artigos e centenas de milhões de autores, chegou-se na fronteira do conhecimento representada pelos 21 artigos listados e pelos 20 autores chaves apresentados.

Com essa definição do atual “Estado da Arte” e com a revisão da literatura, verificou-se que existe uma oportunidade de contribuição científica inédita que possibilitará o avanço dessa fronteira do conhecimento.

As pricipais contribuições que os artigos selecionados apresentaram foram os profundos conceitos e ambientes de desenvolvimento de produtos em uma tratativa em ondas sucessivas, onde os projetos são tratados de forma ativa e com a consciencia que sofrem alterações ao longo de sua execussão, logo demandam iterassões entre as fases. Ainda, observou-se métodos, ferramentas e modelos para análise de valor agregado e análise de custos, porém, separadamente. Além disso, apresentaram casos que destacam a importância da engenharia simultânea para aumentar a probabilidade de sucesso em novos desenvolvimentos.

Todavia, os artigos não apresentaram análises quantitativas mais profundas ou relacionamentos diretos entre valor de funções e custos de soluções. Com isso, nota-se a possibilidade de dar-se um passo a frente e propor abordagens de desenvolvimento integrado de produtos orientado à busca de equiilíbrio entre valor percebido para cada função de um novo produto e seu respctivo custos de produção.

Por fim, ficou evidente que este campo de pesquisa tem promissoras oportunidades de exploração no campo das avaliações das funções e a consequente otimização das soluções para suportar o PDIP, a fim de reduzir o tempo de desenvolvimento e os custos, bem como para melhorar a qualidade de bens de consumo a serem produzidos em larga escala. Portanto, os autores acreditam que os principais tópicos científicos a serem explorados neste campo de pesquisa são: (i) ferramentas, métodos ou modelos para

ponderação de valor de funções em novos produtos; (ii) ferramentas, métodos ou modelos para medição de custo de funções em novos produtos; (iii) ferramentas, métodos ou modelos para comparação e otimização do equilíbrio do valor percebido das funções versus o custo de implementação das soluções rateadas entre essas funções.

Como sugestão de trabalhos futuros, nota-se que é viável fundamentar uma proposta de um modelo conceitual para desenvolvimento integrado de produtos, baseado na engenharia de valor em um ambiente de engenharia simultânea, que terá como objetivo o cruzamento dos dados de valor percebido pelos clientes para cada função do produto, com o custo para industrialização de cada uma dessas funções, buscando o equilíbrio entre valor e o custo como uso cíclico de ferramentas clássicas presentes nas fases de projeto conceitual e de projeto preliminar e que são trabalhadas isoladamente pelos autores destacados.

Tabela 2 Lista dos 21 artigos considerados referências básicas para a pesquisa

Autor	Ano	Título do artigo / Revista
Ayağ, Z., & Özdemr, R. G	2007	An analytic network process-based approach to concept evaluation in a new product development environment. / Journal of Engineering Design.
Engelbrektsson, P., & Söderman, M.	2004	The use and perception of methods and product representations in product development: A survey of Swedish industry. / Journal of Engineering Design.
Fernandes, J., Henriques, E., Silva, A., & Moss, M. A.	2014	A method for imprecision management in complex product development. / Research in Engineering Design.
Gershenson, J. K., Prasad, G. J., & Zhang, Y.	2004	Product modularity: measures and design methods. / Journal of Engineering Design.
Kwong, C. K., Wong, T. C., & Chan, K. Y.	2009	A methodology of generating customer satisfaction models for new product development using a neuro-fuzzy approach. / Expert Systems with Applications.
Ma, J., & Kim, H. M.	2016	Product family architecture design with predictive, data-driven product family design method. / Research in Engineering Design.
Mauchand, M., Siadat, A., Bernard, A., & Perry, N.	2008	Proposal for tool-based method of product cost estimation during conceptual design. / Journal of Engineering Design.
Newnes, L. B., Mileham, A. R., Cheung, W. M., Marsh, R., Lanham, J. D. &, Saravi, M. E.	2008	Predicting the whole-life cost of a product at the conceptual design stage. / Journal of Engineering Design.
Park, J., Shin, D., Insun, P., & Hyemi, H.	2008	A product platform concept development method. / Journal of Engineering Design.
Reich, Y., Ullmann, G., Van der Loos, M., & Leifer, L.	2009	Coaching product development teams: a conceptual foundation for empirical studies. / Research in Engineering Design.
Seo, K.-K., Park, J.-H., Jang, D.-S., & Wallace, D.	2002	Approximate Estimation of the Product Life Cycle Cost Using Artificial Neural Networks in Conceptual Design. / Advanced Manufacturing Technology.
Srinivasan, R., Lilien, G. L., Rangaswamy, A., Pingitore, G. M., & Seldin, D.	2012	The Total Product Design Concept and an Application to the Auto Market. / Journal of Product Innovation Management.
Stone, R. B., Kurtadikar, R., Villanueva, N., & Arnold, C. B.	2008	A customer needs motivated conceptual design methodology for product portfolio planning. / Journal of Engineering Design.
Stone, R. B., McAdams, D. A., & Kayyalethekkel, V. J.	2004	A product architecture-based conceptual DFA technique. / Design Studies.
Stone, R. B., Wood, K. L., & Crawford, R. H.	2000	A heuristic method for identifying modules for product architectures. / Design Studies.
Trappey, A. J. C., & Chiang, T.-A.	2008	A DEA benchmarking methodology for project planning and management of new product development under decentralized profit-center business model. / Advanced Engineering Informatics.
Tseng, K. C., & El-Ganzoury, W.	2012	An intelligent system based on concurrent engineering for innovative product design at the conceptual design stage. / Advanced Manufacturing Technology.
Unger, D., & Eppinger, S.	2011	Improving product development process design: a method for managing information flows, risks, and iterations. / Journal of Engineering Design.
Vasantha, G. V. A., Roy, R., Lelah, A., & Brissaud, D.	2012	A review of product–service systems design methodologies. / Journal of Engineering Design.
Zheng, C., Bricogne, M., Le Duigou, J., & Eynard, B.	2014	Survey on mechatronic engineering: A focus on design methods and product models. / Advanced Engineering Informatics.
Ziv-Av, A., & Reich, Y.	2005	SOS – subjective objective system for generating optimal product concepts. / Design Studies.

