

Uso de um modelo de desenvolvimento dinâmico adaptativo (DDA) como ferramenta para a orientação estratégica em organizações do setor aeroespacial

DINAH ELUZE SALES LEITE
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MILTON DE FREITAS CHAGAS JUNIOR

USO DE UM MODELO DE DESENVOLVIMENTO DINÂMICO ADAPTATIVO (DDA) COMO FERRAMENTA PARA A ORIENTAÇÃO ESTRATÉGICA EM ORGANIZAÇÕES DO SETOR AEROESPACIAL

1. INTRODUÇÃO

As dinâmicas estratégicas em organizações do setor aeroespacial envolvem grandes incertezas. Essas organizações realizam múltiplos investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D), mas têm dificuldades em prever retornos, econômicos e científicos. A estratégia tecnológica, fortemente relacionada ao retorno dos investimentos, podem impactar o crescimento e a sustentabilidade das organizações.

As pesquisas relacionadas aos fatores estratégicos envolvem a visão baseada em recursos (Wernerfelt, 1984), e a compreensão do sucesso dos investimentos, do crescimento e da perpetuidade da organização. Prahalad e Hamel (1990), ao abordarem as competências como elementos centrais de uma estratégia organizacional, contribuíram com o conceito de competências essenciais. A literatura inclui as estratégias baseadas em recursos, que ganharam destaque nos trabalhos de Penrose (1959) em "The theory of the growth of the firm", Wernerfelt (1984), em "A Resource-based View of the Firm", Grant (1991), em "The Resource-Based Theory of Competitive Advantage", e Barney (1991), em "Firm resources and sustained competitive advantage".

Mais tarde, com a evolução das pesquisas econômica e administrativa, o conceito de capacidades dinâmicas foi destacado no trabalho de Teece e Pisano (1994), em "The dynamic capabilities of firms: an introduction", e Teece, Pisano e Shuen (1997), em "Dynamic capabilities and strategic management". Esta abordagem continuou a ser atualizada, devido à importância da adaptabilidade das organizações em ambientes de grandes transformações (Teece, 2007, Augier & Teece, 2008, Teece, Peteraf, & Leih, 2016, Pisano, 2016, Teece, 2018).

O artigo explora as características da tomada de decisão em sistemas complexos, expandindo o conceito de "generative sensing" para "generative sensing and seizing". Essa evolução inclui o planejamento de cenários associado às métricas de TRL (Technology Readiness Level). Busca-se, por meio desse estudo, uma maneira de lidar com a incerteza, aumentando o grau de confiança dos tomadores de decisão para o desenvolvimento de uma estratégia tecnológica.

Para viabilizar a contribuição e ampliar o conhecimento sobre o desenvolvimento da estratégia tecnológica, propõe-se um modelo de desenvolvimento dinâmico adaptativo (DDA). O modelo permite que os tomadores de decisão lidem com a incerteza através de uma estratégia mais flexível, melhorando os padrões de investimento das organizações em tecnologias e capacidades dinâmicas.

2. PROBLEMA DA PESQUISA E OBJETIVOS

Problemas relacionados à falta de flexibilidade são bastante comuns, mesmo em condições competitivas impactadas por mudanças exógenas. Neste caso, a sustentabilidade das organizações por meio de uma competitividade estável está se tornando cada vez mais difícil.

Frente às dificuldades de mudar as posturas estratégicas em relação à competitividade global e às mudanças imprevisíveis do mercado, os tomadores de decisão perceberam a necessidade de combater a rigidez da estratégia corporativa. A flexibilidade estratégica e, portanto, a adaptação às mudanças dos requisitos de sucesso, para manutenção do posicionamento da indústria no mercado, passou a ser um motivo de preocupação.

O artigo tem o objetivo de explorar as condições de incerteza e flexibilidade no desenvolvimento da estratégia tecnológica, que pode influenciar um portfólio de tecnologias em horizonte de longo prazo na indústria aeroespacial. O objetivo específico contempla o detalhamento de um método de desenvolvimento dinâmico adaptativo para agilizar a definição estratégica de organizações intensivas em tecnologias.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Capacidades dinâmicas, incertezas e tomadas de decisões

As capacidades dinâmicas fundamentam o desenvolvimento estratégico das organizações (Teece & Pisano, 1994, Teece, Pisano, & Shuen, 1997, Teece, 2007) assegurando a agilidade necessária para lidar com incerteza (Teece, Peteraf, & Leih, 2016). Estas capacidades constituem uma abordagem estratégica que explica como as organizações se adaptam e reconfiguram suas capacidades dinâmicas e operacionais para responderem e se anteciparem às mudanças (Teece, Peteraf, & Leih, 2016), aproveitando as oportunidades e mantendo a vantagem competitiva em um mercado caracterizado por contínuas flutuações (Eisenhardt & Martin, 2000).

O segredo da vantagem competitiva de algumas organizações de sucesso reside em uma estratégia que favorece a captura de oportunidades, nas quais o tomador de decisão explora mercados complexos, avalia oportunidades, cria e testa hipóteses e muda as decisões de acordo com as circunstâncias, dando flexibilidade ao processo (Eisenhardt & Sull, 2001, Dong, Garbuio, & Lovallo, 2016).

