

MODULARIZAÇÃO - CONCEITOS, ABORDAGENS E BENEFÍCIOS: UMA REVISÃO TEÓRICA

NUNES, Fabiano de Lima¹; ROCHA, Mauro Vinícius²; ANTUNES JÚNIOR, José Antônio Valle³

RESUMO

Neste artigo, discutem-se as diferenças e inter-relações entre os conceitos de modularização, modularidade, modular e módulo. O tema da modularização consiste em seus conceitos, tipologias e abordagens, e a partir de sua implantação, são gerados impactos nas organizações. Para o desenvolvimento do presente estudo, utilizaram-se a pesquisa bibliográfica, discussão dos conceitos, conceitos unificados e hierarquicamente alinhados, para tornar mais claro o entendimento sobre o temário. Como resultado, indica-se uma hierarquia entre os conceitos de modularização, para esclarecer os conceitos em torno desse assunto. A pesquisa é finalizada com sugestões para estudos futuros, para que verifiquem empiricamente em que a modularização pode impactar e como pode trazer benefícios para as organizações.

Palavras-chave: Modularização. Modularidade. Modular. Módulo.

ABSTRACT

This paper discusses the differences and interrelationships between the concepts of modularization, modularity, modular and module. The theme consists of modularization in their concepts, approaches and typologies and from its implementation impacts organizations are generated. For the development of this study, we used the literature, discussion of concepts, unifying concepts and hierarchically aligned to clarify the understanding of the theme. As a result, indicates a hierarchy for the concepts of modularization, to clarify the concepts surrounding this issue. The study concludes with suggestions for future studies, which examine empirically as the modularization can impact and bring benefits to organizations.

Keywords: Modularization. Modularity. Modular. Module.

¹ Mestrando em Engenharia da Produção e Sistemas – PPGEPS, na Universidade do Vale dos Sinos e professor na Universidade Feevale. E-mail: fabianonunes@feevale.br.

² Mestrando em Engenharia da Produção e Sistemas – PPGEPS, na Universidade do Vale dos Sinos. E-mail: mauro_viniciusr@hotmail.com.

³ Doutor em Administração pelo PPGA, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul e professor do PPGEPS na Universidade do Vale dos Sinos. E-mail: junico@unisinos.br.

1 INTRODUÇÃO

Neste artigo, tem-se como objetivo principal problematizar os conceitos de *modularização*, *modularidade*, *modular* e *módulo*, discutindo suas inter-relações, abordagens e os benefícios gerados a partir da implantação dessa estratégia. Parte-se da constatação de que diversos estudos abordam a modularização e a modularidade como sendo o mesmo tema (BALDWIN; CLARK, 1997; SHAMSUZZOHA; KEKÄLE; HELO, 2010; RO; LIKER; FIXSON, 2007; SAKO; MURRAY, 1999; FREDRIKSSON, 2006). Alguns estudos tratam a modularização como estratégia (CHUNG, 2002; HUANG; LI, 2008; PARNAS, 1972, SAKO; MURRAY, 2000), outros demonstram que existem conceitos para cada uma delas (MILLER; ELGARD, 1998; ERIXON; YXKULL; ARNSTRÖM, 1996).

Ao apresentar as definições de cada conceito e os elementos que os compõem, mostra-se no artigo que modularização, modularidade, modular e módulo são dimensões distintas da modularização que, no entanto, se inter-relacionam. A justificativa para a discussão do tema, além da falta de clareza teórica que caracteriza os conceitos, é o aumento do interesse acadêmico pelo estudo da modularização como resultado do número de organizações que a adotam como estratégia (CHUNG, 2002; SAKO; MURRAY, 2000, JHONSON, 2013). Além disso, há uma carência de estudos que compilem os conceitos de modularização de forma clara. (MILLER; ELGARD, 1998).

Até o momento, a academia se ocupou principalmente com estudos sobre as abordagens (SAKO; MURRAY, 1999; SHAMSUZZOHA; KEKÄLE; HELO, 2010), regras de projeto modular (BALDWIN; CLARK, 1997; ULRICH; TUNG, 1991; MILLER; ELGARD, 1998; ULRICH, 1995; NEWCOMB; BRAS; ROSEN, 1996) e os benefícios que as empresas podem alcançar (SAKO; MURRAY, 1999; SHAMSUZZOHA; KEKÄLE; HELO, 2010; BALDWIN; CLARK, 1997; ULRICH; TUNG, 1991; ULRICH, 1995; MILLER; ELGARD, 1998; CHUNG, 2002; JHONSON, 2013).

2 REVISÃO TEÓRICA

A conceituação de modularização está sendo difundida ora como modularidade, ora como modular, ora como módulo. A seguir, será compilado o que diversos autores, de linhas de pensamento diferentes, estão interpretando sobre estes conceitos, para que, no capítulo da

discussão, seja possível adequá-los em uma estrutura de melhor entendimento. Porém, antes das conceituações, é realizado um resgate histórico sobre o tema, em suas origens.

O termo *módulo*, de acordo com Miller e Elgard (1998), vem do tempo antigo, quando, em latim, *modulus* era a medida de comprimento. Os módulos também já haviam sido descritos por Marcus Vitruvius Pollio (Vitruve), que trabalhou para o Imperador Romano Augustus. Ele escreveu, em seus “Dez Livros sobre Arquitetura”, acerca das leis das proporções e simetrias nos templos e colunas do Império Romano. Esses módulos eram uma padronização para garantir as proporções corretas nas construções romanas na época.

Conforme Miller e Elgard (1998), durante a era Bauhaus (1919 - 1933), o arquiteto alemão Walter Gropius inseriu pela primeira vez a padronização combinada com a ideia do pensamento funcional e da produção industrial na construção de edifícios. O módulo foi ligado a um conceito de bloco de construção, em que os blocos eram unidades funcionais nos edifícios, como, por exemplo, sala, quarto, cozinha, entre outros.