AUTORES		ONDE CENTRALIZAM AS PESQUISAS?	ÁREAS DE EXPERTISE											
			Metodologia de projetos	Arquiteturas de produtos	Modelamento de funções	Síntese conceitual	Engenharia simultânea	DFM / DFA	Análise de valor	Análise de custo	QFD	Sustentabilidade e ciclo de vida de produtos	Marketing	Educação
1	Stone, R. B. (3)	Oregon State University, Industrial and Manufacturing Engineering - Corvallis, United States	✓	✓	✓	✓	✓							
2	Gershenson, J. K.	Michigan Technological University, Houghton - United States	✓	✓				✓				✓		
3	Roy, R.	Cranfield University, Manufacturing and Materials Department - Cranfield, United Kingdom	✓		✓	✓				✓		✓		
4	Wallace, D.	Massachusetts Institute of Technology, Cambridge - United States	✓		✓	✓						✓		✓
5	Kwong, C. K.	Hong Kong Polytechnic University, Department of Industrial and Systems Engineering - Hong Kong, China	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
6	Reich, Y. (2)	Tel Aviv University, Faculty of Engineering - Tel Aviv-Yafo, Israel	✓		✓				✓	✓			✓	
7	Eppinger, S.	Massachusetts Institute of Technology, System Design and Management - Cambridge, United States	✓	✓	✓	✓	✓							✓
8	McAdams, D. A.	Texas A and M University, Department of Mechanical Engineering, College Station - United States	✓		✓	✓							✓	
9	Ayağ, Z.	Kadir Has Universitesi, Department of Industrial Engineering - Istanbul, Turkey	✓		✓	✓	✓							
10	Engelbrektsson, P.	Chalmers University of Technology, Design and Human Factors - Göteborg, Sweden	✓	✓	✓	✓	✓				✓		✓	
11	Mileham, A. R.	University of Bath, Department of Mechanical Engineering, Bath - United Kingdom	✓					✓	✓	✓				
12	Eynard, B.	Universite de Technologie de Compiegne, Department of Mechanical Systems Engineering - Compiegne, France	✓			✓	✓				✓	✓		
13	Leifer, L.	Stanford University - Palo Alto, United States	✓		✓	✓	✓						✓	
14	Bernard, A.	Laboratoire des Sciences du Numerique de Nantes, Product Design and Industrial Systems - Nantes, France	✓	✓	✓	✓	✓							
15	Lilien, G. L.	Pennsylvania State University, Smeal College of Business, State College - United States	✓			✓	✓						✓	
16	Trappey, A. J. C.	National Tsing Hua University, Industrial and Systems Engineering - Hsin-chu, Taiwan	✓			✓	✓						✓	
17	Rangaswamy, A.	Pennsylvania State University, State College - United States	✓			✓	✓						✓	
18	Chu, X.	Shanghai Jiao Tong University, School of Mechanical Engineering - Shanghai, China	✓		✓	✓	✓				✓			
19	Henriques, E.	Instituto Superior Tecnico, Institute for Mechanical Engineering - Lisbon, Portugal	✓	✓	✓	✓	✓					✓		
20	Kim, H. M.	University of Illinois at Urbana-Champaign, Industrial and Enterprise Systems Engineering - Urbana, United States	✓	✓	✓	✓	✓					✓		

Figura 9 Lista dos 20 autores chaves selecionados na revisão sistemática.

8. PROPOSTA DE MODELO ORIENTADO AO EQUILÍBRIO ENTRE VALOR E CUSTO - DFB

A geração de soluções alternativas para as mesmas funções é um elemento central no projeto de produto. A busca por soluções utilizando matrizes morfológicas explora e incentiva o grupo multidisciplinar de desenvolvimento a identificar novas combinações de princípios para soluções existentes. Ma et al. (2017) defendem a utilização da matriz morfológica após a fase conceitual para organizar as combinações de geração e proposição de soluções visando a racionalização dessas etapas no anteprojeto, utilizando a matriz morfológica com base na organização das soluções propostas. Nesse sentido, e apoiados num ideal progressivo, iterativo e integrado defendidos pelos principais autores da revisão sistemática da literatura, o tradicional conceito do DFA pode ser considerado como uma filosofia do projeto preliminar que servirá de elo para a consolidação do método proposto. Essa filosofia pode orientar as equipes de projeto de um novo produto com um número ideal de peças e soluções que possam reduzir as operações de montagem, buscando um equilíbrio entre os custos individuais das soluções e o valor percebido de cada função do novo bem de consumo a ser desenvolvido

A análise bibliográfica mostrou que as ferramentas cíclicas entre as fases de definição de funções e as fases de definição das soluções ainda se encontram em um estágio intermediário de desenvolvimento, tornando a proposta abordada nesta pesquisa de significativa importância nos estágios iniciais de criação de um novo produto. Assim, Setti et al. (2021) propuseram um método de desenvolvimento integrado de produto com base na EV e no DFA, denominado DFB, do acrônimo em inglês *"Design for Balance"*. Em um a tradução direta "Projeto para o equilíbrio". Esse método sugere a realização de iterações entre a fase de desenvolvimento que estuda o valor das funções (tradicionalmente chamada de projeto conceitual) e a fase de projeto que estuda as soluções para cada função (tradicionalmente chamada de projeto preliminar). Em um projeto ideal, a soma das diferenças em valores e custos de todas as funções, em módulo, deve ser zero. A equação (1) ilustra este objetivo, onde "V" é o valor percentual de cada função e "C" o custo percentual de cada função. Por ser utópico, o objetivo do método é trazer o resultado dessa equação o mais próximo possível de zero. Afinal, quando o somatório dos módulos das diferenças fosse igual a zero, alcançar-se-ia o equilíbrio perfeitos entre valor e custo de todas as funções do conjunto estudado.

$$\sum_{i=1}^{n} |V_i - C_i| \rightarrow 0 \qquad (1)$$

O conceito da proposta é composto por cinco etapas:

Etapa 1 - Definição das montagens mecânicas - as montagens devem ser escolhidas tendo em vista o maior potencial de redução de custo de matéria-prima, sem redução da qualidade, bem como aquelas que apresentam muitas operações de montagem ou movimentos logísticos durante o processo de industrialização;

