

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FEB/UNESP

VERUSKA MAZZA RODRIGUES DIAS

**PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR APLICÁVEIS NO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS AERONÁUTICOS: PROPOSIÇÃO
TEÓRICA E AVALIAÇÕES EM EMPRESAS**

**BAURU/SP
2019**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FEB/UNESP

VERUSKA MAZZA RODRIGUES DIAS

**PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR APLICÁVEIS NO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS AERONÁUTICOS: PROPOSIÇÃO
TEÓRICA E AVALIAÇÕES EM EMPRESAS**

Texto de dissertação de mestrado apresentado como exigência para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Campus Bauru, sob orientação do Prof. Dr. Daniel Jugend.

BAURU/SP

2019

Dias, Veruska Mazza Rodrigues.

Práticas de economia circular aplicáveis no processo de desenvolvimento de produtos aeronáuticos: proposição teórica e avaliações em empresas / Veruska Mazza Rodrigues Dias, 2019

360 f. : il.

Orientador: Daniel Jugend

Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2019

1. Economia circular. 2. Modelo ReSOLVE. 3. Desenvolvimento de produtos aeronáuticos. 4. Desenvolvimento verde. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE VERUSKA MAZZA RODRIGUES DIAS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 20 dias do mês de novembro do ano de 2019, às 14:00 horas, no(a) Anfiteatro da Pós-graduação / FEB, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. DANIEL JUGEND - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. CARLOS DO AMARAL RAZZINO do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Profª. Drª. MARCIA ELISA SOARES ECHEVESTE do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de VERUSKA MAZZA RODRIGUES DIAS, intitulada **APLICAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS AERONÁUTICOS: PROPOSIÇÃO TEÓRICA E AVALIAÇÕES EM EMPRESAS**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. DANIEL JUGEND

Prof. Dr. CARLOS DO AMARAL RAZZINO

Profª. Drª. MARCIA ELISA SOARES ECHEVESTE



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Bauru

PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

A COMISSÃO EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DA ALUNA:
VERUSKA MAZZA RODRIGUES DIAS

DE: "APLICAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS
AERONÁUTICOS: PROPOSIÇÃO TEÓRICA E AVALIAÇÕES EM EMPRESAS"

PARA:

Práticas de economia circular aplicadas no -
processo de desenvolvimento de produtos aeronáuticos;
proposição teórica e avaliações em empresas

Bauru, 20 de novembro de 2019.

Prof. Dr. Daniel Jugend
Orientador



Faculdade de Engenharia de Bauru – Pós-graduação
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 17033-360 Bauru - SP
tel. (14) 3103-6108 spg@feb.unesp.br www.feb.unesp.br

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela capacitação e forças dadas para a execução e alcance de mais essa conquista. Ao meu companheiro, Richard Levon Kalaydjian, que assumiu papel fundamental nesta vitória, sendo meu maior ajudador, apoiando-me e acompanhando-me em cada etapa rumo à conclusão do programa de Pós-Graduação. Ainda, compreendendo plenamente minhas restrições nos últimos dois anos, os quais dediquei grande parte do tempo à pesquisa e construção desta dissertação.

Agradeço ao Professor Dr. Daniel Jugend, meu orientador. Além de sua presteza, paciência e ética, proporcionou a mim a oportunidade de aprimoração de meus conhecimentos, bem como, aquisição de novos. O aprendizado adquirido a partir da oportunidade de trabalhar ao seu lado e sua dedicação me mostraram os valores que quero carregar comigo em minha jornada acadêmica.

Agradeço aos meus pais, Elaine Mazza e Reinaldo Rodrigues Dias que, desde a infância, me fizeram compreender a importância do conhecimento e proporcionaram as oportunidades necessárias para que eu chegasse até aqui. Por fim, agradeço ao meu avô Geraldo Mazza, eterno amigo, apoiador, incentivador de minhas conquistas acadêmicas e entusiasta de minha carreira. Inspiração para que eu prosseguisse após cada dificuldade... Dedico a ele mais essa vitória.

RESUMO

A preocupação com a sustentabilidade ambiental, em especial, com economia circular (EC) e a sua adoção cada vez mais intensa, vem sendo foco de pesquisas recentes. Esse contexto torna-se proeminente, especialmente em empresas aeronáuticas, pois estão envolvidas com o desenvolvimento e fabricação de produtos que são utilizados durante um longo período de tempo e precisam ser mantidos por longos períodos após a sua fabricação. Esta pesquisa visa propor um *framework* integrando práticas da EC no processo de desenvolvimento de produtos (PDP) aeronáutico. Inicialmente, foi proposto um *framework* teórico que relaciona as ações circulares propostas pelo modelo ReSOLVE, as estratégias de EC adotadas pela indústria geral e as atuais iniciativas da indústria aeronáutica para a transição de um modelo de produção e consumo linear para um modelo circular. Em segundo momento, o *framework* foi avaliado por meio de *workshops* em três empresas aeronáuticas. Dentre os principais resultados foram apresentados e analisados 91 conjuntos de práticas adotadas pela indústria aeronáutica e que são aplicáveis ao desenvolvimento de produtos circulares. Observou-se, também, que a legislação imposta pelos governos e órgãos reguladores da indústria aeronáutica tem sido o maior direcionador para as indústrias rumo à adoção da EC e, em especial, em situações no qual o custo-benefício não é tido como viável. Por fim, entende-se que os resultados apresentados e analisados podem subsidiar a adoção de iniciativas para o desenvolvimento de produtos circulares não apenas no setor aeronáutico, mas também em outras indústrias, visto que, as iniciativas circulares levantadas nesta pesquisa compõem um conjunto de práticas e que podem ser aplicadas no PDP diversos produtos e setores industriais.

PALAVRAS-CHAVE: *economia circular, modelo ReSOLVE, PDP, desenvolvimento de produtos aeronáuticos, IPD, desenvolvimento verde, fabricação de aeronaves, produção mais limpa.*

ABSTRACT

Concern about environmental sustainability, especially the circular economy (CE) and its increasingly intense adoption, has been the focus of recent research. This context becomes prominent, especially in aircraft companies, as they are involved in the development and manufacture of products that are used over a long period of time and need to be maintained for long periods after their manufacture. This research aims to propose a framework integrating CE practices in the aeronautical product development process (PDP). Initially, a theoretical framework was proposed that relates the circular actions proposed by the ReSOLVE model, the CE strategies adopted by the general industry and the current aeronautical industry initiatives for the transition from a linear production and consumption model to a circular model. Secondly, the framework was evaluated through workshops at three aeronautical companies. Among the main results were presented and analyzed 91 sets of practices adopted by the aeronautics industry that are applicable to the development of circular products. It was also observed that the legislation imposed by the governments and regulators of the aeronautics industry has been the major driver for the industries towards the adoption of CE and, particularly, in situations where the cost-benefit is not considered viable. Finally, it is understood that the results presented and analyzed may support the adoption of initiatives for the development of circular products not only in the aeronautics sector, but also in other industries, since the circular initiatives raised in this research compose a set of practices. and that various products and industrial sectors can be applied in the PDP.

KEY-WORDS: *circular economy, ReSOLVE model, PDP, aeronautical product development, IPD, green development, aircraft manufacturing, cleaner production.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processos relacionados com o desenvolvimento de produtos.....	25
Figura 2. Classificação do tipo de produto.....	26
Figura 3. Processo de Desenvolvimento de Produtos.....	28
Figura 4. Características similares das equipes de desenvolvimento, classificadas por área.....	29
Figura 5. IPD de programas aeronáuticos.....	30
Figura 6: IPD adotado pela fabricante de aeronaves Embraer.....	32
Figura 7. Diagrama sistêmico da EC.....	40
Figura 8. Modelo ReSOLVE, EC.....	43
Figura 9. Abordagens de EC permitidas por meio de estratégias de <i>design</i> de produto.....	44
Figura 10. Cadeia de fornecimento geral da fabricação de aeronaves – processo de fluxo típico.....	47
Figura 11. Método de busca por documentos acadêmicos na plataforma <i>Scopus</i>	52
Figura 12. PDP da indústria aeronáutica.....	59
Figura 13. <i>Framework</i> ilustrativo de iniciativas de EC da indústria aeronáutica: literatura.....	61
Figura 14. Fotografias mostrando folhas de alumínio recicladas a partir de aeronaves (a) e reutilizadas como ladrilhos (b).....	96
Figura 15. Fase 1: Planejamento Estratégico dos Produtos.....	243
Figura 16. Fase 2: Planejamento Projeto.....	243
Figura 17. Fase 3: Projeto Informacional.....	243
Figura 18. Fase 4: Projeto Conceitual.....	243
Figura 19. Fase 5: Projeto Detalhado.....	243
Figura 20. Fase 6: Preparação Produção.....	244
Figura 21. Fase 7: Lançamento do Produto.....	245
Figura 22. Fase 8: Acompanhar Produto/Processo.....	246
Figura 23. Fase 9: Descontinuar Produto.....	247