A partir disso, o módulo mantinha o sentido original de ser um padrão de medida, permitindo combinações de blocos construtivos, inspirados em brinquedos infantis. A proposta dos blocos construtivos de Bauhaus era criar edifícios de forma mais racional, padronizada e com materiais pré-fabricados, possibilitando fazer um planejamento mais completo e eficiente da edificação (DROSTE, 1990).

2.1 MODULARIZAÇÃO

Conforme Parnas (1972), a modularização deve incluir as decisões de projeto que devem ser feitas antes de se começar o trabalho nos módulos independentes. Muitas decisões diferentes são incluídas para cada alternativa, mas em todos os casos a intenção é descrever todas as decisões no nível do sistema, como por exemplo, decisões que possam afetar um módulo. Contudo, a modularização pode ser entendida como um agrupamento e/ou encaixe de diferentes componentes dentro de módulo. Com seu desenvolvimento, ela pode ser inserida dentro do planejamento estratégico da customização em massa, pois seus processos são cruciais para a manufatura, proporcionando meios de aumentar a variedade dos produtos e atender aos diferentes critérios dos consumidores (HUANG; LI, 2008). A modularização pode ser definida como a oportunidade de misturar e combinar os componentes de produto com um

design modular, em que as interfaces entre os componentes do padrão são especificadas para permitir uma gama de variação de componentes a serem substituídos na arquitetura do produto (MIKKOLA, 2000).

O projeto da modularização é um método de organização eficiente de produtos e processos complexos, dividindo tarefas complexas em partes mais simples, para que possam ser gerenciadas de forma independente e ainda funcionar como um todo integrado. A questão-chave na modularização é criar mecanismos para uma articulação eficaz das unidades constituintes, e, portanto, a modularização produz uma estrutura de custos diferente da normalização (HUANG; LI, 2008).

2.2 MODULARIDADE

De acordo com Ulrich (1995), a possível modularidade de um produto depende da semelhança entre a arquitetura física e a arquitetura funcional do projeto. A modularidade é a construção de um produto ou processo complexo a partir de subsistemas menores, que podem ser concebidos de forma independente e ainda funcionarem em conjunto (BALDWIN; CLARK, 1997).

A modularidade pode ser tratada como um sistema de peças independentes, ou módulos integrados com unidades lógicas. Para Miller e Elgard (1998), a modularidade é um atributo de um sistema ou produto que está relacionado à sua estrutura e funcionalidade. Segundo Ulrich e Tung (1991), pode-se descrever a modularidade como uma propriedade relativa de uma estrutura de produto, por oposição a uma estrutura integrante. Em uma estrutura modular, um módulo implementa apenas uma ou poucas funções principais na sua totalidade, enquanto que em uma estrutura integral, a funcionalidade está espalhada por todo o produto. A modularidade se refere aos blocos de construção de um sistema ou produto e está intrinsecamente ligada à sua arquitetura. Quase todas as discussões de modularidade se referem à arquitetura do produto (GERSHENSON; PRASAD; ZHANG, 2003).

A modularidade é uma estratégia de *design* que é usada por empresas produtoras de diferentes produtos, como aeronaves, eletrodomésticos, caminhões e carros, computadores e *softwares* (FREDRIKSSON, 2006). De acordo com Baldwin e Clark (1997), modularidade é a construção de um produto ou processo complexo a partir de subsistemas menores, que podem

ser concebidos de forma independente e ainda funcionarem em conjunto como um todo. Para Ro, Liker e Fixson (2007), a modularidade se refere ao grau em que os componentes de um sistema podem ser separados e recombinados. Embora o entendimento da modularidade tenha se tornado mais resumidamente relacionado à funcionalidade da sua geometria, um módulo é, ainda, fundamentalmente definido como uma unidade física (ULRICH; TUNG, 1991).

2.3 MODULAR

Um produto modular é um produto complexo, cujos elementos individuais são concebidos de forma independente e em conjunto com outros, funcionando como um todo harmonioso (SAKO; MURRAY, 1999). O conceito genérico de produto modular é criar a variedade de produtos, que é um conceito-chave da customização em massa. O desenvolvimento da variedade de produtos provoca alta complexidade ao longo da linha de produção e, portanto, precisa ser gerido de forma eficiente (SCAVARDA et al., 2010).

Para Miller e Elgard (1998), a estrutura modular de um produto é uma estrutura composta por unidades funcionais independentes (módulos), com interfaces padronizadas e interações de acordo com a definição do sistema. A arquitetura modular inclui um mapeamento diferenciado a partir de elementos funcionais, em função da estrutura dos componentes físicos do produto, e específicas interfaces dissociadas entre os componentes (ULRICH, 1995).

O *design* de produto modular, segundo Marshall, Leaney e Botterell (1998) apresenta uma oportunidade de os desenvolvedores de produtos predominantemente complexos atenderem aos problemas apresentados de uma maneira que não impõe penalidades à empresa. A arquitetura modular de produto, segundo Shamsuzzoha (2011), pode ser definida como uma metodologia ou sistema que desempenha funções gerais de um produto por meio da combinação de módulos distintos que são projetados de forma independente.

Segundo Baldwin e Clark (1997), o projeto de arquitetura modular permite às empresas gerir e desenvolver produtos e sistemas complexos de forma eficiente, decompondo-os em subsistemas simples ou módulos, sem quebrar a integridade do sistema.