Etapa 2 - Definição das estratégias de engenharia de valor - a análise da utilização das ferramentas de EV terá o objetivo de identificar as recomendações para o aprimoramento de soluções que visam equilibrar as funções listadas no gráfico valor x custo. Os dados de "valor", que são os níveis percentuais de importância percebidos pelo público consumidor, virão do diagrama de Mudge. Por outro lado, os dados sobre os "custos" das mesmas funções virão da matriz de redução de custos;

Etapa 3 - Definição das estratégias do DFA - para a aplicação prática dos conceitos do DFA, inicialmente será formada uma equipe multidisciplinar com representantes da engenharia de produto, desenho industrial, logística e manufatura, que poderão trabalhar juntos em todas as tomadas de decisão. Este requisito deve ser atendido por meio de reuniões presenciais. Os métodos DFA visam aprimorar o projeto, buscando menores tempos e custos; assim, esta atividade utilizará métodos que permitem minimizar o número de componentes envolvidos em cada montagem e verificar a real necessidade de cada um. Utilizando para isso o método clássico de Boothroyd-Dewhurst, no qual três questões simples são propostas verificando a real necessidade de um componente: i) A peça, componente ou peça em análise possui movimentos relacionados ao seu entorno?; ii) A peça, componente ou peça em análise requer um material diferente para sua função / funcionalidade?; e iii) A peça, componente ou peça em análise necessita ser desmontada / retirada para reparo de outro?. Se todas as respostas forem "NÃO", então, pode-se propor a unificação de componentes e materiais para redução do custo de matéria-prima e mão de obra;

Etapa 4 - Definição das Ferramentas de Interface - para minimizar quaisquer incertezas nos processos de criação e seleção de conceitos e funções, que são em si uma tarefa subjetiva, é necessário mapear as condições de contorno associadas ao problema de projeto. Portanto, devemos buscar as etapas que estão nas fronteiras das fases de projeto conceitual e de projeto preliminar, que serão os diferenciais para o sucesso da aplicação do método. Assim, a interface é dada pela aplicação iterativa do comparativo valor x custo onde, a cada ciclo, é aplicado o conceito de DFA;

Etapa 5 - Definição das recomendações do projeto - o objetivo desta etapa é comparar a condição inicial da montagem mecânica escolhida com o resultado alcançado após o ciclo entre as etapas. Além disso, verifique a configuração mais viável em termos de equilíbrio entre o valor e o custo das funções e o menor custo final, considerando todos os impactos industriais da proposta.

9. CASO DE APLICAÇÃO DO MODELO ORIENTADO AO EQUILÍBRIO ENTRE VALOR E CUSTO – DFB

Em busca de um estudo exploratório para verificar a eficácia do método, este artigo usou como referência a otimização do tempo de montagem e o custo total da solução para dobradiça de um eletrodoméstico a ser produzido em larga escala.

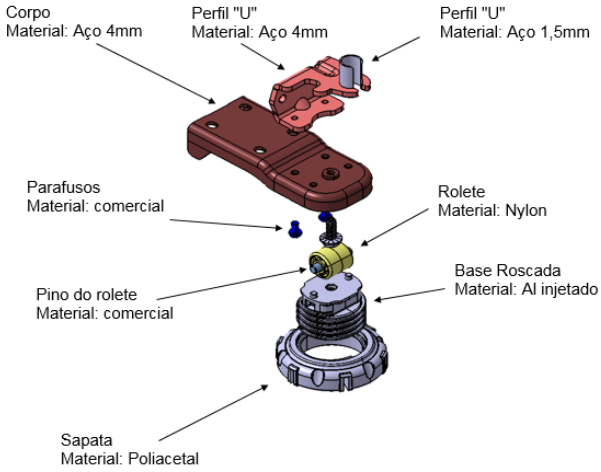


Figura 10 Dobradiça de eletrodoméstico – solução original.

Na Figura 10 estão representadas as peças envolvidas na solução original desse subconjunto, assim como seus respectivos custos de materiais e de transformação.

Para o conjunto de soluções contidos na condição original de produção, foi elaborada uma análise funcional, onde as seguintes funções desse conjunto foram listadas:

Função A – Permitir montagem com produto deitado;
Função B – Posicionar e apoiar a porta;
Função C – Estruturar Gabinete;
Função D – Nivelar o produto;
Função E – Deslizar o produto facilmente;
Função F – Travar o produto na posição de uso;
Função G – Não tombar o produto com a abertura da porta;
Função H – Possibilitar substituição da porta para manutenção.

Após a definição das funções, conforme indicado por Setti e Canciglieri (2019) foi aplicado o método de Mudge para analisar o valor das funções em termos de importância percentual. O que resultou no diagrama contido na Figura 11.

Com as funções definidas, partiu-se para a listagem e cotação das peças, assim como o custo de montagem ou transformação (DL) da versão original, conforme indicado na Tabela 3.

Tabela 3 Lista de peças e cotação da montagem original.

Solução original - Corpo em aço + perfil "U" em aço			
Componentes	Material	Qtd	Custo de Material (R$)
Corpo	Aço (4,0mm)	1	$ 5,15
Perfil "U"	Aço (4,0mm)	1	$ 3,30
Pino "U" cravado	Aço (1,5mm)	1	$ 0,95
Base roscada	Alumín. Injet.	1	$ 4,60
Rolete	Nylon	1	$ 2,55
Sapata	Poli-acetal	1	$ 3,60
Pino do rolete	Comercial	1	$ 0,55
Paraf.de fixação	Comercial	3	$ 0,20
Custo de transformação (DL)			$ 5,55
CUSTO TOTAL			**$ 26,45**

Com a lista de peças formalizada e com as respectivas cotações, foi possível aplicar o método de rateamento de custo para analisar o custo absoluto e percentual de cada função, através da transposição dos custos das peças em custos de

funções. Para isso, utilizou-se do método de rateamento de custos descrito por Setti e Canciglieri Jr. (2014), o que resultou na matriz de rateamento apresentada na Figura 12.

A	B	C	D	E	F	G	H	Total de Pontos	Importância Relativa (%)
A	B3	C5	D3	E3	F1	G3	A1	1	1,3
	B	C5	D3	E1	F1	G1	B3	6	7,9
		C	C5	C5	C5	C5	C5	35	46,1
			D	D1	D3	G1	D3	13	17,1
				E	E1	G1	E1	6	7,9
					F	G3	F1	3	3,9
						G	G3	12	15,8
							H	0	0,0
						TOTAL		76	100

Figura 11 Diagrama da Mudge aplicado ao conjunto da dobradiça.