Figura 24. <i>Framework</i> ilustrativo de iniciativas de EC após análise empírica.....	346
Figura 25. Legenda geométrica para ações do modelo ReSOLVE.....	347
Figura 26. Fase 1: Planejamento Estratégico dos Produtos, iniciativas.....	348
Figura 27. Fase 2: Planejamento Projeto, iniciativas.....	349
Figura 28. Fase 3: Projeto Informacional, iniciativas.....	350
Figura 29. Fase 4: Projeto Conceitual, iniciativas.....	351
Figura 30. Fase 5: Projeto Detalhado, iniciativas.....	352
Figura 31. Fase 6: Preparação Produção, iniciativas.....	353
Figura 32. Fase 7: Lançamento do Produto, iniciativas.....	355
Figura 33. Fase 8: Acompanhar Produto/Processo, iniciativas.....	356
Figura 34. Fase 9: Descontinuar Produto, iniciativas (parte 1).....	358
Figura 35. Fase 9: Descontinuar Produto, iniciativas (parte 2).....	359
Figura 36. Fase 9: Descontinuar Produto, iniciativas (parte 3).....	360

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Atividades de desenvolvimento de produto presentes em todas as fases do IPD...	33
Quadro 2. Lista de autores/artigos de revisão teórica.....	237
Quadro 3. Quadro 3. Framework de iniciativas de EC da indústria aeronáutica: literatura.....	59
Quadro 4. Ação Regenerar.....	62
Quadro 5. Ação Compartilhar.....	76
Quadro 6. Ação Otimizar.....	80
Quadro 7. Ação Ciclar.....	89
Quadro 8. Ação Virtualizar.....	97
Quadro 9. Ação Trocar.....	99
Quadro 10. Iniciativas de EC comentadas pela Empresa 01.....	103
Quadro 11. Iniciativas de EC comentadas pela Empresa 02.....	117
Quadro 12. Iniciativas de EC comentadas pela Empresa 03.....	123
Quadro 13. Iniciativas de EC adotadas pela indústria aeronáutica.....	140
Quadro 14. <i>Framework</i> de iniciativas de EC após análise empírica.....	201

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	Justificativas.....	21
1.2	Questão de Pesquisa.....	22
1.3	Objetivos.....	22
1.4	Estrutura da Dissertação.....	23
2	REVISÃO TEÓRICA.....	24
2.1	Processo de Desenvolvimento de Produtos.....	24
2.2	Processo de Desenvolvimento de Produtos na Indústria Aeronáutica.....	28
2.3	Economia Circular (EC).....	36
2.3.1	Características da Economia Circular.....	39
2.3.2	Vantagens da Economia Circular.....	42
2.4	Processo de Desenvolvimento de Produtos no Contexto da Economia Circular.....	42
2.5	Sustentabilidade Ambiental no Desenvolvimento de Produtos Aeronáuticos.....	45
3	MÉTODO DE PESQUISA.....	50
3.1	Fase Analítica – Busca na Literatura.....	50
3.2	Fase Empírica – <i>Workshops</i> na Indústria Aeronáutica.....	53
3.2.1	Perfis das Empresas e dos Participantes.....	54
3.2.2	Condução dos <i>Workshops</i>	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
4.1	Resultados Teóricos.....	58
4.1.1	Regenerar.....	62
4.1.2	Compartilhar.....	76
4.1.3	Otimizar.....	80
4.1.4	Ciclar.....	89
4.1.5	Virtualizar.....	97
4.1.6	Trocar.....	99

4.2	Resultados dos <i>Workshops</i>	102
4.2.1	Empresa 01.....	103
4.2.2	Empresa 02.....	117
4.2.3	Empresa 03.....	123
4.3	Análise de Resultados.....	139
4.3.1	Empresa 01.....	149
4.3.2	Empresa 02.....	171
4.3.3	Empresa 03.....	182
4.4	Elaboração do <i>Framework</i>	200
4.5	Discussões.....	207
5	CONCLUSÕES.....	214
6	BIBLIOGRAFIA.....	219
	APÊNDICE 1.....	237
	APÊNDICE 2.....	243
	APÊNDICE 3.....	248
	<i>Workshop</i> na Empresa 01.....	248
	<i>Workshop</i> na Empresa 02.....	306
	<i>Workshop</i> na Empresa 03.....	314
	APÊNDICE 4.....	346

1 INTRODUÇÃO

O modelo linear de produção e consumo “extrair, transformar, descartar”, atualmente, parece estar atingindo seus limites físicos. Pressões ambientais e a escassez de materiais têm estimulado o interesse das comunidades industriais, políticas e acadêmicas em direção ao que é conhecido como economia circular (EC) (MULGAN, 2015; NGUYEN; STUCHTEY; ZILS, 2014; YUAN; BI; MORIGUICHI, 2006; MACARTHUR, 2014b). Nesse sentido, a EC se apresenta como uma alternativa que busca redefinir a noção de crescimento econômico, com foco em benefícios ambientais para toda a sociedade. Segundo a Fundação Ellen MacArthur (2012), isto envolve dissociar a atividade econômica do consumo de recursos finitos, e eliminar resíduos do sistema por princípio. Em vez de um modelo linear de produção e consumo, "uma economia circular é aquela que é restaurativa por *design* e que visa manter produtos, componentes e materiais em sua mais alta utilidade e valor em todos os momentos" (MACARTHUR, 2012).

O Fórum Econômico Mundial (2014), “*Rumo à Economia Circular: Acelerando o aumento das cadeias de suprimento globais*”, ao analisar essa problemática observou que o modelo linear é dominante desde os primórdios da industrialização. Isso é replicado em modelos acadêmicos, como cadeias de valor ou de suprimentos, que consideram todos os estágios de uma cadeia como agregadores de valor, enquanto o ponto final, consumo, é um “coletor de valor” (NORMANN, 2001).

Especialistas preveem que a população global atingirá cerca de 9 bilhões até 2050 e 10,1 bilhões até 2100 (BASTEIN, 2013). O crescimento progressivo irrestrito da população tem gerado pressões sobre as necessidades de recursos naturais, tornando necessário mudanças no modelo de produção e consumo tradicional para circular. Assim, a oferta dos produtos que buscam minimizar impactos ao meio ambiente tem sido valorizada (JI; MA; LI, 2015; KIRCHOFF; KOCH; SATINOVER NICHOLS, 2011). A introdução de processos de produção mais sustentáveis, sob o ponto de vista ambiental, tem se intensificado em todo o mundo (HALLSTEDT; BERTONI; ISAKSSON, 2015).

A preocupação com a sustentabilidade ambiental, em especial, com EC e a implantação de cultura verde nas empresas, vem sendo foco de atuais pesquisas em gestão de operações (ZENG; FU; OUYANG, 2018; ABSON et al., 2017). A sustentabilidade definida como o desenvolvimento do que se tem de necessidade no presente, sem que se afete a capacidade das

futuras gerações em manterem-se com os recursos necessários à sua sobrevivência, faz com que as diversas esferas de sustentabilidade ambiental sejam objetos de interesse na exploração e aperfeiçoamento (ZENG; FU; OUYANG, 2018).

A sustentabilidade tem chamado mais atenção de *stakeholders* diversos, tais como consumidores e fornecedores, a necessidade de se entregar produtos e bens sustentáveis e, especialmente, que respeitem o ambiente. Tal fato indica que o mercado, da forma como têm se estruturado, exigirá formas aprimoradas e inovadoras de lidar com aspectos econômicos, ambientais e sociais (GIALOS et al., 2018). Assim, tornando-se um direcionador para o desenvolvimento de produtos circulares.

É importante que a sustentabilidade seja considerada no processo de desenvolvimento de produtos (PDP) desde os estágios preliminares de *design* do produto e analisados de forma a estarem integrados ao mesmo durante todo seu ciclo de vida (matérias-primas, produção, distribuição, uso, manutenção e fim de vida). Porém, a incorporação de conceitos como EC no processo produtivo, bem como, o desenvolvimento de novos produtos ambientalmente sustentáveis tem se mostrado tarefa desafiadora em diferentes setores industriais e por todo o mundo (CLUZEL et al., 2016).

Em uma análise de viabilidade sobre a implantação do conceito de sustentabilidade nos produtos, verifica-se que, em curto prazo, tal prática pode aumentar o custo (custo do material, custo de fabricação, custo de teste e avaliação, etc.). No entanto, no longo prazo, podem influenciar positivamente no desempenho financeiro e vantagem competitiva (GIALOS et al., 2018), pois iniciativas sustentáveis podem trazer retorno financeiro ao longo de vários momentos do ciclo de vida, por exemplo, por meio da adoção de práticas de EC e, para produtos que apresentam longos ciclos de vida o período para o surgimento de possíveis oportunidades é maior.

Empresas que fabricam produtos que são desenvolvidos e produzidos durante um longo período de tempo e precisam ser mantidos por muito mais tempo após o término do processo de produção, podem alcançar os benefícios de custo em longo prazo ao integrarem a sustentabilidade ambiental desde as etapas de projeto dos produtos (GIALOS et al., 2018). A indústria aeronáutica se enquadra neste perfil, visto que seus produtos têm um ciclo de vida médio de mais de 20 anos (KPMG, 2018), o que torna essencial a investigação deste tema e fomenta a necessidade de intensificação de pesquisas na área.