2.4 MÓDULO

Para Miller e Elgard (1998), um módulo é uma unidade relativa funcional essencial e autônoma em relação ao produto do qual ele faz parte. O módulo tem, em relação a uma definição de sistema, interfaces normalizadas e interações que permitem a composição dos produtos por combinações. Os módulos têm uma ou mais funções bem definidas, que podem ser testadas em isolamento a partir do sistema e são compósitos dos seus componentes. São subsistemas cooperativos que formam um produto e têm suas principais interações funcionais internas e não em suas interfaces (MIGUEL, 2005).

De acordo com Smith e Yen (2010), usando o conceito funcional para desenvolver produtos modulares por agrupamento ou por subfunções com base nas relações funcionais para formar módulos funcionais. O módulo é uma unidade ou componente normalizado, possuindo geralmente uma função definida em um sistema; um conjunto autônomo usado como um componente de um sistema maior (RO et al., 2007).

Um módulo é descrito como um conjunto de componentes por Newcomb, Bras e Rosen (1996), e a arquitetura do produto é constituída por todos os seus componentes, mais as relações entre esses componentes. Módulo é definido por Allen e Carlson-Skalak (1998) como um componente ou grupo de componentes que podem ser removidos do produto de forma não destrutiva, como uma unidade que proporciona uma função básica original necessária para a operação do produto como desejado.

2.5 ABORDAGENS DE MODULARIDADE

Em ambientes de produção, é possível identificar vários tipos de modularidade. Ulrich e Tung (1991) definem seis categorias, que podem ser usadas separadamente ou em conjunto, para fornecer um produto final customizado. São elas: modularidade de componentes intercambiáveis, de componentes compartilhados, de componentes fabricados para caber, de barramento, seccional e de *mix*.

Esses autores relacionam ainda a modularidade à funcionalidade, concentrando-se em diferentes tipos de estruturas modulares em vez de definir tipos individuais de módulos. Argumentam que as modularidades para produtos exigem semelhança entre o gerenciamento da

estrutura física e funcional, assim como das interações entre módulos. É descrito que o problema de interface não é trivial nas modularidades de produto, pois não é suficiente considerar somente a geometria, já que a informação, energia e materiais também criam importantes relações entre os módulos do produto (ULRICH; TUNG, 1991).

Para Pandremenos et al. (2009) e Sako e Murray (2000), as três áreas ou campos onde as modularidades poderiam ser implementadas como estratégia são:

a) Modularidade em *Design* (MED)

É o caso de uma arquitetura modular do produto, um mapeamento individual a partir de elementos funcionais em função da estrutura para os componentes físicos do produto e dissociação específica das interfaces entre os componentes.

b) Modularidade em Uso (MEU)

Modularidade em uso é uma decomposição orientada para os consumidores de um produto, com vista a satisfazer a facilidade de utilização e a individualização. Esta última está intimamente ligada ao conceito de customização em massa.

c) Modularidade em Produção (MEP)

Os meios de modularização no chão da fábrica está na capacidade de pré-combinar um grande número de componentes em módulos. Esses módulos são montados fora da linha de produção ou montagem, e em seguida trazidos para a linha principal, sendo incorporados a uma pequena e simples série de tarefas.

A Figura 1 ilustra as relações entre os tipos de modularidade.



Figura 1 – Tipos de modularidade
Fonte: traduzido de Sako e Murray (2000)

Para Baldwin e Clark (1997), as regras de projetos a serem aplicadas utilizando a modularidade são divididas em três categorias. As categorias são as seguintes:

a) Arquitetura: especifica quais módulos farão parte do sistema e quais serão as suas funções;

b) Interfaces: descrevem em detalhes como os módulos irão interagir, incluindo como eles irão se encaixar, conectar e comunicar;

c) Padrões: testam a conformidade de um módulo nas especificações do projeto e medem o desempenho de um módulo em relação a outro (como seria melhor o módulo X em relação ao Y?).

Para Shamsuzzoha, Kekäle e Helo (2010), dependendo da aplicabilidade no desenvolvimento de produtos, a modularidade pode ser dividida em três tipos: funcional, técnica e física. Na modularidade funcional, diferentes módulos são montados juntos baseados em suas funções, seguindo intuições ou desejos dos clientes, ao passo que a modularidade técnica se baseia no desempenho tecnológico dos módulos para soluções específicas. A modularidade física se preocupa com as viabilidades de fabricação e as coerências de seus interfaceamentos. Para Salvador, Forza e Rungtusanathan (2002), a pesquisa em teoria e engenharia em gestão de projetos tem explorado as propriedades das famílias de produtos modulares e implicitamente sugere que existem diferentes tipos de modularidade, conforme mostra a Figura 2.

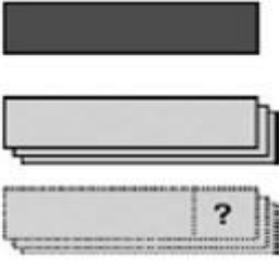
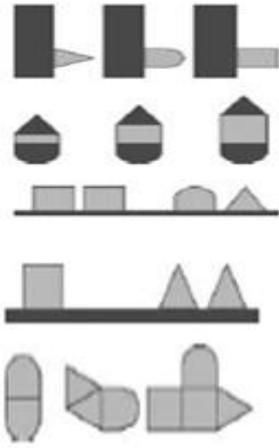
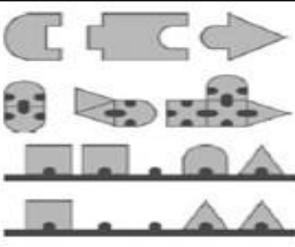
Referências	Critério de Classificação		Tipos de módulo / modularidade
Pahl & Beitz (1984)	Estabilidade da função atribuída ao componente		Módulos básicos e auxiliares implementam funções que são comuns em toda a família de produtos. Módulos especiais implementam funções complementares e tarefas específicas e que não precisam aparecerem todas as variantes de produtos. Módulos adaptativos implementam funções relacionadas com a adaptação a outros sistemas e condições marginais.
Ulrich & Tung (1991)	Como a configuração do produto final é construída		Componentes intercambiáveis: produtos variáveis são obtidos por troca de um ou mais componentes (▲, ▽, ◻), comum ao corpo do produto. (▲, ▽, ◻) Fabricar para caber: variantes de produtos são obtidos por uma mudança contínua de uma característica variável (◻, ◻, ◻) dentro de um determinado componente. Modularidade Barramento / Bus: variantes do produto são obtidos combinando qualquer seleção de componentes de um conjunto de tipos de componentes (▲, ▽, ◻). Com um componente que tenha duas ou mais interfaces (◻, ◻) Modularidade Seccional: variantes do produto são obtidos misturando e combinando numa forma arbitrária um conjunto de componentes (▲, ▽, ◻), contanto que eles estão ligados nas suas interfaces.
Ulrich (1995)	Natureza da interface entre os componentes		Slot de modularidade: interfaces entre componentes diferentes são diferentes (◻, ◻) Modularidade Seccional: todos os componentes são ligados através de interfaces (idênticas) (◻, ◻) Modularidade Barramento/ Bus: caso especial de corte/modularidade, onde há um único componente, o barramento (◻, ◻), realizando a função de ligação