Com os resultados do Diagrama de Mudge e da Matriz de Rateamento de Custos, pode-se definir o gráfico de comparação Valor x Custo do conceito original do produto, mostrado na Figura 13. Para a montagem desse gráfico, as funções foram listadas no eixo horizontal e as porcentagens, tanto de valor quanto de custos foram apresentadas no eixo vertical. Assim, o valor percentual, derivado do diagrama de Mudge, e o custo percentual, derivado da repartição de custo, podem ser comparados função por função.

Nota-se, então, que com essa combinação de soluções originais, existe uma distância significativa entre valor e custos em algumas funções, como C, D, E, F, G e H. Somando os módulos das diferenças entre valor e custo de todas as funções, chegamos a 59,2. %, conforme mostrado na Figura 13 e na Figura 15.

As informações desse diagrama possibilitaram o desencadeamento de ações de Design, Engenharia e Manufatura voltadas para a otimização e equilíbrio. É importante salientar que como as funções permanecem as mesmas para atender aos requisitos, o gráfico de valores não muda e todas as movimentações de percentagem devem ocorrer a cada novo rateamento de custo gerado pelas novas propostas de soluções.

			FUNÇÕES							
LISTA DE PEÇAS		CUSTOS (R$)	A	B	C	D	E	F	G	H
	Pre-montagem - DL	5,55	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%
1	Corpo de aço conformando (4mm)	5,15	10%	10%	40%	10%			20%	10%
2	Perfil "U" em aço (4mm)	3,30		25%	35%				25%	15%
3	Pino "U" cravado	0,95	20%	60%					10%	10%
4	Base roscada em Zamac	4,60	5%		15%	35%	25%	20%		
5	Rolete em Nylon	2,55			20%	10%	60%	10%		
6	Sapata em Poliacetal	3,60			15%	40%	5%	35%	5%	
7	Pino do rolete	0,55					100%			
8	3 parafusos para fixação	0,20	20%	10%	30%	10%		10%		20%
	TOTAL	26,45	1,67	2,62	5,71	4,53	4,10	3,15	2,82	1,84
	Custo da Função (%)	100%	**6,3%**	**9,9%**	**21,6%**	**17,1%**	**15,5%**	**11,9%**	**10,7%**	**7,0%**

Figura 12 Rateamento de custos da versão original

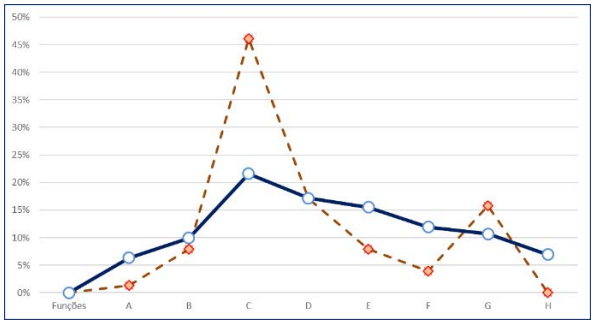


Figura 13 Gráfico Valor x Custo da solução original do conjunto da dobradiça.

Conforme recomendado na apresentação do método, o próximo passo foi a utilização de estratégias de DFA, a fim de buscar essa otimização de soluções (Setti e Canciglieri Jr, 2018). Para tanto, foram propostas as três questões clássicas para cada componente: i) A peça ou subconjunto em análise possui movimentos relacionados ao seu entorno? ; ii) A peça ou subconjunto em análise requer um material diferenciado para atender a sua função?; e iii) A peça ou subconjunto em análise necessita ser desmontada ou retirada para reparo? Como algumas montagens tiveram todas as respostas "NÃO", então, foi possível propor a unificação de componentes e materiais para redução do custo de matéria-prima e mão de obra. Isso resultou na proposta mostrada na Figura 14, onde o conjunto de soluções obteve uma redução de custo de **R$ 4,35**, o que representa menos **16%** em economia, mantendo a qualidade percebida pelo consumidor.

O grande diferencial apresentado pelo método é justamente o ciclo iterativo entre as fases, ditando o ritmo de andamento do projeto em ondas sucessivas. Assim, é estimulado o retorno à fase de projeto conceitual e a reavaliação do equilíbrio entre valor e custo, o que, nesse caso em estudo, resultou no gráfico mostrado na Figura 14.

Comparando os gráficos da solução original (Figura 13) com os da solução após a primeira iteração do método (Figura 14), podemos observar a aproximação dos pontos de valor e custo por função. Observa-se que a soma dos módulos das

diferenças entre valor e custo diminuiu, o que aumenta o equilíbrio entre a percepção de valor e o custo de industrialização.

Com essa primeira iteração, os resultados atingidos já mostraram uma grande melhoria no custo final. Entretanto, o método proposto sugere ao menos duas iterações ou iterações até que a soma do módulo das diferenças entre valor e custo seja menor que 20% ou ainda quando as estratégias de DFA não gerarem mais todas as respostas negativas para as três questões padrão (Setti et al., 2021).

Assim, as três questões foram aplicadas novamente, ao final da qual foi alcançada uma nova proposta de solução nunca apresentada em discussões anteriores. Nesse novo design, observa-se uma nova melhora nos resultados de custo - uma redução de **R$ 7,15**, em relação à proposta original, o que representou uma economia, agora, de 27%, em comparação à solução original.

Porém, mais do que a redução global de custos, observou-se uma grande aproximação entre os pontos dos gráficos de valor e custo, função a função, conforme mostrado na Figura 15. Assim, por meio das comparações do valor x gráficos de custos observados nessa Figura 15, das três propostas avaliadas, ficou claro que a terceira opção - após a segunda iteração da aplicação dos métodos DFA - apresentou um melhor equilíbrio gráfico, além de ter resultado em um menor custo final na combinação das soluções. Esse equilíbrio foi observado devido à maior proximidade dos pontos de cada função na comparação direta.

Ainda na Figura 15, pode-se observar que, como as funções não se alteram, seus gráficos de valores permanecem inalterados independente da solução aplicada. Assim, os gráficos de custo são ajustados pela abordagem dos pontos, função por função, onde a soma das diferenças dos módulos percentuais de valor e custo caíram de **59,2%**, na versão original, para **34,0%** após a primeira iteração e por fim **18,1%** depois da segunda rodada de aplicação das estratégias de DFA, conforme previsto no modelo proposto. Além desse equilíbrio alcançado, outro grande ganho veio no custo total da solução, com queda total de **27%** ao final da aplicação da proposta.

10. CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO DFB PROPOSTO

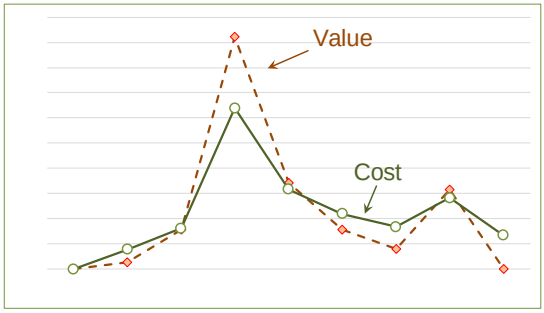
Este artigo avaliou um método de desenvolvimento integrado de produto que integra as fases de projeto conceitual e de projeto preliminar, a fim de buscar o equilíbrio entre o valor percebido pelos clientes internos e externos para cada uma das funções de um conjunto, com os custo das gerados pela combinação de soluções que atendam essas funções um novo bem de consumo ou parte dele.

Nesse sentido, evidenciou-se a relevância de fornecer, ao grupo multidisciplinar de projetos, que trabalha em um ambiente integrado e de forma simultânea, as informações sobre custos durante o processo de definição das soluções, para realimentar as informações do projeto conceitual, buscando o equilíbrio valor e custo. Afinal, o sucesso ou fracasso do produto em campo é determinado, em grande parte, pelas decisões iniciais de desenvolvimento. Assim, os designers, engenheiros, representadas das áreas de marketing, comercial, entre outras, devem conhecer os custos incorridos nas fases subsequentes às suas decisões, e contribuir nessa busca de soluções equilibradas, de forma a atender suas demandas.

O modelo avaliado permitiu que as alternativas geradas para as soluções dos problemas pudessem ser avaliadas, estimulando a busca por alternativas de design, direcionadas ao desenvolvimento equilibrado entre valor e custo, levando em consideração simultaneamente os requisitos das mais diversas áreas envolvidas ao longo do ciclo de vida do produto, entre elas Marketing, Design, Engenharia de Produto, Manufatura, Logística, Qualidade , Vendas e Assistência Técnica. Garantindo o máximo atendimento às suas necessidades e comprometendo todos o grupo com o produto em desenvolvimento durante todo seu ciclo de vida

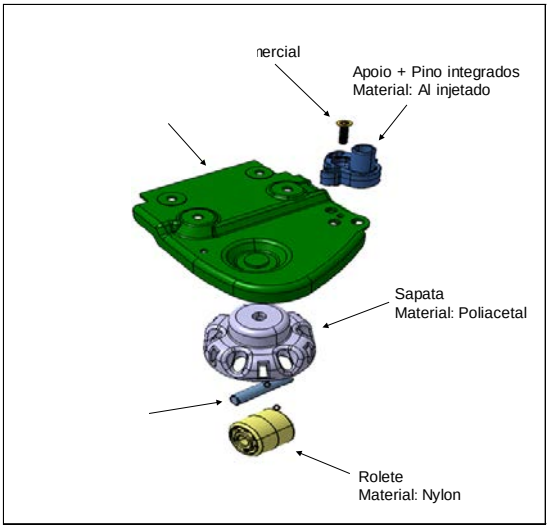
Solução após 1° iteração: Corpo + pino cravado

Functions	Value (%)	Cost (%)	Difference
A	1,3%	3,9%	2,6%
B	7,9%	8,1%	0,2%
C	46,1%	32,0%	14,1%
D	17,1%	15,8%	1,3%
E	7,9%	11,0%	3,1%
F	3,9%	8,4%	4,4%
G	15,8%	14,2%	1,6%
H	0,0%	6,7%	6,7%
$\sum_{i=1}^{n} \lvert V_i - C_i \rvert$			**34,0%**



Material + Mão de obra (R$)	**22,10**

Solução após 1° iteração: Corpo + pino cravado

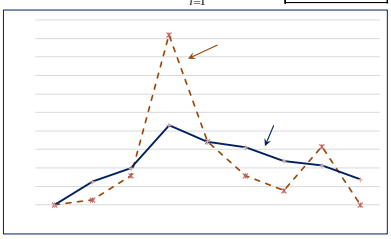


Material + Mão de obra (R$)	**22,10**

Figura 14 Solução e custeio após a primeira iteração. Gráfico Valor x Custo da solução após a primeira iteração.

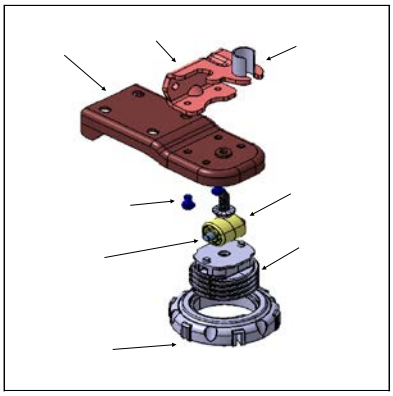
Solução original - Corpo em aço + perfil "U"

Functions	Value (%)	Cost (%)	Difference
A	1,3%	6,3%	5,0%
B	7,9%	9,9%	2,0%
C	46,1%	21,6%	24,5%
D	17,1%	17,1%	0,0%
E	7,9%	15,5%	7,6%
F	3,9%	11,9%	8,0%
G	15,8%	10,7%	5,1%
H	0,0%	7,0%	7,0%
$\sum_{i=1}^{n} \lvert V_i - C_i \rvert$			59,2%



Material + Mão de obra (R$)	26,45

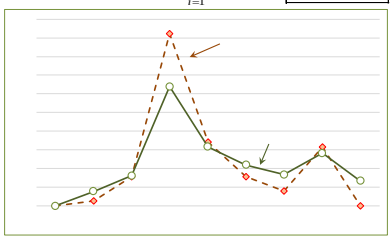
Solução original - Corpo em aço + perfil "U"