1.1 Justificativas

Os estudos e aplicações sobre EC tem sido realizados em diferentes setores, tais como de equipamentos elétricos e eletrônicos (BOVEA; PÉREZ-BELIZ, 2018; KASULAITIS; BABBITT; KROCK, 2019), automotivo (KALVERKAMP; RAABE, 2018), bens de consumo (STEWART; NIERO, 2018), embalagens (BATISTA et al., 2018), entre outros. Apesar do potencial poluidor de produtos aeronáuticos, até onde sabemos, com base na literatura consultada, poucos trabalhos abordaram questões relacionadas à EC na indústria aeronáutica.

Um grande fator motivador, econômico e social, que evidencia as necessidades de pesquisa sobre a adoção de práticas sustentáveis na aviação como, por exemplo, no PDP aeronáutico, é o fato de que com a globalização e com o rápido crescimento da exploração comercial do transporte aeroespacial, as projeções para o mercado global aeronáutico indicam que o uso deste meio triplicará até 2050. Em termos de passageiros, este número dobrou nos últimos 15 anos e a perspectiva é que dobre novamente nos próximos 15 anos (HALLSTEDT; BERTONI; ISAKSSON, 2015).

O número de aeronaves que atingem o estágio de fim de vida (EOL) está aumentando continuamente. A Airbus e a Boeing estimam que aproximadamente 10.000 a 15.000 aviões serão aposentados nos próximos 18 anos. Mais de meio milhão de componentes são necessários para construir uma grande aeronave como a A787 e, portanto, terão que ser readequados ao mercado ou descartados de maneira sustentável. Numerosos processos estão envolvidos na fabricação desses componentes, consistindo em diferentes materiais, tais como metais, plásticos, compósitos, produtos químicos, tecidos e consumíveis. Tais materiais podem causar relevantes problemas ambientais (RAJ; SRIVASTAVA, 2017).

Nas dimensões atuais, o setor aeronáutico já se destaca como o segundo maior consumidor mundial de combustível para transporte, atualmente. Cerca de 250 milhões de toneladas de óleo ao ano, representando 12% da energia consumida pelo setor de transporte (HUANG et al., 2016). Esse setor como um todo contribui com cerca de 2% das emissões de dióxido de carbono induzidas pelo homem e já estabeleceu como meta a redução de 50% das emissões de carbono em 2050 (RAJ; SRIVASTAVA, 2017). Portanto, se faz necessário o desenvolvimento de novos produtos com viés de sustentabilidade e EC, produtos otimizados e ecologicamente mais eficientes que permitam a redução de gasto energético e emissões de GEE

(IMMARIGEON et al., 1995), alinhado na mesma direção dos objetivos propostos pelo conceito de EC.

A indústria aeronáutica tem participação significativa no cenário industrial mundial. Mais de 150 mil funcionários trabalham em grandes empresas de fabricação de aeronaves, como a Boeing. Além disso, empresas em todo o setor estão colaborando para reduzir as emissões por meio de: novas tecnologias, operações eficientes e infraestrutura aprimorada (AYGUN; TURAN, 2019). A Lockheed Martin Corporation anunciou a iniciativa “*Go Green*”, que visa reduzir significativamente as emissões de carbono em 2020 (RAJ; SRIVASTAVA, 2017). Yin et al. (2018) recomendou que a aplicação de estratégias de redução das emissões pudesse incluir amplamente a modificação da frota atual, a alteração das operações atuais e a renovação e adição de novas aeronaves mais eficientes à frota de 2013 a 2033.

No entanto, parecem ser tímidas, ainda, as iniciativas em implantar-se a manufatura sustentável na indústria aeronáutica. Uma aeronave é composta por diversos materiais que podem ser reciclados e reutilizados na manufatura de novos produtos como, por exemplo, materiais compósitos (por exemplo: fibra de carbono, fibra de vidro e Kevlar), ligas metálicas de alumínio, titânio e aço, bem como, fios e cabos, texturas e carpetes, espumas, trens de pouso, fluidos, componentes eletrônicos e aviônicos, motores e diversas outras partes e componentes (ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013), assim, sendo um produto de características e complexidade que tornam a circularidade um fator importante a ser considerado em seu PDP.

1.2 Questão de Pesquisa

A presente proposta de pesquisa parte da seguinte lacuna identificada na literatura: Quais práticas de economia circular que empresas aeronáuticas poderiam utilizar no processo de desenvolvimento de produtos?

1.3 Objetivos

O objetivo deste trabalho consiste em propor um *framework* integrando práticas de EC no PDP aeronáutico. Para atingir o objetivo geral desta dissertação, faz-se necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- Propor *framework* teórico que integre práticas de EC no PDP e que considere as peculiaridades da indústria aeronáutica;

- Avaliar este *framework* teórico proposto quanto à capacidade de aplicação de práticas de EC no PDP, sob a perspectiva de empresas que desenvolvem produtos aeronáuticos.

1.4 Estrutura da Dissertação

Este trabalho é estruturado em cinco capítulos, de forma que, o primeiro capítulo traz a introdução ao tema, justificativas, questão de pesquisa e objetivos. O segundo capítulo apresenta a revisão teórica, caracterizando os principais conceitos envolvidos neste trabalho: PDP, PDP na indústria aeronáutica, EC, PDP no contexto da EC e, por fim, sustentabilidade ambiental no PDP aeronáutico.

O terceiro capítulo descreve o método de pesquisa empregado em suas fases teórica e empírica, ou seja, descreve tanto o processo de buscas por documentos acadêmicos na base de dados escolhida como o processo de avaliação desta pesquisa pela indústria aeronáutica. O quarto capítulo apresenta os resultados sendo, neste mesmo capítulo, feitas as discussões sobre o *framework* teórico e o *framework* final deste trabalho, composto também pelos resultados da fase empírica dessa pesquisa. O quinto apresenta as conclusões dessa pesquisa, juntamente, com as possibilidades de pesquisas futuras.

2 REVISÃO TEÓRICA

Nesse capítulo Revisão Teórica é apresentada a revisão teórica sobre PDP e modelos tradicionais aplicados no cenário industrial de interesse desse trabalho, que é o setor aeronáutico. Além disso, apresenta-se e discute-se também conceitos de EC e sua integração ao contexto de desenvolvimento de produtos.

2.1 Processo de Desenvolvimento de Produtos

O bom desempenho econômico de muitas empresas depende da sua habilidade de identificar as necessidades dos clientes e rapidamente criar produtos que vão de encontro a essas necessidades. Atingir esses objetivos não é unicamente um problema de análise de mercado, nem tão pouco um problema unicamente de projeto ou de manufatura do produto; a dificuldade está no PDP que envolve todas estas funções (EPPINGER; ULRICH, 2015). É possível verificar a forte relação entre eficiência empresarial e a eficiência no PDP, dessa forma, a importância deste processo é evidente, visto que, é ele o responsável por transformar ideias e objetivos em produtos ou serviços pelos quais os consumidores estão dispostos a pagar a fim de satisfazer suas necessidades, portanto, sendo o PDP um dos mais importantes processos responsáveis pela agregação de valor aos negócios (TAKAHASHI; TAKAHASHI, 2007).

Desde modo, pode-se afirmar que esse conjunto de atividades se inicia na percepção de uma oportunidade de mercado e finaliza na produção, venda e entrega do produto (EPPINGER; ULRICH, 2015). O PDP pode ser definido de forma macro por meio de um ciclo padrão tradicional, porém, de forma mais específica, é composto por diversas variáveis caracterizadas de acordo com o cenário no qual a empresa está inserida, bem como, conforme os aspectos que definem seus produtos. Tradicionalmente, o PDP consiste em um conjunto de atividades para transformar informações tecnológicas e de mercado em um produto que venha ao encontro das necessidades deste mercado. Tratando-se de inovações radicais o PDP pode seguir outro percurso, porém, tradicionalmente, o PDP situa-se, portanto, na interface entre a empresa e o mercado, como mostra a Figura 1, elaborada pelo autor a partir do trabalho de Rozenfeld et al. (2006).

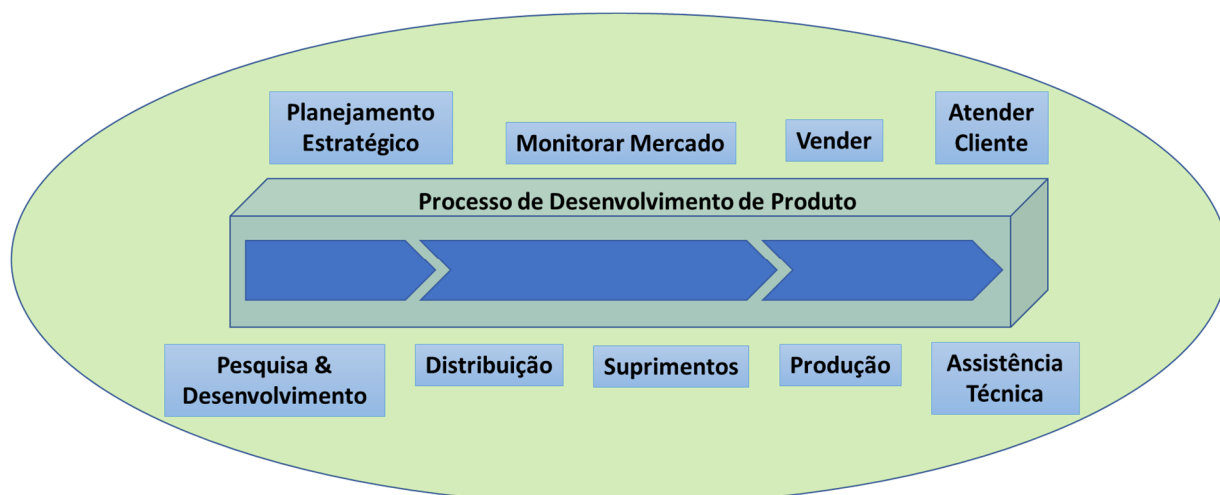


Figura 1. Processos relacionados com o desenvolvimento de produtos.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do trabalho de Rozenfeld et al. (2006).