Figura 2 – Tipologias de modularidade
 Fonte: traduzido de Salvador, Forza e Rungtusanathan (2002)

2.6 ABORDAGEM MODULAR

De acordo com Shamsuzzoha, Kekäle e Helo (2010), a estrutura do produto pode ser definida como modular de acordo com a estrutura do módulo, com várias funcionalidades específicas. Nesse caso, dois tipos de abordagens são geralmente considerados em empresas para desenvolver o produto modular: a abordagem *Bottom-up* (de baixo para cima) e a abordagem *Top-Down* (de cima para baixo), que são discutidos a seguir.

Na abordagem *Bottom-up*, os produtos modulares são formados em funcionalidades e requisitos específicos. Os módulos, que são formados separadamente, não são em comum uns com os outros, mas se caracterizam por aspectos originais ou recursos. Em geral, as

funcionalidades de diferentes componentes e/ou peças são analisadas por semelhanças entre eles, para finalmente formar diferentes módulos. Os módulos individuais são então combinados/montados em conjunto para obter os produtos finais. Nessa abordagem, existe a possibilidade de se modularizar parcialmente, pois todos os requisitos podem não se transferir para os módulos, mas ficar com arquitetura integrada lado a lado. Esta seria, então, a formação de arquitetura de produto integral-modular (SHAMSUZZOHA; KEKÄLE; HELO, 2010). A Figura 3 ilustra a abordagem *Bottom-up*.



Figura 3 – Abordagem modular *Bottom-up*
Fonte: traduzido de Shamsuzzoha, Kekäle e Helo (2010)

A abordagem *Top-down* começa a partir do requisito básico de um produto ou família de produtos. Todos os requisitos são reunidos e selecionados fora e formulados dentro da arquitetura do produto. Essa arquitetura disponível é estudada e analisada criticamente, para a sua adequação ao projeto de alto nível que transmitiu para a fase de detalhe. Nessa fase, a comunalidade entre elementos de *design* é classificada para a formação de módulos previstos.

Estes módulos são desenvolvidos e usados para formar o produto modular. Essa abordagem é especialmente fértil para a criação de variantes de produtos, em que vários módulos podem ser alterados ou substituídos uns pelos outros para atingir as variedades esperadas. Torna-se bastante complicado melhorar a concepção de um produto existente, pois todos os módulos são produzidos de acordo com os requisitos da nova concepção do sistema, conforme ilustrado na Figura 4.

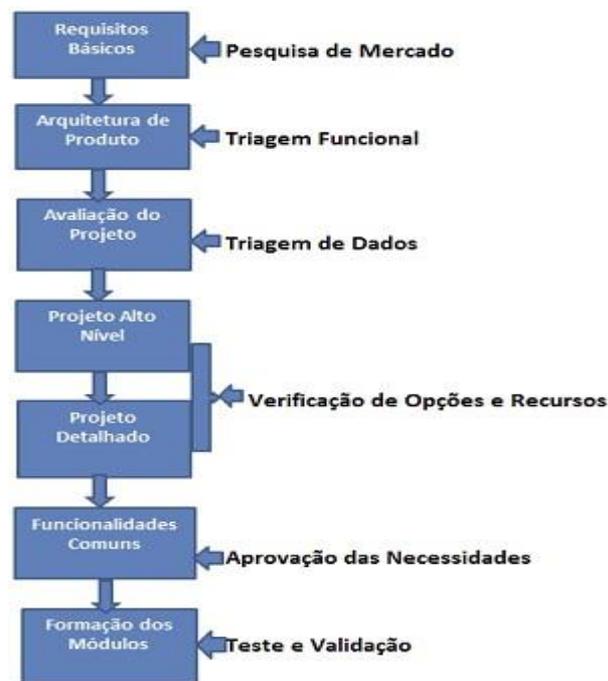


Figura 4 – Abordagem modular *Top-Down*
Fonte: traduzido de Shamsuzzoha, Kekäle e Helo (2010)

Para Sako e Murray (1999), a abordagem modular pode ser uma estratégia que pode levar uma organização a reter, desenvolver e descartar diferentes capacidades. Como exemplo, considerando um fabricante de automóveis que possui um produto de concepção não modular e cuja produção é altamente verticalizada e integrada. Essa empresa possui a escolha de três trajetórias de movimento a partir da posição atual até a final – a posição do *design* modular e da produção terceirizada. São elas: (1) concepção de módulos e sua produção realizada internamente, antes da terceirização; (2) terceirização de componentes não modulares antes da migração para o *design* modular; e (3) implementação simultânea do *design* modular e da terceirização (*outsourcing*). Cada caminho leva a um conjunto diferente de recursos e desempenho dos resultados para a cadeia de abastecimento.