Material + Mão de obra (R$)	26,45

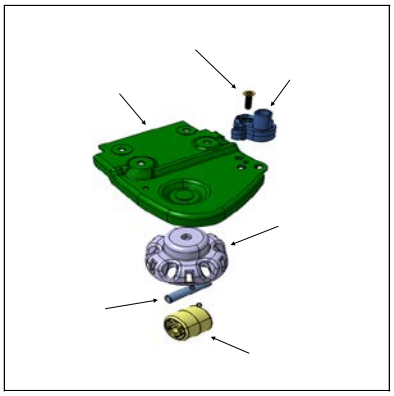
Solução após 1° iteração - Corpo + pino cravado

Functions	Value (%)	Cost (%)	Difference
A	1,3%	3,9%	2,6%
B	7,9%	8,1%	0,2%
C	46,1%	32,0%	14,1%
D	17,1%	15,8%	1,3%
E	7,9%	11,0%	3,1%
F	3,9%	8,4%	4,4%
G	15,8%	14,2%	1,6%
H	0,0%	6,7%	6,7%
$\sum_{i=1}^{n} \lvert V_i - C_i \rvert$			34,0%



Material + Mão de obra (R$)	22,10

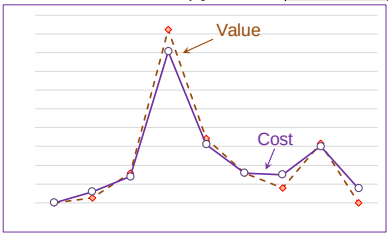
Solução após 1° iteração - Corpo + pino cravado



Material + Mão de obra (R$)	22,10

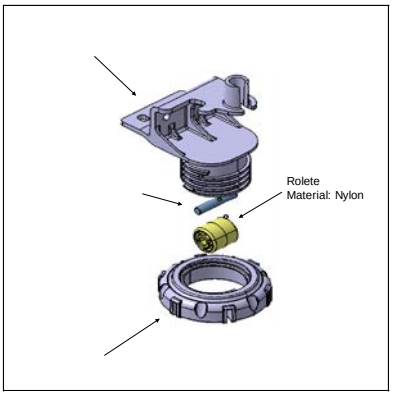
Solução após 2° iteração - Corpo integrado em A

Functions	Value (%)	Cost (%)	Difference
A	1,3%	2,9%	1,6%
B	7,9%	7,0%	0,9%
C	46,1%	40,3%	5,8%
D	17,1%	15,5%	1,6%
E	7,9%	8,0%	0,1%
F	3,9%	7,5%	3,5%
G	15,8%	15,0%	0,8%
H	0,0%	3,8%	3,8%
$\sum_{i=1}^{n} \lvert V_i - C_i \rvert$			18,1%



Material + Mão de obra (R$)	19,30

Solução após 2° iteração - Corpo integrado em A



Material + Mão de obra (R$)	19,30

Figura 15 Comparação das soluções, custeios e comparativos Valor x Custo da proposta original e as propostas após as iterações.

Como resultado, analisando quantitativamente, observou-se uma redução total de **R$ 7,15** por produto. Isso corresponde a uma economia total de **27%** na solução proposta neste subconjunto estudado. A comparação geral dos custos em cada iteração pôde ser observada na Figura 15, onde a relevância deste método se mostra evidente. No entanto, para além desta análise quantitativa dos custos gerais, pôde-se observar uma melhoria qualitativa em termos de equilíbrio entre o valor e o custo de cada função na comparação de cada ciclo de aplicação do método. Ainda na Figura 15, pode-se observar que a soma das diferenças no valor e porcentagem do custo, função a função, diminuiu a cada iteração. De forma geral, percebe-se que o método proposto apresenta vantagens qualitativas significativas, pois um melhor equilíbrio entre valor e custo aumenta a probabilidade de sucesso do projeto. Da mesma forma, os ganhos quantitativos para este produto são claros quando considerada uma produção anual de **200.000** unidades. Pois, com essa redução individual de custos de **R$ 7,15** por produto, alcança-se uma economia anual da ordem de **R$ 1.430.000,00** só com essa ação nesse subconjunto específico.

Como foi analisado apenas uma parte do produto, reduções adicionais nesta família de bens de consumo podem ser esperadas expandindo esta análise para outros grupos de peças e montagens.