De acordo com Araujo e Cruz (2000), empresas com PDPs mais maduros são capazes de introduzir novos produtos ao mercado em um ritmo mais rápido, com melhor qualidade e a um custo menor, aproveitando as oportunidades de mercado de maneira mais eficiente. A competitividade de um produto é o resultado de sua avaliação pelo cliente, de acordo com vários critérios, como confiabilidade, capacidade de despacho, suporte ao cliente, custo do ciclo de vida, conceito de família, condição de financiamento e muito mais (ARAUJO; CRUZ, 2000).

Segundo Rozenfeld (2007) existem algumas formas de classificar um produto: (i) pela complexidade de sua interface com o cliente. Um produto com alta complexidade de interface é aquele cujos parâmetros, que são as necessidades dos clientes traduzidas em requisitos, são qualitativos. Envolve parâmetros que o cliente não consegue especificar claramente, como a facilidade de interação com o produto, por exemplo; (ii) pela sua complexidade de conteúdo tecnológico. Geralmente, quanto mais complexo tecnologicamente, mais avançada é a tecnologia necessária para seu desenvolvimento, e, portanto, mais especialista deverá ser a mão-de-obra que irá desenvolver o produto (ROZENFELD, 2007).

A Figura 2 apresenta uma relação entre as complexidades que resultam na esfera de classificação de produtos proposta por Rozenfeld (2006). Por esse gráfico, é possível agrupar determinados tipos de produtos e a identificar características similares no processo de desenvolvimento para cada um destes grupos. A linha verde tracejada representa o mínimo de complexidade tecnológica, e a linha com traços e pontos em azul representam o mínimo de complexidade de interface (ROZENFELD, 2007). É possível observar por essa figura que a os produtos oriundos da indústria aeronáutica se enquadram no perfil de maior complexidade

determinado pelo gráfico, assim, o estudo detalhado do PDP desses produtos torna-se importante para ampliar a clareza sobre as necessidades e peculiaridades desse processo.

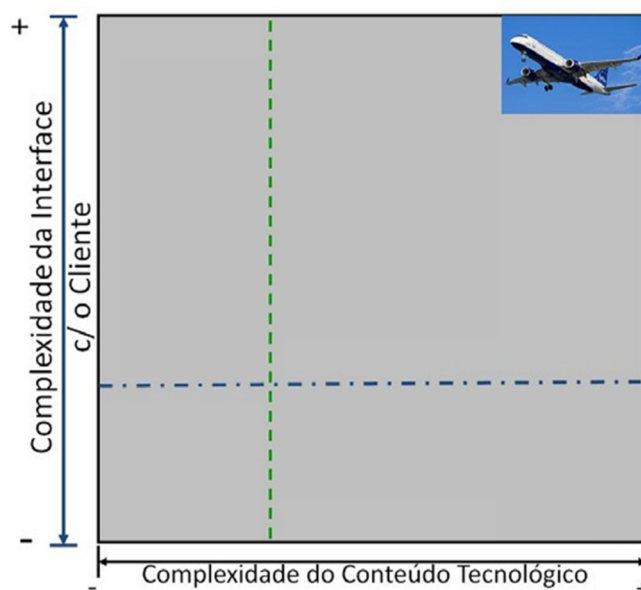


Figura 2. Classificação do tipo de produto.

Fonte: Adaptado do trabalho de Rozenfeld (2007).

A aplicação de um ciclo de desenvolvimento tradicional em produtos de diferentes tipos com o objetivo de avaliação e comparação de seus resultados já é, por si só, um grande desafio. Cada cenário proporciona diferentes necessidades de desenvolvimento, acompanhamento e avaliação. Ressalta-se que a organização e o gerenciamento de todo o PDP é de grande importância para a obtenção de resultados positivos. O gerenciamento busca a definição e o encadeamento das diferentes tarefas, de modo que as metas sejam atingidas nos prazos adequados, usando recurso humano e materiais disponíveis (ROSA, 2006).

Um critério tradicionalmente utilizado para medir a eficiência do PDP é o tempo de desenvolvimento (tempo de mercado), já que este pode estar limitado por datas expostas no regulamento vigente, e tem que acompanhar tanto as frequentes variações de desempenho quanto possíveis atrasos. Portanto, um desafio de destaque consiste na melhor maneira de combinar estes parâmetros (Qualidade, Tempo, Produtividade) para se obter um PDP eficiente e eficaz (ROSA, 2006). No contexto de desenvolvimento de produtos complexos, que segundo Eppinger e Ulrich (2015), são aqueles oriundos de uma atividade de engenharia e cujo produto é formado por sistemas e subsistemas que interagem entre si, essa combinação de parâmetros se torna ainda mais forte, como é o caso de produtos da indústria aeronáutica, foco dessa pesquisa (MURMAN et al., 2002).

O modelo de PDP que predominou após a Primeira Guerra Mundial é conhecido como Desenvolvimento de Produtos Sequencial, o qual seguiu a lógica taylorista-fordista. Nesse modelo as informações geradas sobre um produto são encaminhadas de uma área funcional para outra, seguindo uma sequência lógica: primeiro *Marketing*, depois *Design*, Engenharia, Produção, etc. A interação entre as áreas e seus respectivos processos durante e depois da realização das atividades é praticamente nula, assim, o processo sequencial gera um ambiente com diferentes padrões de trabalho e a experiência de cada um dos setores evolui de forma diferente, o que resulta em procedimentos e atividades desenvolvidos com base na experiência de cada pessoa (ROZENFELD et al., 2006).

A engenharia tradicional, também conhecida como engenharia sequencial, é muitas vezes referida como a abordagem "*over-the-wall*" (BOOTHROYD, 1994). As desvantagens desse processo são óbvias: foco na funcionalidade e desenhos do produto, falta de *design* industrial, problemas crescentes no final do ciclo de vida, equipes diferentes com falta de comunicação entre eles e longo tempo de lançamento no mercado. Um produto complexo, como uma aeronave moderna, não pode ser projetado dessa maneira e, o aumento da concorrência de mercado, faz com que as novas imposições sobre requisitos de qualidade, tempo e custo, coloquem em desuso o modelo em sua forma sequencial (MENÉNDEZ et al, 2013).

Com o avanço das novas abordagens, que buscavam a utilização de times multifuncionais de projeto, o aumento da produtividade do trabalho da engenharia, a diminuição dos erros de projeto e uma proposta de sequências de etapas e atividades que fosse capaz de implementar um processo com técnicas sistemáticas, o modelo tradicional passou, então, por modificações que levaram à maior integração entre as áreas e à intensificação da comunicação e disseminação para que a transmissão das informações passasse a ser constante e o mais imediata possível. Assim, o conceito de Desenvolvimento Integrado de Produtos (IPD) se firmou como uma das evoluções da era do Desenvolvimento Sequencial na década de 1990 (ROZENFELD et al., 2006).

O IPD é um processo de gerenciamento que integra todas as atividades, desde o conceito do produto até a produção e o suporte de campo, e que preponderantemente, utiliza uma equipe multifuncional para otimizar simultaneamente o produto e seus processos de fabricação para atender aos objetivos de custo e desempenho (ARMSTRONG, 1999). Na literatura sobre as técnicas de IPD é predominante a divisão do processo de desenvolvimento em fases. A Figura

3, apresentada por Rozenfeld et al. (2006), mostra a forma como o autor descreve o PDP. O que determina uma fase é a entrega de um conjunto de resultados (*deliverables*), que juntos determinam um novo patamar de evolução do processo de desenvolvimento. Os resultados criados em cada fase deverão ser “congelados” a partir do momento em que a fase é finalizada (ROZENFELD et al., 2006).