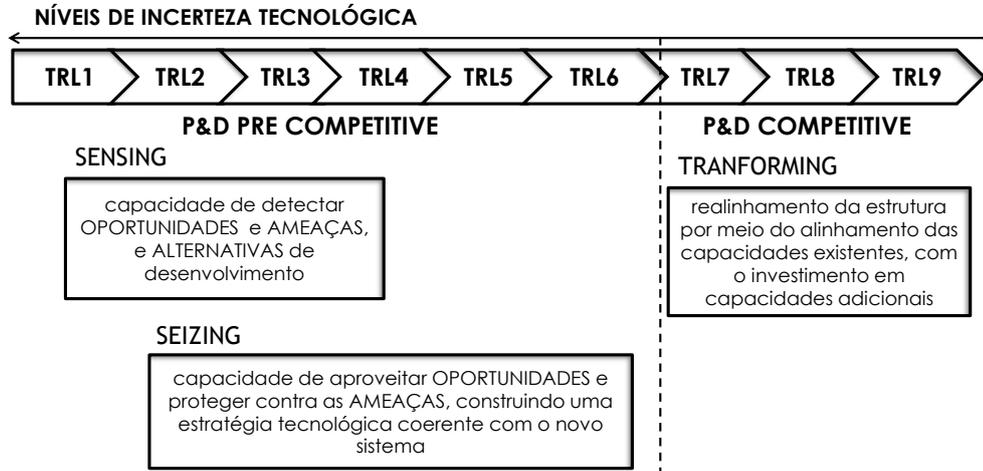
As capacidades dinâmicas podem ser observadas em ambientes de alta tecnologia nos quais a busca por informações suporta rápidas mudanças. Estas condições exigem que as organizações desenvolvam mecanismos dinâmicos para assegurarem vantagem competitiva e crescimento econômico. O artigo detalha esse ambiente onde as decisões precisam ser tomadas, com ou sem informações suficientes.

Teece (2007) dividiu as capacidades dinâmicas em três elementos principais: “sensing”, “seizing” e “transforming”. Este estudo considera o “sensing” - capacidade de detectar oportunidades e ameaças, e o “seizing” - capacidade de aproveitar as oportunidades e proteger contra as ameaças do mercado. Esta estrutura, que deriva da visão baseada em recursos (Penrose, 1959) explica como as organizações moldam e reconfiguram seus recursos para manterem vantagem competitiva.

A combinação das capacidades dinâmicas gera não apenas uma estratégia tecnológica, mas um modelo de negócios, permitindo a transformação organizacional (Figura 1). Esse modelo pode trazer vantagens para a organização, detectando alternativas de desenvolvimento (“sensing”) e a capacidade de se construir uma estratégia tecnológica coerente com o novo sistema (“seizing”). Em sistemas complexos de organizações de base tecnológica, o

desenvolvimento de algumas tecnologias precisa avançar, portanto, a estratégia tecnológica precisa ser independente do programa.

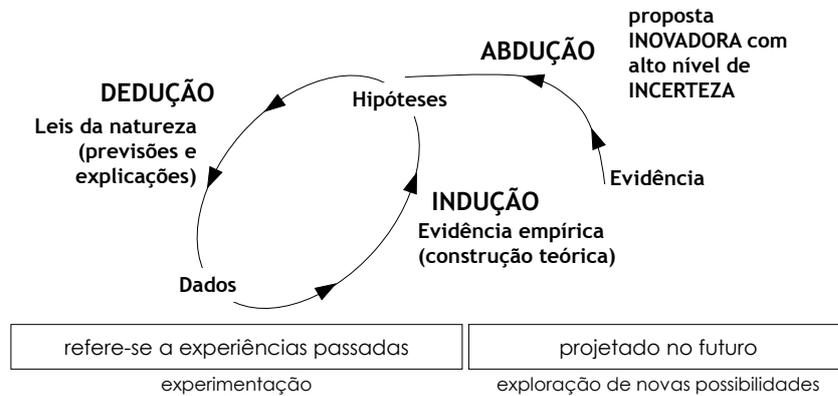
Figura 1 - TRL e Capacidades Dinâmicas



3.2. Dedução, Indução e Abdução

O estudo considera uma forte combinação das lógicas indutiva e abdutiva, para lidar com a incerteza no ambiente de P&D (Figura 2). Esses fatores são essenciais para a melhor compreensão dos processos de tomada de decisões a partir de evidências empíricas.

Figura 2 - Dedução, Indução e Abdução (baseado nos conceitos de Peirce, 1998)



Métodos quantitativos sempre foram aplicados em ambientes de P&D, daí a importância das ideias filosóficas de Peirce, desenvolvidas no período de 1839 a 1914. Peirce (1974) mencionou os três tipos de raciocínio científico em “Lessons of the History of Science”. A dedução é definida como o raciocínio que avalia o estado das coisas a partir das premissas (CP 1.66, 1898), a indução é descrita como o raciocínio que resulta da inferência e que leva à verdade em longo prazo (CP 1.67, 1898), e a abdução representa um processo de inferência usado para explicar evidências, explorar dados, identificar padrões, sugerir hipóteses e permitir novas descobertas (CP 1.68, 1898).

Peirce (1998) definiu a abdução como um raciocínio construído a partir de um estado futuro desconhecido. Os raciocínios dedutivo e indutivo não geram ideias, cuja origem está na

abdução (CP 5.145, 1903). O uso do raciocínio abduativo (Peirce, 1974) na metodologia “Design Science” (DS) pode melhorar a capacidade de desenvolver novas e diferentes soluções (Hevner, March, Park, & Ram, 2004). Essa solução, que pode passar por múltiplas hipóteses, é utilizada para desenvolver, testar e implementar um artefato, representado pelo modelo proposto (ver capítulo 5.2.).

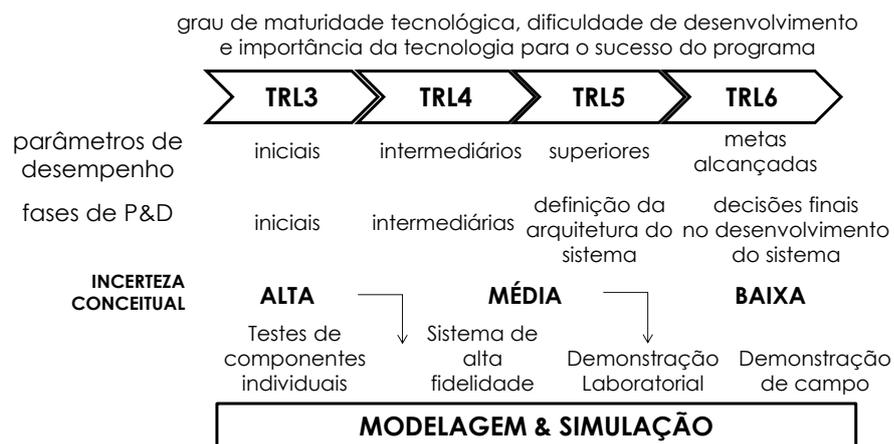
3.3. Nível de Maturidade Tecnológica (“Technology Readiness Level” – TRL)

Os custos associados ao nível 1 de TRL podem variar de uma pequena fração da aplicação da tecnologia a um valor superior ao próprio sistema. No TRL 2 os custos representam uma pequena fração da tecnologia no sistema. Nos níveis 3 e 4, os custos costumam ser baixos a moderados. No nível 5 os custos geralmente são moderados a altos. Para o TRL 6, os custos são elevados e incluem demonstradores tecnológicos (Mankins, 2009a).