No primeiro caminho, o *design* modular é provável de ser adotado somente se ele trouxer melhorias significativas de desempenho e soluções para os problemas decorrentes da ergonomia e complexidade. Ao longo do tempo, os módulos são terceirizados e os fornecedores iriam se beneficiar das soluções encontradas pelo fabricante do carro. No segundo percurso, terceirização em vez de modularização é o *driver* inicial, e não está claro se o fabricante do carro ou os fornecedores vão acabar tomando a iniciativa de propor o *design* modular e a integração dos componentes. No terceiro caso, uma simultânea implementação de *design* modular e de produção fora da origem não necessariamente levará à redução de complexidade, se a tarefa de lidar com a complexidade pelo fabricante de automóveis for meramente repassada ao fornecedor (SAKO; MURRAY, 1999), conforme ilustra a Figura 5.

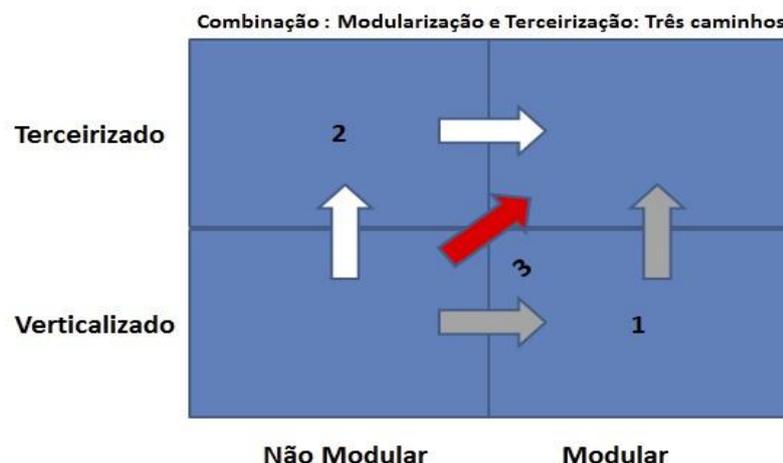


Figura 5 – Combinando modularização e terceirização: três caminhos
Fonte: traduzido de Sako e Murray (1999).

Dessa forma, é reduzido o nível de complexidade global da cadeia de fornecimento como resultado da modularização e terceirização, ou ele tem a mesma complexidade que a empresa de automóveis exterioriza na cadeia de abastecimento? A resposta depende do limite até onde a organização planejou aperfeiçoar seus objetivos. A empresa que produz módulos em casa ou tem implementadas as soluções pelos fornecedores é suscetível de se beneficiar de uma melhoria global como resultado de modularização. Por outro lado, nessa empresa, terceirizar módulos sem um conjunto de soluções *in house* pode acabar não reduzindo a complexidade na oferta total da cadeia, portanto, tornando os módulos mais caros do que se eles fossem produzidos *in house*. (SAKO; MURRAY, 1999).

2.7 VANTAGENS

Os benefícios da modularização nas organizações podem ser em relação à funcionalidade dos produtos, desenvolvimento de produtos, produção, cadeia de fornecimento, processos e outros elementos que serão expostos a seguir. Para Gershenson, Prasad e Allamneni (1999), a modularidade permite a um projetista controlar o grau em que as variações nos processos ou requisitos afetam o produto e, através da promoção da intercambiabilidade, a modularidade dá aos projetistas maior flexibilidade para atender esses processos de mudança. Essa flexibilidade permite atrasar as decisões de projeto até que mais informações estejam disponíveis sem atrasar o processo de desenvolvimento do produto. Outra vantagem da modularização é a capacidade de reduzir o custo do ciclo de vida, reduzindo o número de processos e de processos repetitivos.

Também, como benefícios da modularidade, podem-se incluir ciclos de vida mais curtos do produto, aumento do número de variantes do produto, o aumento da flexibilidade de desenvolvimento de produtos, atualização tecnológica de produtos, reduzindo assim o número de fornecedores e gerando a redução de custos de desenvolvimento e produção. (BALDWIN; CLARK, 1997, MIKKOLA; GASSMANN, 2003).

A modularidade, de acordo com Sako e Murray (2000), proporciona um contexto único para explorar as ligações entre a arquitetura do produto e arquitetura organizacional (incluindo limites da organização dentro do contexto da cadeia de suprimentos – *supply chain*), e para começar a analisar a influência do mercado de trabalho e as estruturas do mercado de capitais neste relacionamento, como ilustra a Figura 6.

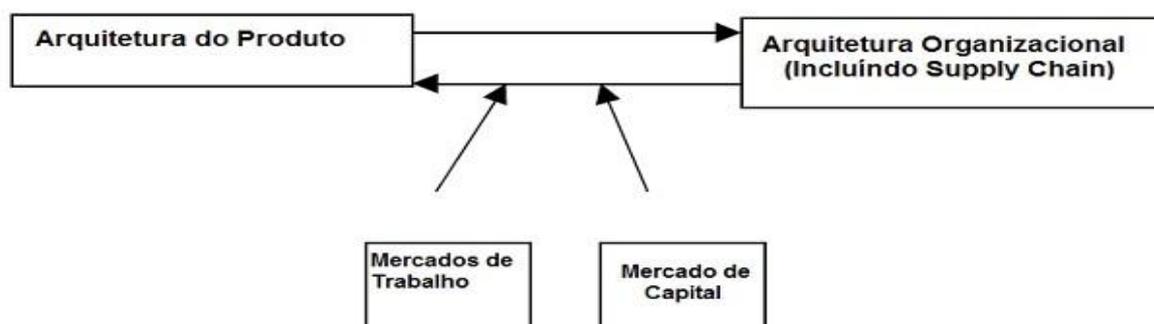


Figura 6 – *Framework* para analisar o impacto da modularidade em um projeto organizacional
Fonte: traduzido de Sako e Murray (2000)

Ulrich (1995) argumenta que a modularidade pode ajudar a aumentar a variedade de produtos, mas também aponta o uso da modularidade para encurtar prazos de entrega e gozar de economias de escopo. Pine, Victor e Boyton (1993) sugerem que a modularidade pode facilitar o aumento do número de produtos disponíveis, enquanto os custos diminuem.