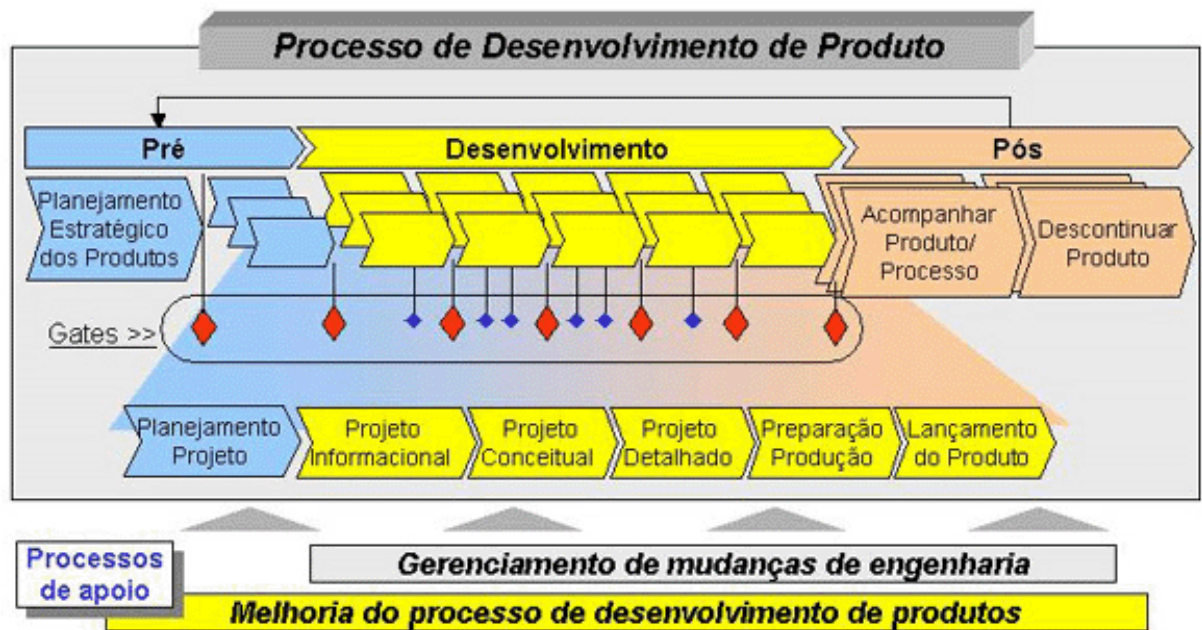


Figura 3. Processo de Desenvolvimento de Produtos.

Fonte: Rozenfeld et al. (2006).

Nas etapas expostas acima, no Projeto Informacional, são geradas as especificações e metas do produto, composta pelos requisitos e informações qualitativas sobre o produto. No Projeto Conceitual, são geradas e estudadas soluções que atendam as especificações meta. Na fase de Projeto Detalhado, é realizado o detalhamento da concepção do produto (solução escolhida), gerando suas especificações finais. Na fase de Preparação para Produção do Produto são realizadas as atividades definição e homologação dos processos de fabricação. Por fim, o produto é lançado (ROZENFELD et al., 2006).

2.2 Processo de Desenvolvimento de Produtos na Indústria Aeronáutica

Historicamente, concebidas inicialmente no início dos anos 80, as práticas de engenharia simultânea e IPD surgiram da necessidade de minimizar o tempo de comercialização e os custos dos produtos. Seu uso tornou-se difundido, tornando-se uma prática adotada gradualmente pela indústria aeronáutica (ARMSTRONG, 1999). Para o desenvolvimento de produtos com alta complexidade de interface e com alta complexidade do conteúdo tecnológico, como é o caso

de produtos da indústria aeronáutica, são necessárias equipes multidisciplinares e participações de equipes com competências tecnológicas (ROZENFELD, 2007). A Figura 4 ilustra as características peculiares as equipes de desenvolvimento dos produtos de cada área delimitada na Figura 2.

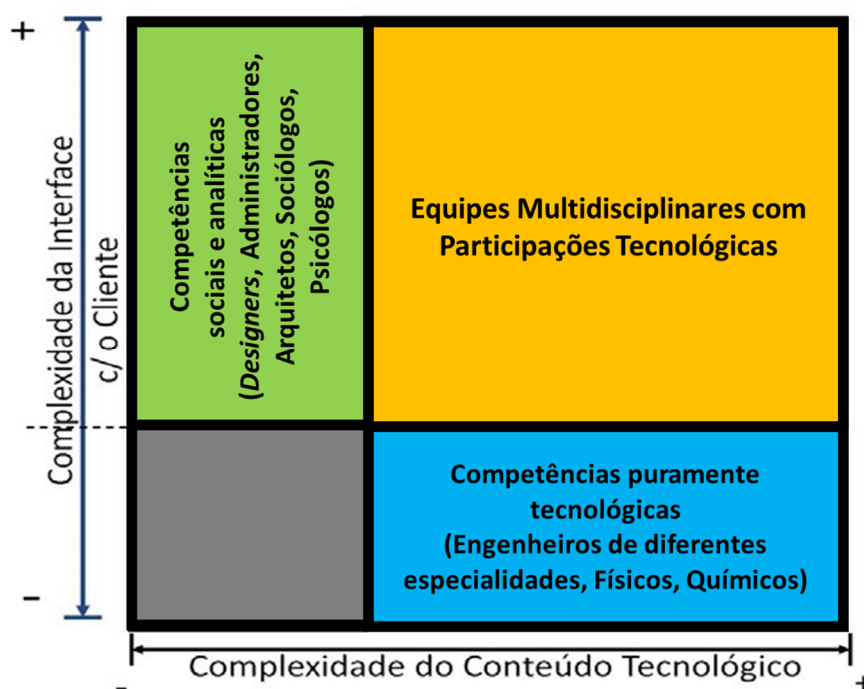


Figura 4. Características similares das equipes de desenvolvimento, classificadas por área.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do trabalho de Rozenfeld (2007).

Foi no início dos anos 90, quando os orçamentos de defesa dos EUA foram reduzidos drasticamente que as empresas aeroespaciais começaram a implementar o IPD e equipes de produtos integrados (IPT), especialmente entre 1988 e 1993 (ARMSTRONG, 1999). A capacidade de adaptação e o tempo de comercialização tornaram-se, então, as forças motrizes no desenvolvimento de produtos.

O modelo proposto por Armstrong (1999), apresentado na Figura 5, define as principais etapas do IPD para programas aeronáuticos. Grandes programas de aeronaves famosas como o Lear Jet 45, o F18, o Harrier AV8B, o F22, o European Fighter, o Joint Strike Fighter, o Hawk, o Dash 8-400 e o Global Express foram elaborados com a implementação dessa abordagem, usada de várias maneiras. Por exemplo, alguns programas aplicaram o IPD a toda a aeronave durante todo o ciclo de vida de desenvolvimento do produto (o F22) enquanto outros, por sua vez, o aplicaram apenas a componentes (a asa do Lear Jet) (ARMSTRONG, 1999).

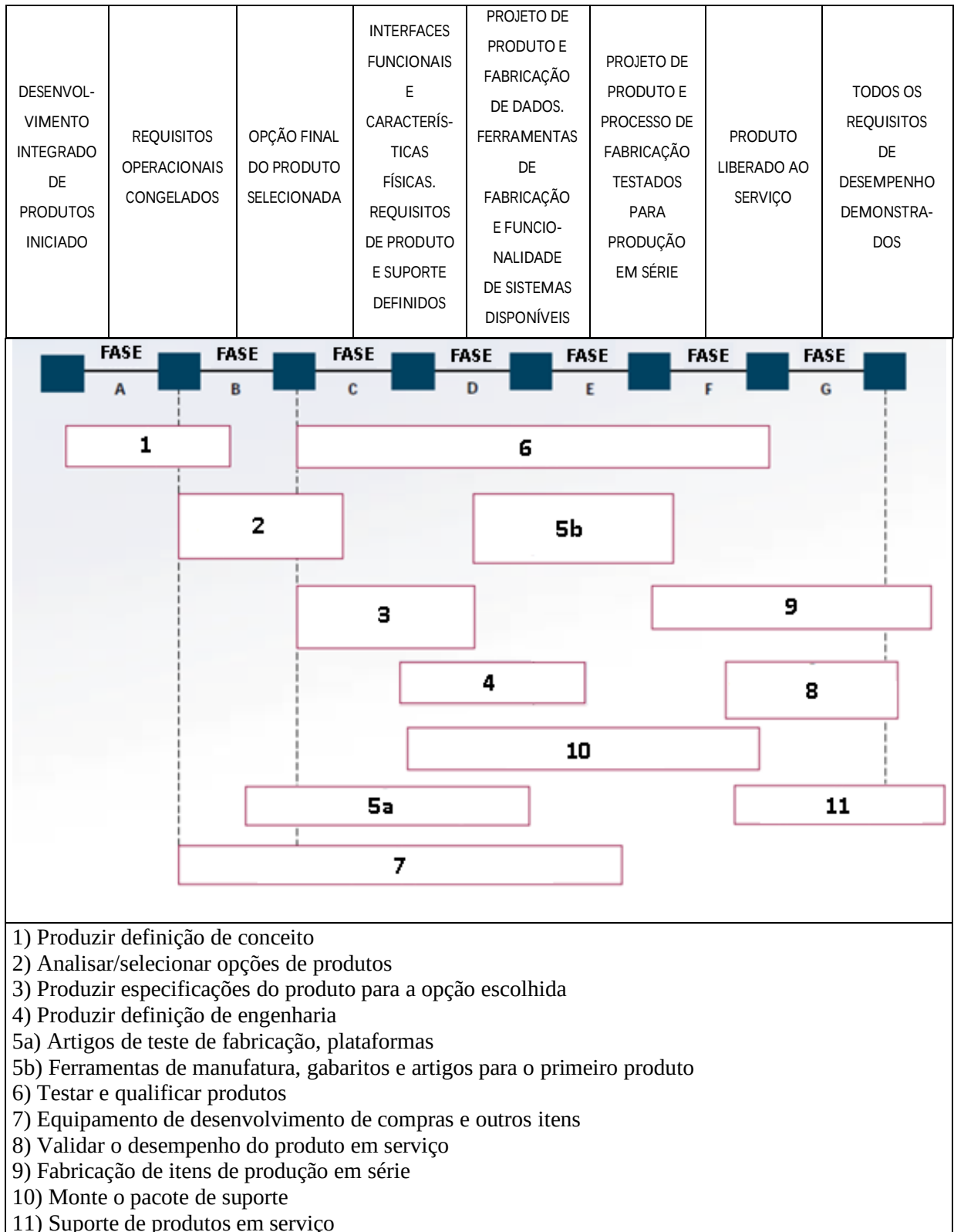


Figura 5. IPD de programas aeronáuticos.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do trabalho de Armstrong (1999).