O gerenciamento dos investimentos em tecnologia é fundamental para o sucesso dos projetos e programas e se baseiam em argumentos de que podem reduzir as incertezas relacionadas a desempenho, tempo e custo (Mankins, 2009b). Se a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico tiverem implementação antecipada, os sistemas compostos por essas tecnologias podem resultar em custos excessivos, atrasos e a erosão dos objetivos iniciais de desempenho.

O modelo TRRA (“Technology Readiness and Risk Assessment”) inclui desenvolvimento tecnológico e os elementos de análise de risco em cada nível de TRL (Mankins, 2009b, Azizian, Sarkani, & Mazzuchi, 2009). O modelo consolida TRL, Grau de Dificuldade em P&D (P&D3), e Valor da Necessidade Tecnológica (TNV), que avalia a importância do desenvolvimento de uma tecnologia para o sucesso do programa.

Figura 3 – Modelo TRRA (adaptado de Mankins, 2009)



Os investimentos em P&D podem melhorar os parâmetros de desempenho, as aplicações do sistema e a redução de riscos para as atividades subsequentes, neste estudo abordados como incertezas. O mais crítico da tomada de decisão é avaliar se as tecnologias necessárias para o sistema atingiram coletivamente o ponto de maturidade, risco, incerteza e desempenho necessários para continuar o desenvolvimento do sistema (Figura 3), que pode impactar o sucesso ou o fracasso dos programas (Mankins, 2009b). O sucesso de um programa de longo prazo depende de metodologias que contribuam para a identificação de necessidades e oportunidades em desenvolvimentos futuros (Mankins, 2002).

3.4. Planejamento de Cenários

O planejamento de cenários constitui uma metodologia essencial para a análise prospectiva, permitindo o estudo de futuros possíveis e desejáveis e a estruturação da trajetória entre as situações presente e futura (Godet, 1983). Trata-se de um método de predição voltado para o futuro (Schwartz, 2008), que permite o uso sistemático de “insights” na análise dos impactos das incertezas (Van der Heijden, Bradfield, Burt, Cairns, & Wright, 2002).

A relevância do planejamento de cenários está na construção de futuros plausíveis e geração de estratégias que possam contribuir para a captura de oportunidades, proteção contra as ameaças e minimização das incertezas (Ramírez & Selin, 2014). Desta forma, o desenvolvimento de cenários pode facilitar a exploração de situações futuras (Schoemaker, 1995), como ferramenta de apoio ao processo decisório (Schwartz, 1991).

Van der Heijden (2005) inclui a incerteza como elemento central de um planejamento estratégico eficaz, fundamentado nas mudanças do ambiente organizacional. O planejamento de cenários está além do desenvolvimento estratégico e inclui antecipação, “sensemaking” e aprendizado organizacional. De acordo com Courtney, Kirkland e Viguerie (1997), as organizações devem desenvolver de cenários futuros para se adaptarem às incertezas.

Para lidar com as incertezas, Kwakkel e Pruit (2013) se baseiam na exploração de futuros plausíveis, estabelecendo a relação da modelagem exploratória com o planejamento de cenários para apoiar a tomada de decisão sob incerteza. As análises futuro têm impacto no planejamento de longo prazo e estimulam o tomador de decisão a agir de maneira diferente de suas referências passadas, ou permanecer no universo da especulação (Wack, 1985).

4. METODOLOGIA

O método definido para este estudo de casos múltiplos é a abordagem “Design Science”. Através do desenvolvimento e da aplicação de um artefato, busca-se gerar conhecimento científico sobre a seleção de tecnologias em organizações da indústria aeroespacial.

4.1. Estudo de casos

Os estudos de caso fragmentam os casos em múltiplas dimensões, permitindo o reconhecimento de padrões e relações entre eles (Eisenhardt, 1989), incluindo desafios que podem ser mitigados através de projetos de pesquisa bem estruturados (Eisenhardt & Graebner, 2007). Os benefícios do estudo de casos múltiplos incluem a melhor compreensão dos eventos, testes da teoria existente e o desenvolvimento de uma nova abordagem. A seleção dos casos é extremamente importante para o desenvolvimento de uma teoria emergente (Eisenhardt, 1989).

4.2. “Design Science” - DS

Segundo De Sordi, Azevedo, Meirelles e Campanario (2013), a abordagem DS teve início na década de sessenta, 1963, com os trabalhos de Fuller e McHale. Em 1968, com “The Sciences of the Artificial”, a metodologia foi amplamente divulgada (Simon, 1996). Simon definiu a solução de problemas pela ciência do artificial e destacou que os artefatos construídos a partir das técnicas de pesquisa científica, são essenciais para a tomada de decisão.