A modularidade é geralmente considerada uma estratégia com um grande potencial para reduzir os *leads times*, porém, precisa ser analisada antes de sua implantação. Dentro dessa estratégia, os fornecedores precisam entregar não somente os componentes, mas sim módulos completos, tornando-se necessário o fechamento de parcerias entre as companhias com estratégia modular e seus fornecedores (SHAMSUZZOHA, 2010).

De acordo com Baldwin e Clark (1997), na medida em que o consumidor final está resguardado, a modularidade em uso permite aos clientes misturar e combinar elementos para chegar a um produto final que satisfaça seus gostos e necessidades. A modularidade permite flexibilidade na função e flexibilidade no atendimento das necessidades do usuário final. O papel da arquitetura do produto no seu ciclo de vida e tempo de desenvolvimento é significativo. A arquitetura de produto modular permite a variedade de produtos e facilidade de desmontagem (GERSHENSON; PRASAD; ZHANG, 2003).

3 METODOLOGIA

A metodologia serve para orientar o pesquisador a fim de que ele cumpra os objetivos propostos em sua pesquisa. Para Marconi e Lakatos (2011), todas as ciências se caracterizam pelos métodos científicos, pois não há ciência sem o emprego de métodos científicos. A escolha do método remete a uma posição teórica que deve ser explicada para evidenciar a abordagem do estudo. A teoria é constituída para explicar ou compreender os fatos ou o conjunto destes.

De acordo com Prodanov e Freitas (2009), essa pesquisa define-se como descritiva, com o intuito de analisar e interpretar os fatos. Para Marconi e Lakatos (2011), a pesquisa descritiva deve descrever, registrar, analisar e interpretar os fenômenos atuais, objetivando o seu funcionamento no presente.

Em relação aos meios de investigação, essa pesquisa se desenvolveu através da pesquisa bibliográfica, de acordo com Prodanov e Freitas (2009). Para Marconi e Lakatos (2011),

as pesquisas bibliográficas não são mera repetição do que já foi dito ou escrito sobre certo assunto, mas propiciam o exame de um tema sob novo enfoque ou abordagem, chegando a conclusões inovadoras.

Conforme Prodanov e Freitas (2009), a pesquisa bibliográfica é elaborada a partir de materiais já publicados, tais como: livros, revistas, publicações em periódicos, artigos científicos, monografias, internet, entre outros. Ela tem como objetivo colocar o pesquisador em contato com todos os materiais já escritos sobre o tema em questão.

Na pesquisa bibliográfica, é importante que o pesquisador verifique a veracidade dos dados obtidos, observando as possíveis incoerências ou contradições que as obras possam apresentar (PRODANOV; FREITAS, 2009).

4 DISCUSSÃO

De acordo com Baldwin e Clark (1997), o primeiro projeto de modularização aplicado com sucesso foi em equipamentos de informática, na IBM, no IBM System/360. No segmento automotivo, Henry Ford já utilizava compartilhamento de módulos e componentes no Modelo T, de acordo com Alizon, Shooter e Simpsom (2009). Porém os suecos da Scania são os precursores em utilizar a modularização em larga escala, e com grande sucesso, conforme Johnson (2013).

A modularidade nas indústrias de equipamentos pesados e de transporte pode ser atribuída à fabricante sueca de veículos comerciais Scania AB, que, em 1970, tomou uma decisão de gestão para desenvolver a próxima gama de caminhões com base em uma filosofia modular. O programa da Scania enfrentou uma série de desafios; no centro desses desafios, estava a falta de uma abordagem estruturada. Isso resultou em uma curva de aprendizagem que foi mais longa do que o esperado e os projetos sofreram atrasos. (JOHNSON, 2013).

Apesar desses contratemplos, a administração da Scania perseverou. Atualmente, não só os veículos por ela fabricados possuem a filosofia modular, mas a Corporação Scania possui um pensamento e uma estratégia modular, conforme mostra a Figura 7.



Figura 7 – Análise de ganhos pós- modularização na cabine da Scania
 Fonte: traduzido de Johnson (2013)

Ao analisar a Figura 7, é possível observar o benefício da redução de *part numbers* que a Scania obteve a partir da modularização como estratégia, de acordo com Johnson (2013). Mas os ganhos não estão somente nos números de *part numbers*, estão também em custos menores de estoques, menor capital de giro empregado para a manutenção de estoques, menores recursos de fabricação (próprios ou terceirizados). O autor também menciona o caso da Volkswagen, que, após adquirir, em 2000, uma parcela minoritária da Scania, teve seu primeiro contato com a estratégia de modularização. Em 2008, ela se torna a grande acionista da Scania e, a partir disso, desenvolve um plano agressivo de modularização em seus veículos, conforme descreve a Figura 8.



Figura 8 – Plano VW de modularização
 Fonte: traduzido de Johnson (2013)

Em relação aos resultados apresentados a partir do plano de modularização apresentado na Figura 8, a Volkswagen obteve resultados significativos de 2007 a 2010, apresentados na Figura 9.