A Embraer (Empresa Brasileira de Aeronáutica) tem seguido o PDP pela abordagem integrada. Dentro deste contexto, o PDP da empresa brasileira, maior fabricante de aeronaves nacional, foi descrito em uma apresentação sobre *Technology* onde foram apresentadas as principais soluções tecnológicas adotadas em seus projetos modernos (EMBRAER, 2010). Sobre a gestão do ciclo de vida do produto, a empresa declarou adotar as seguintes soluções: produto multidisciplinar altamente integrado, desenvolvimento e fabricação *Lean*, baixo custo operacional através do sistema de gerenciamento de saúde (*health management system*) e ciclo de vida verde (fabricação, operação, manutenção e descarte).

O PDP da empresa sofreu grande evolução ao longo dos seus mais de 50 anos de existência, sendo que, processo evolutivo pode ser dividido em quatro grandes fases: (1) Desenvolvimento Sequencial, (2) Engenharia Simultânea, (3) Desenvolvimento Integrado de Produtos e, a partir de 2009, a empresa agregou ainda o conceito *Lean* ao IPD (4) Desenvolvimento Integrado de Produtos *Lean* (EMBRAER, 2010). Desde o início dos anos 2000, a Embraer tem adotado este método em seus projetos: no segmento comercial (Embraer 170, Embraer 175, Embraer 190, Embraer 195), no segmento executivo (Legacy 600, Phenom 100, Lineage 1000, Phenom 300, Legacy 500/450) e no segmento de defesa (AEW, ALX, Super Tucano Colombia, Super Tucano Chile, A1M, AEW India, KC 390) (EMBRAER, 2010).

Uma organização adequada do IPD tende a facilitar o alcance das metas estabelecidas, de modo a permitir o controle eficiente dos recursos e a utilização das habilidades certas. Uma outra variação do modelo de IPD, aplicado a um programa de desenvolvimento de aeronaves, é utilizada pela fabricante brasileira de aeronaves, Embraer e está apresentado na Figura 6. A empresa tem seu modelo dividido em cinco fases, com entregas bem definidas no final de cada fase: (1) Definições Iniciais, (2) Definição de Junções, (3) *Design* Detalhado e Certificação, (4) Produção em Série e, (5) Finalização (*phase out*) (EMBRAER, 2010; ARAUJO; CRUZ, 2000).

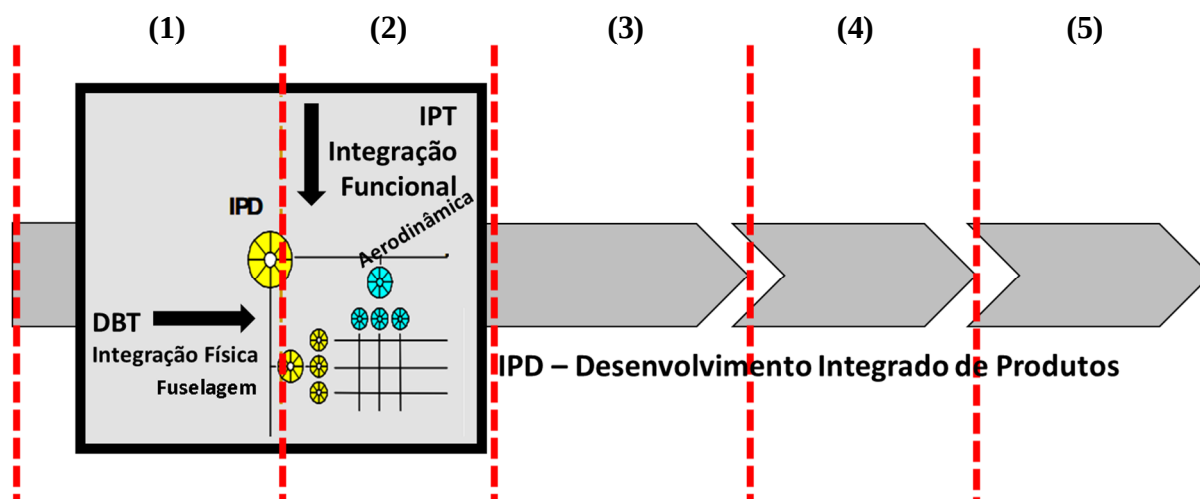


Figura 6: IPD adotado pela fabricante de aeronaves Embraer.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Embraer (2010).

A Embraer tem apresentado um crescente envolvimento com as formas integradas de conduzir o desenvolvimento de produtos (ARAUJO; CRUZ, 2000). A introdução das EIPs - Equipes Integradas de *Design* - foi um passo importante para a integração das atividades de desenvolvimento. Sua aplicação no Programa ERJ145 é considerada de fundamental importância para o sucesso que o produto alcançou no mercado. Durante os programas Sikorsky e EMB314, a evolução das EIPs, com equipes colocadas e uma participação mais intensiva de todas as áreas envolvidas renderam mais benefícios, permitindo uma compreensão mais apurada das necessidades e benefícios da verdadeira integração durante o PDP (ARAUJO; CRUZ, 2000).

As atividades de desenvolvimento de produto estão detalhadas no Quadro 1 e presentes em todas essas fases do IPD. Nesse modelo, prevê-se que todas elas sejam estabelecidas, planejadas, executadas e controladas por equipes multidisciplinares. Dois tipos específicos de equipes são responsáveis pela maioria das atividades de desenvolvimento no programa: (1) IPTs – equipes integradas de produtos: Cada IPT tem a responsabilidade de integrar uma determinada funcionalidade do produto (hidráulica, elétrica, propulsão, ...) nas peças da aeronave e objetos associados (RIGs, simuladores, etc.). Aspectos de suporte, fabricação, etc. de clientes também são de responsabilidade de IPTs específicas. (2) DBTs – equipes de construção de *design*: uma DBT tem a responsabilidade da integração física de uma determinada peça de produto ou objeto relacionado (fuselagem, asa, RIGs, Simulações) e a integração de toda a funcionalidade do produto nesta peça (EMBRAER, 2010; ARAUJO; CRUZ, 2000).

Quadro 1. Atividades de desenvolvimento de produto presentes em todas as fases do IPD.

Fase 1	Integração física através das equipes DBTs.
	Definições iniciais.
	Requisitos de produtos de alto nível (mercado, clientes, autoridades, manufatura, suporte do cliente, dentre outros) identificados.
	Configuração básica do produto definida.
	Produtos: plano geral do programa, diretivas, WBS/SOW e definições básicas do produto.
Fase 2	Integração funcional, por exemplo, das áreas de aerodinâmica e estruturas (fuselagem), através das equipes IPTs.
	Refinamento e validação da configuração inicialmente escolhida.
	<i>Layouts</i> detalhados de <i>design</i> , montagem e interfaces definidos. Análise cuidadosa de cada escolha e seus impactos.
	Geração dos documentos de coordenação de integração (ICDs) que definem as interfaces entre as várias equipes (IBTs e IPTs).
	Entregáveis: modelo geométrico (3D) validado, estrutura anterior do produto, definições do produto, planos para: produção, ferramentas, qualidade, certificação, publicações, testes, manutenção, GSEs (<i>ground support equipment</i>).
Fase 3	<i>Design</i> detalhado e certificação.
	Todos os objetos de <i>design</i> detalhados, incluindo os modelos geométricos, roteiros, ferramentas, GSEs, manuais, catálogos e recomendações de provisionamento.
	Ferramentas computacionais muito utilizadas (CAD, CAE, PDM, etc.).
	Protótipos fabricados, testados e o produto certificado pelas autoridades pretendidas.
	Entregáveis: OES (ordens de modificação de produtos) certificadas e aprovadas por aeronaves.