Hevner, March, Park e Ram (2004) definiram a abordagem “Design Science” como uma ciência inerente ao processo de resolução de problemas, no qual o princípio fundamental, de onde derivam sete diretrizes, contempla a compreensão de um problema e sua solução, a partir da construção e aplicação de um artefato. As diretrizes são:

- **Diretriz 1:** Projeto de um artefato - a pesquisa em DS exige a criação de um artefato inovador e útil.
- **Diretriz 2:** Relevância do problema - a pesquisa deve ser direcionada para um domínio de problema.
- **Diretriz 3:** Avaliação do artefato - a completa avaliação do artefato é de suma importância para a pesquisa, considerando-se que o artefato se relaciona a um problema específico.
- **Diretriz 4:** Contribuições da pesquisa - o artefato deve ser inovador, resolver um problema ainda não resolvido, ou um problema conhecido de maneira mais eficaz.
- **Diretriz 5:** Rigor da pesquisa - o artefato deve ser rigorosamente definido, formalmente representado, coerente e internamente consistente.
- **Diretriz 6:** Design como um processo de pesquisa - o artefato e o seu processo de criação incluem um processo de busca que constitui um espaço sobre o qual se constrói um problema e se implementa uma solução.
- **Diretriz 7:** Comunicação da pesquisa - os resultados da pesquisa em DS devem ser comunicados de forma eficaz, tanto para o público técnico como gerencial.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E MODELO PROPOSTO

5.1. Detalhamento do Estudo de Casos

O estudo de casos representa uma oportunidade para aplicar e analisar os benefícios do modelo proposto e para melhorar a compreensão da influência das incertezas nos processos de tomada de decisão.

Dois casos foram detalhados na Embraer, empresa brasileira do setor aeroespacial. Para melhorar a compreensão dos aspectos relevantes na definição de portfólios tecnológicos, a estratégia para o desenvolvimento de tecnologias de projetos no setor aeroespacial foi detalhada por meio de pesquisas e entrevistas. Foram analisados os projetos “Fly-by-wire” (FBW) - retrospectivo, e “Sky” (carros voadores) – prospectivo, quanto às incertezas, propriedades emergentes e capacidades dinâmicas.

5.1.1. Incertezas e Propriedades Emergentes

A análise das incertezas e propriedades emergentes busca explorar: a influência das incertezas no processo de tomada de decisão relacionado à base tecnológica da organização, os critérios de decisão considerados na evolução dos domínios tecnológicos (domínio de integração para domínio proprietário) e impactos das decisões sobre a organização, e ainda como as propriedades emergentes das tecnologias influenciaram a aprendizagem organizacional.

“Fly-by-wire” (FBW)

O FBW é um sistema que controla as superfícies de comando de voo por meio de software embarcado (Spitzer, 2011). Segundo Niedermeier e Lambregts (2012), a substituição dos

controles mecânicos por conexões elétricas pela Airbus no final da década de 1980, tornou o uso do FBW essencial para as fabricantes de aeronaves. Neste contexto, a tecnologia se tornou um fator chave para a primeira geração da família EMBRAER 170/190 (E1). A organização aceitou os riscos e incertezas quando decidiu incluir o FBW sem ter controle total sobre a tecnologia. A Embraer dominava o comportamento dinâmico da aeronave (TRL 5/6), mas não tinha a prontidão necessária para o desenvolvimento do FBW. Para garantir sua competitividade, decidiu transformar o domínio de integração da tecnologia em domínio proprietário (Chagas Jr., Leite, & Jesus, 2016).

As incertezas tiveram um grande impacto nos processos de tomada de decisão. No desenvolvimento do FBW, um fator que influenciou a evolução do domínio de integração para domínio proprietário foi a experiência no desenvolvimento de produtos, em que o domínio de integração comprometeu a finalização do programa. A falta de conhecimento deixou a organização inteiramente dependente do fornecedor, que encontrou dificuldades técnicas na complexidade do sistema, comprometendo os prazos do programa. Este fato impediu o monitoramento adequado do desenvolvimento, dificultando a definição de soluções tecnológicas. Outro ponto relevante se refere à oportunidade de verticalizar o desenvolvimento da tecnologia, considerando as altas margens de retorno do investimento. O domínio proprietário aumentou o valor agregado do produto, reduziu o ciclo de desenvolvimento, proporcionou maior controle do ciclo de desenvolvimento, reduziu a dependência de fornecedores e permitiu a definição das melhorias tecnológicas a serem implementadas, favorecendo a retenção da propriedade intelectual.

As propriedades emergentes do sistema eram previsíveis, mitigando fatores negativos e potencializando os positivos. A aprendizagem organizacional evoluiu significativamente devido à formação de um grupo de especialistas e a base de conhecimento interna. Esses fatores aumentaram o poder de decisão interna, diminuíram a dependência dos fornecedores, introduziram melhorias nos processos, elevaram o nível de competitividade dos produtos e estabeleceram uma base tecnológica própria.

Os principais benefícios desta decisão foram independência tecnológica, processos mais robustos e maior qualidade do produto. Esses resultados também foram positivos para a maturidade da segunda geração de aeronaves Embraer 170/190 (E2) e KC390, incentivando a organização a expandir a iniciativa para um número maior de sistemas.

Quando a Embraer decidiu aderir ao sistema FBW, a intenção era obter domínio no desenvolvimento do sistema de comando de voo no nível de software. No nível do sistema, haveria aprendizado de todas as funções desse tipo, como controle de três eixos e proteção de envelope de voo - aprovados de acordo com a norma SAE ARP-4754 (1996). No nível de software, a missão era ser capaz de desenvolver um software crítico de nível A pela norma RTCA DO-178B (1992). A decisão pelo software embarcado e integração de sistemas foi estratégica, e o desenvolvimento do software a partir da modelagem da arquitetura e componentes do sistema FBW evitou muitas negociações com fornecedores de sistemas, conferindo à organização autonomia e rapidez no ciclo de desenvolvimento.

O sistema de controle de voo é crítico por estar relacionado a aspectos de segurança, desempenho e eficiência da aeronave. É importante destacar a preservação da propriedade intelectual sobre as leis de controle, autonomia de decisão sobre mudanças, menores custos e ciclos de desenvolvimento, maior qualidade de software e integração de sistemas. A atividade

de pesquisa começou sob demanda e após atingir a maturidade, passou a ter autonomia e gerar soluções para a área do programa.

Projeto “Sky” – Carro Voador

O comprometimento da infraestrutura de mobilidade urbana com o crescimento da população nos últimos anos está transformando os carros voadores em realidade. E as fabricantes de aeronaves perceberam uma grande oportunidade nessa tendência, tanto no modelo de negócios quanto no desenvolvimento e aceleração de novas tecnologias.