Figura 9 – Resultados VW pós- plano
Fonte: traduzido de Johnson (2013)

A definição para modularização de Doran et al. (2007) indica que a modularização é um termo vagamente definido e ambigualmente usado na indústria automobilística, aplicável e aplicado a um número de sistemas (*design* de produto, fabricação, organização do trabalho etc). Porém, pode-se analisar essa definição em conjunto com a definição dada por Parnas (1972): a modularização deve incluir as decisões de projeto que devem ser feitas antes do início do trabalho nos módulos. Muitas decisões diferentes são incluídas para cada alternativa, mas, em todos os casos, a intenção é descrever todas as decisões no nível do sistema, como por exemplo, decisões que possam afetar um módulo.

A modularização pode ser vista como um processo estratégico, já que é aplicada a diversos sistemas e também a um processo de planejamento, conforme ilustrado por Parnas (1972). Chung (2002) deixa claro que a Hyundai adota a modularização como estratégia, pois utiliza o processo de fornecimento de módulos por parte de seus fornecedores e estruturas modulares em seus produtos.

Modular, conforme Baldwin e Clark (1997) é o projeto de arquitetura modular que permite às empresas gerir e desenvolver produtos e sistemas complexos de forma eficiente, decompondo-os em subsistemas simples ou módulos sem quebrar a integridade do sistema. Para Scavarda et al. (2010), o conceito genérico de produto modular é criar a variedade de produtos, que é um conceito-chave da customização em massa. Como o desenvolvimento de variedade de produtos provoca alta complexidade ao longo da linha de produção, precisa ser gerido de forma eficiente. A modularidade de um produto, para Baldwin e Clark (1997) é um atributo de um sistema complexo que apoiadores da concepção de estruturas baseadas na minimização da interdependência entre os módulos e maximizar interdependência dentro deles, podem ser misturados e combinados de forma a obter novas configurações sem perda de funcionalidade ou desempenho do sistema. Para Miller e Elgard (1998), a modularidade também é um atributo de um sistema ou produto relacionado à estrutura e funcionalidade do mesmo.

Um módulo, de acordo com Miller e Elgard (1998), é uma unidade funcional essencial e autônoma em relação ao produto ou sistema que ele integra. Todo módulo possui, relativo à definição de um sistema, interfaces normalizadas e conexões que permitem a composição dos produtos por combinações. O aspecto funcional do módulo consiste no desenvolvimento de produtos modulares por agrupamento ou por subfunções, com base nas interações funcionais para a geração de módulos funcionais. Esses módulos são formados com base em características semelhantes entre as propriedades físicas das peças, tais como expectativa de vida, nível de manutenção dos materiais, método de disposição etc. (SMITH; YEN, 2010).

A partir da discussão dos conceitos na fundamentação teórica e dos complementos inseridos neste capítulo, podem-se caracterizar os conceitos e a estrutura hierárquica dos componentes do tema modularização, de acordo com o que mostra o Quadro 1:

Posição Hierárquica	Conceito	Fundamentação
1o.	Modularização	É a estratégia a ser implantada em toda a organização, a partir dela, serão geradas as diretrizes para os projetos de produtos/sistemas de arquitetura modular.
2o	Modular	É o projeto de arquitetura modular que permite às empresas gerir e desenvolver produtos e sistemas complexos de forma eficiente os decompondo em subsistemas simples ou módulos sem quebrar a integridade do sistema
3o.	Modularidade	É um atributo construtivo do produto / sistema / processo complexo relacionado a estrutura e funcionalidade do mesmo
4o.	Módulo	É uma unidade funcional e autônoma, que a partir de interfaces e conexões padronizadas, permite composições de produtos através de combinações.

Quadro 1 – Sistema hierárquico e conceitual da estratégia da modularização
Fonte: elaborado pelos autores

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo geral, problematizar os conceitos de modularização, modularidade, modular e módulo, discutindo suas inter-relações, abordagens e os benefícios gerados a partir da implantação dessa estratégia. A partir dessa pesquisa, é possível afirmar que existem muitas disparidades na conceituação do tema da modularização, principalmente acerca dos conceitos de modularização e modularidade, mas que existem linhas de pesquisas que se aproximam muito, principalmente as desenvolvidas na Suécia, na Finlândia, e também na Coréia do Sul.

Cabe ressaltar que, apesar das divergências, analisando a situação principalmente a partir do viés do produto (onde existe o maior número de referências), é possível entender e conceituar de forma mais fácil e clara os principais elementos que formam a modularização e sua abordagem. Em relação aos benefícios da modularização, existem muitos dados teóricos, porém poucos estudos com dados empíricos; até mesmo no caso da *Hyundai Motor Company* existem poucos dados relativos aos benefícios da modularização.

Mediante ao exposto, sugere-se mais estudos e análises sobre a modularização, principalmente estudos de caso em empresas brasileiras, para que seja possível a criação de mais fontes de pesquisas, baseadas na cultura e no mercado econômico do país. Além disso, sugerem-se estudos que comprovem, com maiores dados e resultados, os impactos da modularização, quando essa estratégia for adotada por empresas que atendam à customização de massa.