Fase 4	Produção em série. Produto fabricado, vendido e entregue aos clientes.
	Garantia da evolução contínua do produto e dada assistência ao cliente.
	Alterações do produto (correções e retroalimentação, por exemplo, atualizações tecnológicas).
	Produtos: o produto disponível para entrega e boletins de serviço (BSS) implementados.
	Entregáveis: pedidos de alteração de produto e boletins de serviço aprovados.
Fase 5	Finalização. Fabricação da aeronave finalizada, mantida a frota operacional pelo menos até o final das responsabilidades contratuais.
	Peças de reposição fabricadas e entregues para atender às necessidades dos clientes.
	Atividades de mudança de produto incluindo correções de produto (exigidas por órgãos de certificação, ou para atender a alguma necessidade específica do cliente) e retroalimentação.
	Entregáveis: relatório detalhado indicando todos os itens que devem ser mantidos para suportar a frota e disponibilidade de peças, montagem de ferramentais, modelos, relatórios, etc.) Boletim de serviço implementado.
	Resultados: ordem de alteração do produto e boletins de serviço aprovados.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos trabalhos de Embraer (2010); Araujo e Cruz (2000).

Para a implantação do IPD alguns projetos estratégicos foram adotados pela Embraer. Dentre eles estão maiores investimentos nas etapas iniciais de projeto, pessoas e prontidão tecnológica, fornecedores - seleção e gestão, ferramentas, preparação do plano de negócios, processo de planejamento, liderança, gerenciamento de riscos, gerenciamento de requisitos, gestão integrada de desenvolvimento de produtos, processo experimental e gestão do conhecimento (EMBRAER, 2010). Paralelamente às novas maneiras de organizar e conduzir o desenvolvimento de produtos, a Embraer tem implantado, nos últimos anos, ferramentas e tecnologias importantes para apoiar e melhorar o processo de desenvolvimento de produtos, incluindo PSA (Garantia de Estrutura Prévia), *Mock-up* Eletrônico, CATIA (CAD), Primavera (Planejamento), entre muitos outros (ARAUJO; CRUZ, 2000).

A McDonnell Douglas Aerospace East, grande empresa americana fabricante de aeronaves, também fez uso uma abordagem IPD em seus programas. Como descrito por Weber (1994), o modelo adotado pela empresa é composto por seis fases, sendo que, as primeiras quatro fases conduzem a síntese da configuração, enquanto as duas últimas tratam do desenvolvimento do produto e do processo.

Na fase 1 - Definição de Requisitos de Alto Nível – são definidos os requisitos de alto nível dos produtos, como missão, custo, cronograma e suporte. A definição de requisitos de alto nível geralmente começa com uma necessidade demonstrada ou percebida pelo cliente para um determinado produto. Esses requisitos de alto nível não devem mudar ao longo do programa. É essencial que uma ampla gama de requisitos seja abordada durante essa fase, incluindo os requisitos de negócios, *design*, fabricação e suporte (WEBER, 1994).

Na fase 2 - Conceitos Iniciais - são utilizadas as equipes para desenvolver requisitos de *design*, planos de negócios, planos de manufatura e conceitos de suporte. Durante a fase de conceitos iniciais, os requisitos são integrados em configurações ou conceitos candidatos por um gerenciador de configuração e coordenados com todas as disciplinas (WEBER, 1994).

Na fase 3 - Linhas de Base de Configuração - as equipes desenvolvem configurações candidatas. Os conceitos mais promissores são selecionados através de estudos de comércio. Uma análise mais detalhada e definição de configuração são realizadas para adicionar maturidade a esses conceitos e manter níveis de maturidade equilibrados entre os conceitos. Esses conceitos maduros se tornam linhas de base de configuração (WEBER, 1994).

Na fase 4 - *Layout* conceitual - as equipes desenvolvem o projeto conceitual a partir das linhas de base de configuração, que incluem análise de produtos, resultados de testes, planos de manufatura, planos de suporte e, finalmente, uma configuração de linha de base congelada. A melhor linha de base da configuração geral do projeto é transportada para o *layout* conceitual. O *layout* conceitual define o produto e os principais processos. A configuração está suficientemente definida e pode ser congelada neste momento. Com a configuração congelada, dados e informações suficientes são gerados e liberados para permitir o desenvolvimento de *layouts* de montagem em tamanho normal (WEBER, 1994).

Na fase 5 - *Layout* de Montagem - os *layouts* de montagem de tamanho completo são desenvolvidos na fase cinco. O ponto focal desta fase é o modelo tridimensional eletrônico ou modelos de todas as estruturas e subsistemas em suas verdadeiras posições (WEBER, 1994).

Por fim, na fase 6 - Pacotes *Build-to*, *Buy-to*, *Support-to* - são liberados, incrementalmente, os pacotes prontos para construção, compra e suporte, que contêm todos os dados necessários para produzir um produto de qualidade. Após a fase de *layout* da montagem, todos os elementos necessários são concluídos, documentados, liberados e controlados para adquirir, fabricar, montar e suportar o produto. O pacote *build-to* fornece todos os dados necessários para fabricar todos os componentes necessários. O pacote de compra (*buy-to*) define os requisitos para todos os componentes fornecidos pelo subcontratado. O pacote *support-to* define todos os elementos necessários para suportar totalmente o produto (WEBER, 1994).

2.3 Economia Circular (EC)

O conceito de EC tem origens que não podem ser ligadas a uma única data ou autor. Suas aplicações práticas para os sistemas econômicos modernos e processos industriais, no entanto, adquiriram uma nova dinâmica desde o fim da década de 1970, lideradas por um pequeno número de acadêmicos, líderes intelectuais e empresas. O conceito genérico tem sido aperfeiçoado e desenvolvido através do modelo de EC que sintetiza uma série de importantes escolas de pensamento, incluindo a economia de performance de Walter Stahel; a filosofia de *design Cradle to Cradle* de William McDonough e Michael Braungart; a ideia de biomimética articulada por Janine Benyus; a economia industrial de Reid Lifset e Thomas Graedel; o capitalismo natural de Amory e Hunter Lovins e Paul Hawken; e a abordagem *Blue Economy* como descrita por Gunter Pauli (MACARTHUR, 2012).

Utilizando o conceito de *design* regenerativo, nos Estados Unidos, John T. Lyle começou a desenvolver ideias que poderiam ser aplicados para todos os sistemas, estabelecendo, assim, as bases do *framework* de EC as quais foram notavelmente desenvolvidas e ganharam notoriedade graças ao Bill McDonough, Michael Braungart e Walter Stahel. Walter Stahel, em 1976 esboçou em seu relatório de pesquisa para a Comissão Europeia, “O Potencial de Substituir Mão-de-Obra por Energia”, em coautoria com Genevieve Reday, a visão de uma economia em ciclos (ou EC) e seu impacto na criação de emprego, competitividade econômica, redução de recursos e prevenção de desperdícios (MACARTHUR, 2012).

Walter R. Stahel, em 1982, criou o *Product Life Institute* que busca os principais objetivos: extensão da vida do produto, bens de vida longa, atividades de recondicionamento e prevenção de desperdício. Também insiste na importância de vender serviços ao invés de produtos, uma ideia referida como “economia de serviço funcional” agora mais amplamente incluída dentro da noção de “economia de performance”. Michael Braungart continuou a desenvolver, em conjunto com Bill McDonough, o conceito e o processo de certificação *Cradle to Cradle™*. Essa abordagem de projeto considera todos os materiais envolvidos nos processos industriais e comerciais para serem nutrientes, dos quais há duas principais categorias: técnicos e biológicos. A frase “*Cradle to Cradle*” foi criada por Walter R. Stahel na década de 1970. O modelo atual “*Cradle to Cradle*” é baseado em um sistema iniciado por Michael Braungart e colegas da Agência de Incentivo à Proteção Ambiental (EPEA) nos anos 90 e é focado no *design* para a efetividade em termos de produtos com impacto positivo e redução dos impactos negativos da comercialização através da efetividade (MACARTHUR, 2012).

Segundo MacArthur (2012), outra escola de pensamento de EC é proveniente da Ecologia industrial, a qual foca no estudo dos fluxos de materiais e energia nos sistemas industriais. Concentrando-se em conexões entre operadores dentro do “ecossistema industrial”, essa abordagem visa à criação de processos de ciclo fechado nos quais os resíduos servem como insumo, eliminando assim a noção de um subproduto indesejável. Tem-se também a “inovação inspirada pela natureza”, conhecida como biomimética e criada pela autora Janine Benyuys. Essa abordagem é definida pela própria autora como uma “nova disciplina que estuda as melhores ideias da natureza e então imita esses *designs* e processos para solucionar os problemas humanos”. A biomimética se baseia em três princípios fundamentais: natureza como modelo, como medida e como mentora (MACARTHUR, 2012).

Por fim, iniciada por Gunter Pauli, a *Blue Economy* é um movimento *open source*, que reúne estudos de casos concretos. Como afirma o manifesto oficial, “usando os recursos disponíveis em sistemas em cascataamento (...) os resíduos de um produto se tornam insumos para criar um novo fluxo de caixa”. Baseada em 21 princípios base, a *Blue Economy* insiste em soluções determinadas por seu ambiente local e suas características físicas/ecológicas, colocando a ênfase na gravidade como a fonte primária de energia (MACARTHUR, 2012).