A busca por soluções que combinam o melhor do transporte terrestre com o transporte aéreo é um desafio. Uma solução possível é criar um sistema que busque superar os custos associados aos sistemas de transporte convencionais. As vantagens estão em minimizar o uso de infraestruturas rodoviárias, a liberdade pessoal de voar e a otimização do tráfego (Bülthoff, 2017, Ben- Haim , Ben- Haim, & Shifan , 2018).

Os carros voadores estão exigindo desenvolvimentos acelerados em um ambiente de incertezas comerciais e tecnológicas significativas que exigem decisões precoces, impactando os processos de tomada de decisão. Devido à demanda do mercado, a organização busca um modelo viável no desenvolvimento do carro voador, que envolve tecnologias maduras e tecnologias críticas de baixa maturidade, como sistemas autônomos e baterias elétricas. O tempo para amadurecimento e integração das tecnologias também é um fator de incerteza e requer múltiplas parcerias estratégicas.

Os ciclos de desenvolvimento tecnológico e de produtos são acelerados, e toda a cadeia precisa andar no mesmo ritmo. Desta forma, a Embraer não possui controle sobre esses ciclos e depende de conhecimento crítico dos parceiros para decisões importantes em relação às definições do portfólio de tecnologias.

As propriedades emergentes incluem flexibilidade de modelo, produto e negócio. Ao tornar o modelo mais flexível, o sistema pode gerar soluções alternativas. Essas propriedades, que impactaram significativamente os processos de desenvolvimento tecnológico da Embraer, envolvem a capacidade de capturar as propriedades no mercado e na sociedade, a capacidade de distinguir as propriedades críticas e a velocidade de reação da organização.

Os principais benefícios desse desenvolvimento conjunto contemplam o rápido amadurecimento de tecnologias críticas. O conhecimento precisa se adaptar ao novo mercado e às informações dos usuários, estreitando as fronteiras entre os tomadores de decisões que podem se beneficiar das informações compartilhadas nesse consórcio de desenvolvimento.

As principais características estão no novo modelo de transporte e negócios como um todo, não apenas no desenvolvimento de tecnologias. O projeto do carro voador segue uma tendência de mercado e a medição do sistema contempla ganhos tecnológicos, como autonomia e características associadas.

5.1.2. Mapa de escolhas críticas para capacitação

Esses casos também foram analisados em relação aos quadrantes definidos por Pisano (2016) em relação ao mapa das escolhas críticas para o desenvolvimento de capacidades (Figura 4).

Figura 4 - Mapa das escolhas críticas para capacitação (adaptado de Pisano, 2016)



As estratégias tecnológicas, com diferentes graus de incerteza, podem exigir investimentos em combinações específicas de capacidades e investimentos. Os casos analisados mostraram que a evolução das capacidades não foi aleatória e apenas uma parte dessa composição evoluiu naturalmente, devido a um processo histórico de desenvolvimento da organização.

Fortalecimento da aplicação – Caso FBW

A Embraer, durante o desenvolvimento do E1, era capaz de integrar os sistemas FBW, mas não o seu crescimento vertical, que exigia o desenvolvimento de ferramentas internas específicas. Neste caso, o aprofundamento das capacidades está relacionado ao processo de melhoria do produto e as capacidades de ampliação às demandas do mercado por inovação. Para comandos de voo e tecnologias de certificação de produtos aeronáuticos, os recursos devem ser específicos, mas, para software embarcado, de propósito geral.

A concorrência na indústria tem impulsionado o desenvolvimento de capacidades para atender um objetivo claro, definindo uma distribuição de recursos equilibrada com tendência ao aprofundamento das capacidades em mercado específico. No entanto, uma análise estratégica mais relevante trouxe maior compreensão de como a nova capacidade alavancaria a competência tecnológica para o desenvolvimento do novo produto.

Além da viabilidade econômica, considerou-se a redução de riscos, melhoria dos ciclos de desenvolvimento e proteção da propriedade intelectual. A viabilidade econômica foi apenas uma segunda variável na equação de decisão, com foco na redução de custos associada à falta de maturidade dos sistemas que dependiam de fornecedores. Os sistemas eram seguros, mas imaturos, o que poderia levar a problemas operacionais.

A Embraer percebeu a necessidade de revisar a estratégia em relação às suas capacidades com base no risco que um fabricante de aeronaves assume com sistemas críticos e complexos, destacando a importância do domínio proprietário. Sem essa mudança estratégica, a organização dependeria de fornecedores, comprometeria a propriedade intelectual e teria o custo de não-maturidade de fornecedores de sistemas críticos.

Expansão de Domínio - Projeto “Sky”

No projeto Sky, as incertezas ainda são extremas, tanto do lado do cliente quanto da organização, que investiu no aumento das capacidades de propósito geral e estabeleceu as

parcerias necessárias para capacidades específicas. Essa combinação estratégica está fortemente associada ao tempo necessário de amadurecimento da tecnologia e do programa.

A ampliação da capacidade considera o carro voador como um veículo diferente de uma aeronave convencional, definindo a busca pela ampliação da capacidade de propósito geral, por poder ser usada em outros desenvolvimentos. A Embraer possui o domínio proprietário de tecnologias aeronáuticas, mas deve participar do desenvolvimento de tecnologias ainda imaturas. Esse modelo estratégico que considera a combinação de diferentes capacidades visa acelerar o desenvolvimento de tecnologias de baixa maturidade para integração em um sistema de mobilidade igualmente imaturo, mas com estimativa de tempo de lançamento já definida.