Como sugestão para trabalhos futuros, este método poderia ser utilizado e validado em processos de desenvolvimento de produtos de outros modelos de negócios ou tipos de indústrias, como nas automotivas, alimentícias, de cosméticos e, porque não dizer, no setor de serviços. Além disso, como o foco deste estudo estava concentrado nos efeitos econômicos, outros pontos a serem avaliados seriam os efeitos da aplicação desse método nos outros dois suportes do tripé da sustentabilidade - o ambiental e o social – afinal, essas alterações de soluções também geraram mudanças em materiais e a maneiras como que as pessoas interagiriam com o produto em toda sua cadeia, desde os fornecedores, passando pelos processos de montagem, até as interações com o cliente final.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS/PUCPR), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. AQUINO SHLUZAS, L. M., & LEIFER, L. J. (2014). The insight-value-perception (iVP) model for user-centered design. Technovation, 34(11), 649–662. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.08.002
2. AYAĞ, Z., & ÖZDEMR, R. G. (2007). An analytic network process-based approach to concept evaluation in a new product development environment. Journal of Engineering Design, 18(3), 209–226. https://doi.org/10.1080/09544820600752740
3. CANCIGLIERI, O. J., & YOUNG, R. I. M. (2010). Information mapping across injection moulding design and manufacture domains. International Journal of Production Research, 48(15), 4437–4462. https://doi.org/10.1080/00207540902824974
4. CHEN, B. (2018). Conceptual design synthesis based on series-parallel functional unit structure. Journal of Engineering Design, 29(3), 87–130. https://doi.org/10.1080/09544828.2018.1448057
5. CHEN, S. C., HUANG, J. M., YANG, C. C., LIN, W. T., & CHEN, R. J. (2007). Failure evaluation and the establishment of an improvement model for product data management introduced to enterprises. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 35(1–2), 195–209. https://doi.org/10.1007/s00170-006-0705-1
6. ENGELBREKTSSON, P., & SÖDERMAN, M. (2004). The use and perception of methods and product representations in product development: A survey of Swedish industry. Journal of Engineering Design, 15(2), 141–154. https://doi.org/10.1080/09544820310001641245
7. FERNANDES, J., HENRIQUES, E., SILVA, A., & MOSS, M. A. (2014). A method for imprecision management in complex product development. Research in Engineering Design, 25(4), 309–324. https://doi.org/10.1007/s00163-014-0178-4
8. GERSHENSON, J. K., PRASAD, G. J., & ZHANG, Y. (2004). Product modularity: measures and design methods. Journal of Engineering Design, 15(1), 33–51. https://doi.org/10.1080/0954482032000101731
9. HARVEY, J., & AUBRY, M. (2018). Project and processes: a convenient but simplistic dichotomy. International Journal of Operations & Production Management, 38(6), 1289–1311. https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2017-0010
10. KIM, K., & LEE, K. (2016). Collaborative product design processes of industrial design and engineering design in consumer product companies. Design Studies, 46, 226–260. https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.06.003
11. KO, Y.-T., YANG, C.-C., & KUO, P.-H. (2011). A Problem-Oriented Design Method for Product Innovation. Concurrent Engineering, 19(4), 335–344. https://doi.org/10.1177/1063293X11425091
12. KONG, F. B., MING, X. G., WANG, L., WANG, X. H., & WANG, P. P. (2009). On Modular Products Development. Concurrent Engineering, 17(4), 291–300. https://doi.org/10.1177/1063293X09353974
13. KWONG, C. K., WONG, T. C., & CHAN, K. Y. (2009). A methodology of generating customer satisfaction models for new product development using a neuro-fuzzy approach. Expert Systems with Applications, 36(8), 11262–11270. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.02.094
14. LABUSCHAGNE, C., & BRENT, A. C. (2005). Sustainable Project Life Cycle Management: the need to integrate life cycles in the manufacturing sector. International Journal of Project Management, 23(2), 159–168. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.06.003
15. LU, B., ZHANG, J., XUE, D., & GU, P. (2011). Systematic Lifecycle Design for Sustainable Product Development. Concurrent Engineering, 19(4), 307–324. https://doi.org/10.1177/1063293X11424513
16. LU, P., YUAN, S., & WU, J. (2017). The interaction effect between intra-organizational and inter-organizational control on the project performance of new product development in open innovation. International Journal of Project Management, 35(8), 1627–1638. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.09.009
17. MA, J., & KIM, H. M. (2016). Product family architecture design with predictive, data-driven product family design method. Research in Engineering Design, 27(1), 5–21. https://doi.org/10.1007/s00163-015-0201-4
18. MA, H., CHU, X., XUE, D., & CHEN, D. (2017). A systematic decision-making approach for product conceptual design based on fuzzy morphological matrix. Expert Systems with Applications, 81, 444–456. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.03.074
19. MARWA, B., MOHAMED, A., IKBAL, M., VINCENT, C., & MOHAMED, H. (2017). KSim: An information system for knowledge management in Digital Factory. Concurrent Engineering, 25(4), 303–315. https://doi.org/10.1177/1063293X17702689
20. MARSHALL, R., & LEANEY, P. G. (2002). Holonic Product Design: A process for modular product realization. Journal of Engineering Design, 13(4), 293–303. https://doi.org/10.1080/0954482021000050839
21. MAUCHAND, M., SIADAT, A., BERNARD, A., & PERRY, N. (2008). Proposal for tool-based method of product cost estimation during conceptual design. Journal of Engineering Design, 19(2), 159–172. https://doi.org/10.1080/09544820701802857
22. MENG, D., ZHANG, X., YANG, Y.-J., XU, H., & HUANG, H.-Z. (2016). Interaction balance optimization in multidisciplinary design optimization problems. Concurrent Engineering, 24(1), 48–57. https://doi.org/10.1177/1063293X15600894
23. MICHALAKOUDIS, I., CHILDS, P., AURISICCHIO, M., & HARDING, J. (2017). Using functional analysis diagrams to improve product reliability and cost. Advances in Mechanical Engineering, 9(1), 168781401668522. https://doi.org/10.1177/1687814016685223
24. NEWNES, L. B., MILEHAM, A. R., CHEUNG, W. M., MARSH, R., LANHAM, J. D., SARAVI, M. E., & BRADBERY, R. W. (2008). Predicting the whole-life cost of a product at the conceptual design stage. Journal of Engineering Design, 19(2), 99–112. https://doi.org/10.1080/09544820701803061
25. ÖLVANDER, J., LUNDÉN, B., & GAVEL, H. (2009). A computerized optimization framework for the morphological matrix applied to aircraft conceptual design. Computer-Aided Design, 41(3), 187–196. https://doi.org/10.1016/j.cad.2008.06.005

26. PARK, J., SHIN, D., INSUN, P., & HYEMI, H. (2008). A product platform concept development method. Journal of Engineering Design, 19(6), 515–532. https://doi.org/10.1080/09544820802043583

27. PARK, C.-S., KIM, H.-J., PARK, H.-T., GOH, J.-H., & PEDRO, A. (2017). BIM-based idea bank for managing value engineering ideas. International Journal of Project Management, 35(4), 699–713. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.09.015

28. PAHL, G., BEITZ, W., FELDHUSEN, J., & GROTE, K.-H. (2007). Engineering Design. In K. Wallace (Ed.), Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-319-2

29. PEREIRA, J. A., & JÚNIOR, O. C. (2013). Multidisciplinary Systems Concepts Applied to R&D Projects Promoted by Brazilian Electricity Regulatory Agency (ANEEL). In Concurrent Engineering Approaches for Sustainable Product Development in a Multi-Disciplinary Environment (pp. 39–50). https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4426-7_4

30. PRASAD, B. (2016). On mapping tasks during product development. Concurrent Engineering, 24(2), 105–112. https://doi.org/10.1177/1063293X15625098

31. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. (2017). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide). 6th edition. Newtown Square, Pa: Project Management Institute. http://www.pmi.org. ISBN: 978-1-62825-184-5

32. RAUNIAR, R., RAWSKI, G., & HUDSON, D. (2017). Antecedents and Consequences of IPPD Effectiveness. International Journal of Innovation Management, 21(7), 1750059. https://doi.org/10.1142/S1363919617500591

33. REICH, Y., ULLMANN, G., VAN DER LOOS, M., & LEIFER, L. (2009). Coaching product development teams: a conceptual foundation for empirical studies. Research in Engineering Design, 19(4), 205–222. https://doi.org/10.1007/s00163-008-0046-1

34. SEO, K.-K., PARK, J.-H., JANG, D.-S., & WALLACE, D. (2002). Approximate Estimation of the Product Life Cycle Cost Using Artificial Neural Networks in Conceptual Design. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 19(6), 461–471. https://doi.org/10.1007/s001700200049

35. SETTI, P. H. P., CANCIGLIERI JUNIOR, O. & ESTORILIO, C. (2021). Integrated product development method based on Value Engineering and Design for Assembly concepts. Journal of Industrial Information Integration, 22, 21-45. https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100199

36. SETTI, P. H. P., CANCIGLIERI JUNIOR, O., & ESTORILIO, C. C. A. (2021). DFA concepts in a concurrent engineering environment: A white goods case. Concurrent Engineering, 29, 1-27. https://doi.org/10.1177/1063293X20985531

37. SETTI, P. H. P., CANCIGLIERI JUNIOR, O. (2014). Método para desenvolvimento integrado de produto baseado na engenharia de valor e DFA em um ambiente de Engenharia Simultânea. Sodebras, 9 (101), 198–204.