REFERÊNCIAS

- ALIZON, F.; SHOOTER S. B.; SIMPSON T.W. Henri Ford and the Model T: lessons for product platforming and mass customization. **Design Studies**, v. 30, n. 5, p. 588-605, 2009.
- ALLEN, K. R.; CARLSON-SKALAK, S., Defining product architecture during conceptual design. **Proceedings of the 1998 ASME Design Engineering Technical Conference**, Atlanta, GA (New York: The American Society of Mechanical Engineers), 1998.
- BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B. Managing in age of modularity. **Harvard Business Review**, v. 75, p. 84-93, 1997.
- CHUNG, M. K. The Way of Modularization Strategy by Hyundai. **Tenth Gerpisa International Colloquium**; Paris - France, 2002.
- DORAN, D.; HILL, A.; HWANG, K. S.; JACOB, G. Supply chain modularisation: cases from the French automobile industry. **International Journal Production Economics**, v. 106, p. 2-11, 2007.
- DROSTE, M. **Bauhaus 1919-1933**. Benedict Taschen Series, Bauhaus - Archiv Museum für Gestaltung, Berlin. Dansk production: Book Service I/S, Copenhagen, 1990.
- ERIXON, G.; YXKULL, A.; ARNSTRÖM, A. Modularity – the Basis for Product and Factory Reengineering. **CIRP Annals**, v. 45, n. 1, p. 1-6, 1996.
- FREDRIKSSON, P. Operations and logistics issues in modular assembly processes: cases from the automotive sector. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 17, n. 2, p. 168-186, 2006.
- GERSHENSON, J. K., PRASAD, G. J.; ALLAMNENI, S., Modular product design: a life-cycle view. **Journal of Integrated Design and Process Science**, v. 3, p. 3-26. 1999.
- GERSHENSON, J. K., PRASAD, G. J.; ZHANG, Y., Product Modularity: Definitions e benefits. **Journal Engineering Design**, v. 14, n. 3, p. 295-313, 2003.
- HUANG, Y. Y.; LI, S. J. Suitable application situation of different postponement approaches: Standardization vs. Modularization. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 27, p. 111-122, 2008.
- JHONSON, L. Modularity: a growing management tool because it delivers real value. **Modular Management -Sweden**, 2013. Disponível em <<http://modularmanagement.com/en/articles/modularity-growing-because-it-delivers-real-value#overlay-context=en/publications/articles>>. Acesso em: 10 abr. 2013.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa** - Planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados. 7 ed. São Paulo, SP: Atlas, 2011.
- MARSHALL, R.; LEANEY, P.; BOTTERELL, P. Enhanced product realisation through modular design: an example of product/process integration. **Third Biennial Conference on Integrated Design and Process Sciences**, Berlin, 1998.

MIGUEL, P. A. C. Modularity in product development: a literature review towards a research agenda. **Product: Management & Development**, v. 3, n. 2, p. 165-174, 2005.

MIKKOLA, J. H. Modularization Assessment of Product Architecture. **Paper prepared to DRUID Winter Conference 7 to 8 Jan/2000**, Denmark, 23 p., 2000.

MIKKOLA, J. H.; GASSMANN, O. Managing modularity of product architectures: toward an integrated theory. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 50, n. 2, p. 204-218, 2003.

MILLER, T. D.; ELGARD, P. Defining Modules, Modularity and Modularization - Evolution of Concept in a Historical Perspective. **Design for Integration in Manufacturing**, 1998.

NEWCOMB, P. J.; BRAS, B.; ROSEN, D. W., Implications of modularity on product design for the life-cycle. **Proceedings of the 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences - 8th International Conference on Design Theory and Methodology**, Irvine, CA (New York: The American Society of Mechanical Engineers), 1996.

PANDREMENOS, J.; PARALIKAS, J., SALONITIS, G.; CHRYSOLOURIS. Modularity concepts for the automotive industry: A critical review. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**. v. 1, p. 148-152, 2009.

PARNAS, D. L. On the Criteria To Be Used in Decomposing System into Modules. **Carnegie-Mellon University**, v. 15, n. 12, p. 1053-1058, 1972.

PINE II, B.J.; VICTOR, B.; BOYTON, A. C. Making Mass Customization Work. **Harvard Business Review**, September-October, p. 108-119, 1993.

PRODANOV, C. C; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2009.

REIJERS, H.A.; MENDLING, J.; DIJKMAN, R.M. Human and automatic of process models to enhance their comprehension. **Information Systems**, v. 36, p. 881-897, 2011.

RO, Y. K.; LIKER, J. K.; FIXSON, S. K. Modularity as a Strategy for Supply Chain Coordination: The Case of U.S. Auto. **IEEE Transactions on Engineering Management**. v. 54, n. 1, p. 172-189, 2007.

SAKO, M.; MURRAY, F. Modular strategies in cars and computers. Boston: **Massachusetts Institute of Technology**, 1999. Disponível em <<http://www.impvp.mit.edu/papers/99/sako2.pdf>>. Acesso em 15 jul. 2013.

_____. Modules in Design, Production and Use: Implications for the Global Automotive Industry. **A Paper prepared for the International Motor Vehicle Program (IMVP) Annual Sponsors Meeting 5-7 October 1999**, Cambridge Massachusetts, USA, 2000.

SALVADOR, F.; FORZA, C.; RUNGTUSANATHAN, M. Modularity, product variety, production, volume, and component sourcing: theorizing beyond generic prescriptions. **Journal of Operations Management**. v. 20, p. 549-575, 2002.

SCAVARDA, L. F.; REICHHART, A., HAMACHER, S.; HOLWEG, M. Managing product variety in emerging markets. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 30, n. 2, p. 205-224, 2010.

SHAMSUZZOHA, A. H. M. Modular product architecture for productivity enhancement. **Business Process Management Journal**, v. 17, n. 1, p 21-41, 2011.

SHAMSUZZOHA, A. H. M.; KEKÄLE, T.; HELO, P. Towards External Varieties to Internal – Modular Perspective. **International Journal of Business, Economics, Finance and Management Sciences** v. 2, n. 1, p.33-39, 2010.

SMITH, S.; YEN, C. C. Green Product design through product modularization using atomic theory. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**. v. 26, p. 790-798, 2010.

ULRICH, K. T. The role of product architecture in the manufacturing firm. **Research Policy**, v. 24, p. 419-440, 1995.

ULRICH, K. T.; TUNG, K. Fundamentals of product modularity. **Issue in Design/Manufacture Integration - American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division Publication DE**, v. 39, p. 73-79, 1991.