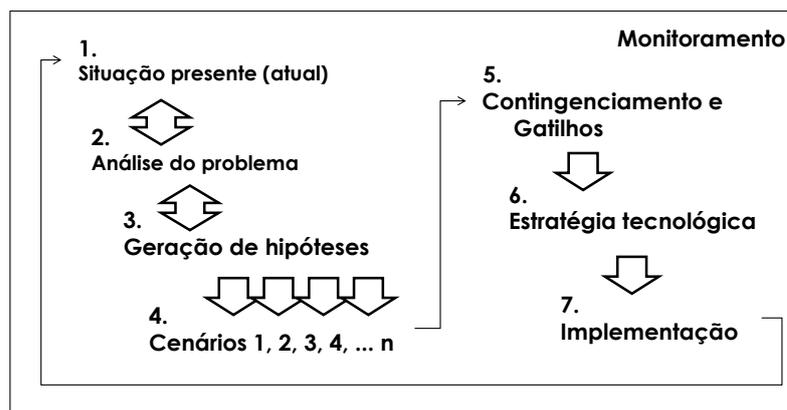
O projeto “Sky” representa muito mais que um produto, mas um sistema altamente complexo, inovador, regulado e intensivo em tecnologias críticas e imaturas. O projeto está inserido em um ambiente competitivo e de incertezas. O projeto inclui a ampliação das capacidades de propósito geral (expansão do domínio), que moldam as futuras opções de entrada em novos mercados, embora seja difícil prever o lado da demanda.

5.2. Modelo de Desenvolvimento Dinâmico Adaptativo (DDA) para estratégias tecnológicas no setor aeroespacial (Artefato)

O mercado atual, caracterizado por múltiplas incertezas e mudanças exige mais agilidade das organizações. Desta maneira, a busca pelo melhor desempenho no modelo de respostas e definições estratégicas pode impactar a flexibilidade das organizações, por estarem diretamente relacionadas ao comportamento de seus tomadores de decisão.

À medida que o futuro evolui, os tomadores de decisão procuram responder às novas situações adaptando seus planos à nova realidade (McInerney, Lempert, & Keller, 2012). Essa adaptação de um projeto ao longo do tempo não deve ser determinada apenas pelo que é conhecido, mas pela construção de um conhecimento. A partir dessa situação, Hallegatte, Shah, Lempert, Brown e Gill (2012) abordam o conceito de incerteza, que demanda planos adaptativos e dinâmicos. Esses planos envolvem ações de curto prazo, ao mesmo tempo em que estabelecem uma estrutura para o direcionamento de atividades futuras (Albrechts, 2004). Segundo Haasnoot, Kwakkel, Walker e Ter Maat (2013), o tomador de decisão deve criar uma visão estratégica de futuro, mantendo seu compromisso com as ações de curto prazo. Um modelo que incorpora esses fatores permite uma adaptação dinâmica ao longo do tempo.

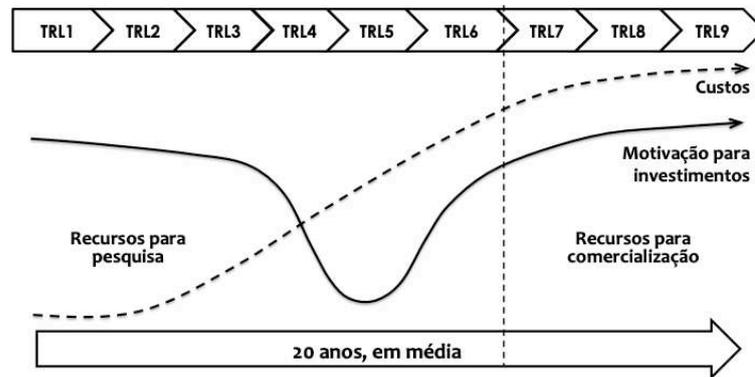
Figura 5 - Modelo de desenvolvimento dinâmico adaptativo (DDA)



O modelo é baseado no cenário que caracteriza as organizações do setor aeroespacial. Cada vez mais, as soluções para problemas complexos dependem da capacidade da organização de combinar suas visões estratégicas (futuras) com ações de curto prazo, bem como a tomada de decisão sob incerteza. Esses fatores exigem modelos dinâmicos que respondam rapidamente às mudanças impostas pelo mercado e às necessidades identificadas. Busca-se, com o modelo DDA, melhorar o desempenho das organizações em relação às suas estratégias tecnológicas (Figura 5).

A etapa 1 contempla a análise da situação atual, interna e externa à organização, que inclui as principais expectativas, tendências e incertezas. A etapa 2 se concentra na análise de problemas, oportunidades e vulnerabilidades das tecnologias, produtos, negócios e regulamentações. Nesta fase, os níveis de TRL devem ser considerados pela forte influência nas definições estratégicas, especialmente em termos do tempo necessário para o desenvolvimento da tecnologia aeroespacial e investimentos (Figura 6).

Figura 6 - Custo e Motivação para Investimento em Desenvolvimento Tecnológico



O custo do desenvolvimento de tecnologia cresce continuamente, mas o comportamento da motivação do investimento é diferente. Por um lado, o interesse em pesquisa e do outro lado, mercado, a motivação para o desenvolvimento de produtos. Entre esses extremos, há um período crítico de transição em que muitos eventos são interrompidos pela falta de recursos para o desenvolvimento da tecnologia até o estágio em que as organizações podem explorar seu potencial comercial. A redução desse período de transição, possível por meio da melhor integração entre as estratégias “technology push” e “demand pull”, pode melhorar a taxa de sucesso de tecnologias que atendem às necessidades do mercado.

Figura 7 - Construção de cenários e Geração de Hipóteses



O objetivo da etapa 3 é a geração de hipóteses, com diferentes perspectivas. Nesse ponto, o conceito do sistema começa a ser definido, mesmo sem informações suficientes. E na etapa 4,

a construção do cenário permite uma exploração sistêmica de alternativas futuras. As etapas 3 e 4 estão representadas na Figura 7.

Na etapa 5, a informação a ser monitorada deve ser definida por incluir os fatores que dinamizam o modelo. A etapa 6 define a estratégia tecnológica com base nos resultados das ações anteriores, com o desafio de manter as opções abertas durante a maior parte do tempo. Na etapa 7, as ações estratégicas são implementadas e priorizadas nos horizontes de curto, médio e longo prazo, permitindo definir o que manter, o que atrasar e o que descontinuar.

Ao longo da aplicação do modelo, as informações devem ser monitoradas, analisadas e relacionadas aos gatilhos. Assim, as ações estratégicas são iniciadas, alteradas, interrompidas ou expandidas em resposta aos dados, aumentando a flexibilidade do sistema.