38. SETTI, P. H. P., CANCIGLIERI JUNIOR, O. (2018) Método para Desenvolvimento Integrado de Produtos Baseado em EV e DFA. 1. ed. Beau Bassin: International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group, 2018. v. 1. 109p, ISBN 978-620-2-19383-2

39. SHEN, J., ERKOYUNCU, J. A., ROY, R., & WU, B. (2017). A framework for cost evaluation in product service system configuration. International Journal of Production Research, 55(20), 6120–6144. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1325528

40. SHENAS, D. G., & DERAKHSHAN, S. (1994). Organizational Approaches to the Implementation of Simultaneous Engineering. International Journal of Operations & Production Management, 14(10), 30–43. https://doi.org/10.1108/01443579410067234

41. SHOUKE, C., ZHUOBIN, W., & JIE, L. (2010). Comprehensive evaluation for construction performance in concurrent engineering environment. International Journal of Project Management, 28(7), 708–718. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.11.004

42. SOMMER, A. F., DUKOVSKA-POPOVSKA, I., & STEGER-JENSEN, K. (2014). Barriers towards integrated product development - Challenges from a holistic project management perspective. International Journal of Project Management, 32(6), 970–982. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.10.013

43. SOUDER, W. E., & SONG, X. M. (1997). Contingent Product Design and Marketing Strategies Influencing New Product Success and Failure in U.S. and Japanese Electronics Firms. Journal of Product Innovation Management, 14(1), 21–34. https://doi.org/10.1111/1540-5885.1410021

44. SOUSA-ZOMER, T. T., & MIGUEL, P. A. C. (2017). A QFD-based approach to support sustainable product-service systems conceptual design. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 88(1–4), 701–717. https://doi.org/10.1007/s00170-016-8809-8

45. SRINIVASAN, R., LILIEN, G. L., RANGASWAMY, A., PINGITORE, G. M., & SELDIN, D. (2012). The Total Product Design Concept and an Application to the Auto Market. Journal of Product Innovation Management, 29, 3–20. https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2012.00958.x

46. STONE, R. B., KURTADIKAR, R., VILLANUEVA, N., & ARNOLD, C. B. (2008). A customer needs motivated conceptual design methodology for product portfolio planning. Journal of Engineering Design, 19(6), 489–514. https://doi.org/10.1080/09544820802286711

47. STONE, R. B., MCADAMS, D. A., & KAYYALETHEKKEL, V. J. (2004). A product architecture-based conceptual DFA technique. Design Studies, 25(3), 301–325. https://doi.org/10.1016/j.destud.2003.09.001

48. STONE, R. B., WOOD, K. L., & CRAWFORD, R. H. (2000). A heuristic method for identifying modules for product architectures. Design Studies, 21(1), 5–31. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(99)00003-4

49. SZEJKA, A. L., CANCIGLIERI, O., PANETTO, H., ROCHA LOURES, E., & AUBRY, A. (2017). Semantic interoperability for an integrated product development process: a systematic literature review. International Journal of Production Research, 55(22), 6691–6709. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1346314

50. TRAPPEY, A. J. C., & CHIANG, T.-A. (2008). A DEA benchmarking methodology for project planning and management of new product development under decentralized profit-center business model. Advanced Engineering Informatics, 22(4), 438–444. https://doi.org/10.1016/j.aei.2008.06.003

51. TSENG, K. C., & EL-GANZOURY, W. (2012). An intelligent system based on concurrent engineering for innovative product design at the conceptual design stage. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 63(5–8), 421–447. https://doi.org/10.1007/s00170-012-3932-7

52. ULLMAN, D. G. (2010). The Mechanical Design Process (4th ed.; McGraw-Hill, ed.). New York: Raghothaman Srinivasan. ISBN: 978-0072975741

53. UNGER, D., & EPPINGER, S. (2011). Improving product development process design: a method for managing information flows, risks, and iterations. Journal of Engineering Design, 22(10), 689–699. https://doi.org/10.1080/09544828.2010.524886

54. VASANTHA, G. V. A., ROY, R., LELAH, A., & BRISSAUD, D. (2012). A review of product–service systems design methodologies. Journal of Engineering Design, 23(9), 635–659. https://doi.org/10.1080/09544828.2011.639712

55. WINNER, R. I., PENNELL J. P., BERTRAND H. E., SLUSARZUK M. G. (1988) The Role of Concurrent Engineering in Weapon Systems Acquisition. Institute of Defense Analyses Report R-338, Alexandria. 1988.

56. YU, E., & SANGIORGI, D. (2018). Exploring the transformative impacts of service design: The role of designer–client relationships in the service development process. Design Studies, 55, 79–111. https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.09.001

57. ZHANG, Z., XU, D., OSTROSI, E., YU, L., & FAN, B. (2017). A systematic decision-making method for evaluating design alternatives of product service system based on variable precision rough set. Journal of Intelligent Manufacturing. https://doi.org/10.1007/s10845-017-1359-6

58. ZHENG, C., BRICOGNE, M., LE DUIGOU, J., & EYNARD, B. (2014). Survey on mechatronic engineering: A focus on design methods and product models. Advanced Engineering Informatics, 28(3), 241–257. https://doi.org/10.1016/j.aei.2014.05.003

59. ZIV-AV, A., & REICH, Y. (2005). SOS – subjective objective system for generating optimal product concepts. Design Studies, 26(5), 509–533. https://doi.org/10.1016/j.destud.2004.12.001