5.2.1. Verificação do Atendimento das Diretrizes do “Design Science”

Este capítulo detalha o atendimento às diretrizes do “Design Science” para o artefato, segundo Hevner, March, Park e Ram (2004).

- **Diretriz 1:** Neste estudo, o artefato corresponde ao modelo de desenvolvimento dinâmico adaptativo para a estratégia tecnológica no setor aeroespacial.
- **Diretriz 2:** A seleção de tecnologias contempla os critérios a serem considerados no desenvolvimento das tecnologias e produtos conceito em longo prazo, capacitação de fornecedores e formação de capacidades dinâmicas. Estes fatores, contemplados no artefato proposto, buscam melhorar geração de oportunidades e a capacidade de tomada de decisões.
- **Diretriz 3:** A avaliação do artefato inclui uma visão prospectiva no setor aeroespacial, com elementos que buscam assegurar flexibilidade e dinamismo à seleção de tecnologias.
- **Diretriz 4:** O artefato ajuda os tomadores de decisões a desenvolverem estratégias de adaptação para a seleção de tecnologias no setor aeroespacial, considerando oportunidades, ameaças e opções de desenvolvimento identificadas. As estratégias devem ser flexíveis para se adaptarem às condições de incertezas.
- **Diretriz 5:** O artefato proposto resulta da evolução de modelos adaptativos por meio da análise de estudos de casos reais em projetos retrospectivo e prospectivo no setor aeroespacial.
- **Diretriz 6:** O desenvolvimento das pesquisas incluem análise de dados, pesquisa e entrevistas, para melhor compreensão dos casos selecionados.
- **Diretriz 7:** Resultados parciais deste estudo foram apresentados em evento internacional e estão sendo submetidos em eventos nacionais.

6. CONCLUSÃO

O artigo busca melhorar o nível de confiança dos processos de tomada de decisão em organizações do setor aeroespacial, por meio da expansão do conceito “generative sensing” para “generative sensing and seizing”, que inclui o planejamento de cenário associado às métricas de TRL. Esta abordagem pode melhorar as decisões em condições de incerteza para o desenvolvimento de estratégia tecnológica na indústria aeroespacial.

Em condições de incerteza, os tomadores de decisão buscam conectar a estratégia tecnológica com a agilidade organizacional. Grandes oportunidades podem surgir em ambientes incertos, exigindo mudanças organizacionais rápidas - os benefícios da agilidade estratégica aumentam com o nível de incerteza inerente aos ambientes de P&D e com a flexibilidade necessária. Nesse ambiente, as transformações tecnológicas são contínuas, exigindo estratégias mais dinâmicas e flexíveis.

As capacidades dinâmicas favorecem as decisões estratégicas sob incerteza, de modo que o uso da lógica abdutiva, a geração de hipóteses e a construção de cenários devem ser mais frequentes à medida que o nível de incerteza aumenta.

O modelo DDA busca dar agilidade e flexibilidade ao desenvolvimento de estratégias tecnológicas de organizações aeroespaciais. A proposta, desenvolvida através de estudo de casos, busca melhorar a tomada de decisões em condições de incertezas migrando as capacidades cognitivas individuais para coletiva. O modelo está ancorado em cenários prospectivos e na lógica abdutiva para o desenvolvimento de futuros alternativos, apoiando a tomada de decisão quanto ao desenvolvimento de estratégias tecnológicas e investimento em capacidades dinâmicas.

O modelo DDA envolve a coleta de informações, modelagem e simulação, incluindo o monitoramento que permeia todo o processo. A primeira parte permite ao tomador de decisão entender o ambiente e definir os fatores de atenção ou mudanças estratégicas. Na segunda parte, o entendimento das múltiplas dimensões do ambiente (hipóteses) é estruturado com o desenvolvimento de cenários, que permitem a modelagem e simulação de informações, melhorando o nível de confiança da tomada de decisão em condições de incerteza. Na última parte do modelo, o monitoramento contínuo das informações favorece a detecção de condições críticas que podem indicar potenciais fatores de mudança. Esses fatores podem influenciar o balanceamento entre o “program pull” com o “technology push”.

A integração efetiva da estratégia de tecnologia com a combinação de investimentos em capacidades dinâmicas é um aspecto essencial do modelo DDA, assegurando uma abordagem mais robusta. Em cada uma das etapas do processo, existem métodos e ferramentas capazes de proporcionar a integração de informações, que desenvolvem um entendimento cognitivo baseado em evidências, melhorando a capacidade de tomada de decisão.

O modelo proposto tem grande influência na flexibilidade do desenvolvimento estratégico, promovendo a aprendizagem, permitindo a detecção de problemas emergentes e criando soluções adaptativas. Desta forma, os tomadores de decisão podem lidar com diferentes níveis de incerteza, desenvolvendo estratégias que respondam rapidamente às mudanças. Daí a importância de repetir o processo ao longo da evolução do nível de maturidade tecnológica.

A flexibilidade estratégica é um diferencial para as organizações, especialmente em ambientes de incertezas. Através dos casos explorados, buscou-se detalhar as consequências das decisões sobre o desenvolvimento, a natureza e o domínio tecnológico na definição das rotas tecnológicas e fatores associados à estratégia organizacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albrechts, L. (2004). Strategic (spatial) planning reexamined. *Environment and Planning B*, 31 (5), 743 – 758.

Augier, M., & Teece, D. J. (2008). Strategy as Evolution with Design: The Foundations of Dynamic Capabilities and the Role of Managers in the Economic System. *Organization Studies*, 29 (8–9), 1187–1208.

Azizian, N., Sarkani, S., & Mazzuchi, T. (2009) A comprehensive review and analysis of maturity assessment approaches for improved decision support to achieve efficient defense acquisition. In *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, 2, San Francisco, CA.

Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99-120.

Ben-Haim R., Ben-Haim G. & Shiftan Y. (2018). Penetration and impact of advanced car technologies. *MOJ Civil Eng.*, 4 (4), 175–184.

Bülthoff, H. (2017). Flying Air Taxis: the next big game changer? Talk presented at Universität Ulm: Colloquium Cognitive Systems. Ulm, Germany.

Chagas Junior, M. F., Leite, D. E. S., & Jesus, G. T. (2017). ‘Coupled processes’ as dynamic capabilities in systems integration. *Revista de Administração de Empresas*, 57 (3), 245-257.

Courtney, H., Kirkland, J. & Viguerie, P. (1997). Strategy Under Uncertainty. *Harvard Business Review*, 67-79.

De Sordi, J. O., Azevedo, M. C., Meireles, M. A., Campanario, M. A. (2013). A Abordagem Design Science no Brasil segundo as publicações em administração da informação. In: Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração (EnANPAD), 2013, Rio de Janeiro. XXXVII Encontro da ANPAD, 1, 1-16.

Dong, A., Garbuio, M., & Lovallo, D. (2016). Generative sensing: a design perspective micro-foundations of sensing capabilities. *California Management Review*, 58 (4), 97-117.

Eisenhardt, K. M., & Sull, D. (2001). Strategy as simple rules. *Harvard Business Review*, 79 (1), 106-119.

Eisenhardt, K. M., Graebner, M. E. (2007). Theory building from cases: opportunities and challenges. *Academy of Management Journal*, 50 (1), 25-32.

Eisenhardt, K. M., & Martin, J. A. (2000) Dynamic capabilities: what are they? *Strategic Management Journal*, 21, 1105–1121.

Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of Management Review*, 14 (4), 532-550.

Grant, R. M. (1991). The Resource-Based Theory of Competitive Advantage: Implications for Strategy Formulation. *California Management Review*, 33 (3), 114–135

Godet, M. (1983). Méthode des Scénarios . *Revista Futuribles*.

- Haasnoot M., Kwakkel J. H., Walker, W., & ter Maat, J. (2013). Dynamic adaptive policy pathways: a new method for crafting Robust decisions for a deeply uncertain world. *Global Environmental Change*, 23 (2), 485-498.
- Hallegatte, S., Shah, A., Lempert, R., Brown, C., & Gill, S. (2012). Investment decision making under deep uncertainty application to climate change. The World Bank.
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28 (1), 75-105.
- Kwakkel, J. H., Pruyt, E. (2013). Exploratory Modeling and Analysis, an approach for model-based foresight under deep uncertainty. *Technological Forecasting and Social Change*, 80 (3), 419-431.
- Mankins, J. C. (2009a). Technology readiness assessment: a retrospective. *Acta Astronautica* , 65, 1216-1223.
- Mankins, J. C. (2009b). Technology readiness and risk assessments: a new approach. *Acta Astronautica* , 65, 1208-1215.
- Mankins, J. C. (2002). Approaches to strategic research and technology (R&T) analysis and road mapping. *Acta Astronautica* , 51 (1-9), 3-21.
- McInerney, D., Lempert, R., & Keller, K. (2012). What are robust strategies in the face of uncertain climate threshold responses. *Climate Change*, 112, 547-568.
- Niedermeier, D., Lambregts, A. A. (2012). Fly-by-Wire augmented manual control - basic design considerations, ICAS 2012, 28th International Congress of the Aeronautical Sciences, Brisbane, Australia.
- Peirce, C. S. (1998). *The Essential Peirce. Selected Philosophical Writings*, 2, 1893-1913. The Peirce Edition Project, (Eds.) Bloomington: Indiana University Press.
- Peirce, C. S. (1974) *Collected papers de Charles Sanders Peirce*. In: Hartshorne, C., Weiss, P., Burks, A. (Eds.) Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1-8.
- Peirce, C. S. (1958) *The fixation of belief*. In: Hartshorne, C., Weiss, P., Burks, A. (Eds.), *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 5, 223-247, 1931-1935 (First published 1877).
- Penrose, E. T. (1959). *The theory of the growth of the firm*. New York: John Wiley.
- Pisano, G. P. (2016). Toward a prescriptive theory of dynamic capabilities: connecting strategic choice, learning, and competition. *Industrial and Corporate Change*, 26 (5), 747-762.
- Prahalad , C. K., & Hamel, G. (1990). The core competence of the Corporation. *Harvard Business Review*, 79-91.
- Ramírez, R., Selin, C. (2014). Plausibility and probability in scenario planning. *Foresight*, 16 (1), 54-74.

RTCA Inc. (1992). DO-178B software considerations in airborne systems and equipment certification, Washington, D.C., EUA.

SAE International. (1996). ARP-4754 certification considerations for highlyintegrated or complex aircraft systems, Warrendale, PA, EUA.

Schoemaker, P. J. H. (1995). Scenario planning: a tool for strategic thinking. *Sloan Management Review*, 36 (25).

Schwartz, P. (1991). *The Art of the Long View: Planning for the Future in an Uncertain World*. Doubleday Currency, New York.

Schwartz, O. J. (2008). Assessing the future of future studies in management. *Futures*, 40 (3), 237-246.

Simon, H. A. (1996). *The sciences of the artificial*. 3rd. ed. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology Press.

Spitzer, C. R. (2011). *The Avionics Handbook*. CRC Press.

Teece, D. J., & Pisano, G. (1994). The dynamic capabilities of firms: an Introduction. *Industrial and Corporate Change*, 3 (3), 537–556.

Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18 (7), 509-533.

Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28 (13), 1319–1350.

Teece, D. J., Peteraf, M., & Leih, S. (2016). Dynamic capabilities and organizational agility: risk, uncertainty, and strategy in the innovation economy. *California Management Review*, 58 (4), 13-35.

Teece, D. J. (2018). Business models and dynamic capabilities, *Long Range Planning*, 51, 40-49.

Van der Heijden, K., Bradfield, R., Burt, G., Cairns, G. & Wright, G. (2002). *Sixth Sense: Accelerating Organisational Learning with Scenarios*. John Wiley & Sons.

Van der Heijden, K. (2005). *Scenarios: The Art of Strategic Conversation*. John Wiley & Sons.

Wack, P. (1985). Scenarios: shooting the rapids. *Harvard Business Review*, 140-150.

Wernerfelt, B. (1984). A Resource-based View of the Firm. *Strategic Management Journal*, 5(2), 171–180.