De maneira resumida, pode-se dizer que o conceito de EC foi estabelecido por Walter Stahel há 40 anos (STAHEL; REDAY, 1976/1981), mas apenas recentemente recebeu impulso adicional de “*think-tanks*” (laboratórios de ideias e centros de pensamento ou reflexão), ou seja, instituições ou grupo de especialistas de natureza investigativa e reflexiva cuja função é a reflexão intelectual sobre assuntos de política social, estratégia política, economia, assuntos militares, de tecnologia ou de cultura, como a Fundação Ellen MacArthur. Além disso, a EC vem sendo apoiada por consultorias (NGUYEN; STUCHTEY; ZILS, 2014) e, cada vez mais, iniciativas políticas (YUAN; BI; MORIGUICHI, 2006; SPRING; ARAUJO, 2013).

A EC entrou formalmente no domínio da política pública efetiva na China na Lei de Promoção da Produção Mais Limpa de 2002 e na subsequente Lei de Promoção da EC de 2009 (Comitê Permanente da Assembleia Popular Nacional - China, 2009). O conceito também se tornou o principal pilar do Plano de Ação da União Europeia (UE) para a EC, vários anos depois (ENVIRONMENT, 2015a). Apoiado por uma transição para fontes de energia renovável, o modelo circular se baseia em três princípios e gera capital econômico, natural e social (MACARTHUR, 2012). São tais princípios:

- Eliminar resíduos e poluição;
- Manter produtos e materiais em ciclos de uso;
- Regenerar sistemas naturais.

Esses princípios podem ser voltados aos diversos desafios relacionados a recursos e sistêmicos que a economia industrial enfrenta. Para que sejam proporcionados aumento e preservação do capital natural, a economia circular propõe a desmaterialização dos produtos e serviços sempre que possível e, caso seja necessário o uso de recursos, que sejam escolhidos tecnologias e processos que utilizem recursos renováveis ou apresentam melhor desempenho. Já o segundo princípio é vinculado à ideia de que os produtos e materiais devem ser mantidos em ciclos de uso, ou seja, seus projetos devem ser já elaborados com características planejadas

para que esses possam ser remanufaturados, reformados e reciclados durante seu ciclo de vida (MACARTHUR, 2012).

Por fim, o terceiro princípio diz respeito ao aumento da eficácia do sistema, ou seja, redução de danos a produtos e serviços de que os seres humanos precisam, como alimentos, mobilidade, habitação, educação, saúde e entretenimento. Este princípio também foca na análise das externalidades quanto a possíveis características negativas no uso da terra, ar, água e poluição sonora, liberação de substâncias tóxicas e mudança climática (MACARTHUR, 2012).

2.3.1 Características da Economia Circular

A EC emergiu como uma abordagem chave na transição para um paradigma econômico mais sustentável (DE JESUS; MENDONÇA, 2018). É projetada com o objetivo de eliminar o desperdício por meio de ciclos de montagem, uso, desmontagem e reutilização, praticamente sem desvios ou perdas no sistema em termos de descarte ou mesmo reciclagem. A EC substitui a noção habitual de consumidor, que possui coisas e destrói valor, pelo conceito de usuário. Seu objetivo é substituir os sistemas de produção abertos existentes por fechados que reutilizam recursos e conservam energia (URBINATI; CHIARONI; CHIESA, 2017; MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002; GENG et al., 2009; XUE et al., 2010).

Uma economia orientada para a circularidade deve buscar reconstruir capital de qualquer natureza, seja ele financeiro, manufaturado, humano, social ou natural. Este pensamento garante fluxos fechados de bens e serviços. O fluxo contínuo de materiais técnicos e biológicos através do “círculo de valor” pode ser ilustrado por um diagrama sistêmico apresentado na Figura 7, o qual foi desenvolvido pela Fundação Ellen MacArthur (2012), e que apresenta os três princípios que apoiam a EC: (1) Preservar e aprimorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis; (2) Otimizar o rendimento de recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais em uso no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico quanto no biológico; (3) Estimular a efetividade do sistema revelando e excluindo as externalidades negativas desde o princípio.

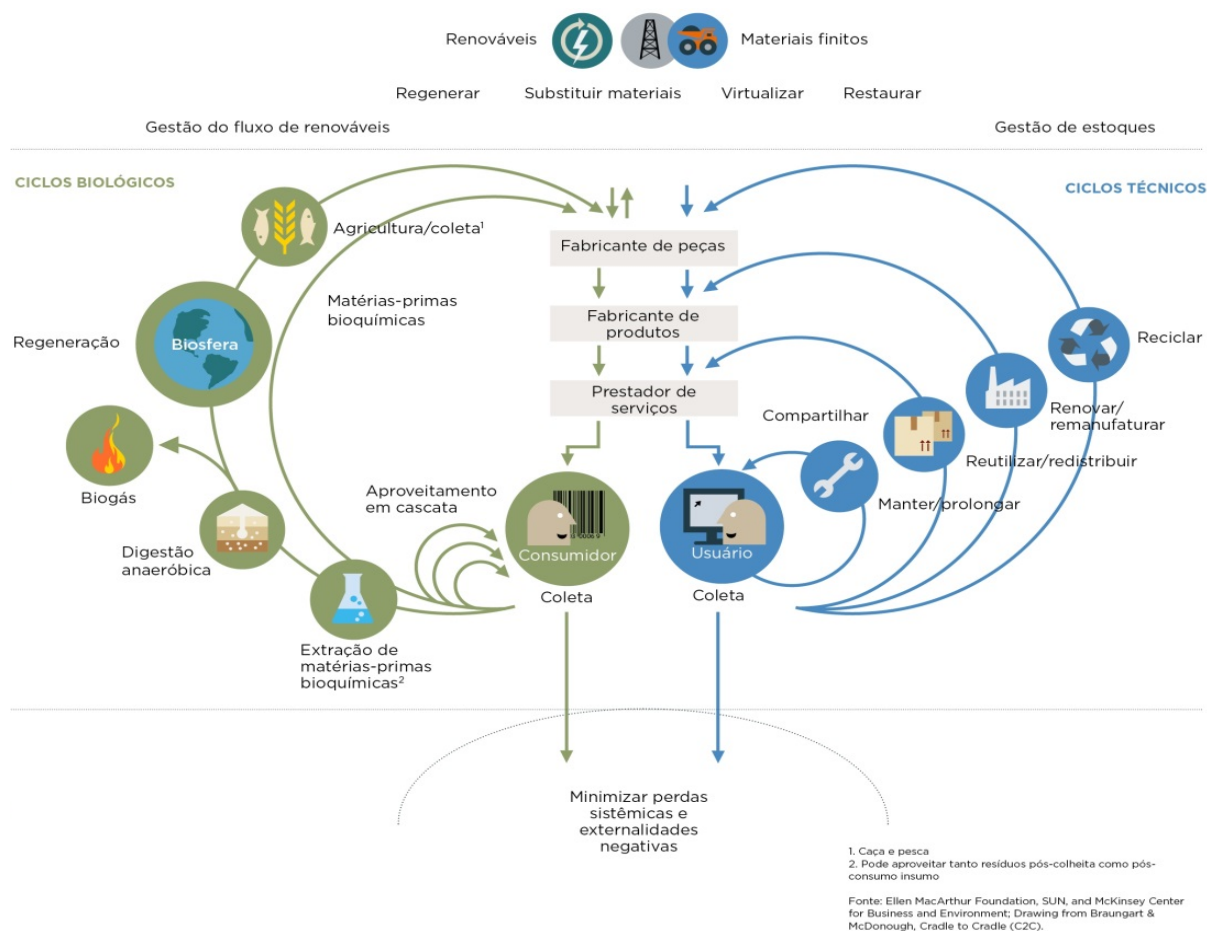


Figura 7. Diagrama sistêmico da EC.

Fonte: Fundação Ellen MacArthur (2012).

Os princípios de EC apresentados revelam-se como importantes para que esse modelo econômico seja colocado em ação, porém, para que seja praticada a EC em sua forma “pura” é descrita por cinco características fundamentais. São elas: *design* sem resíduo, criar resiliência através da diversidade, transitar para o uso de energia proveniente de fontes renováveis, pensar em “sistemas” e pensar em cascatas (MACARTHUR, 2012).

A primeira característica (*design* sem resíduos) visa que um produto tenha seus componentes projetados com a intenção de permanecerem dentro de um ciclo de materiais biológicos ou técnicos, se são concebidos para desmontagem e ressignificação, então não existem resíduos. Com base nessa característica, materiais técnicos como: polímeros, ligas e outros materiais sintéticos, são projetados para ser usados novamente com o mínimo de energia e maior retenção de qualidade. É relevante destacar que a reciclagem, como normalmente entendida, visa uma redução da qualidade e realimenta o processo com matéria-prima bruta (MACARTHUR, 2012).

Principalmente em um cenário no qual as mudanças e as incertezas são diversas e acontecem rapidamente, modularidade, versatilidade e adaptabilidade são características que precisam ser priorizadas. No que diz respeito à diversidade, quando imersos em um ambiente frágil como esse, repleto de choques externos, sistemas diversos com muitas conexões e escalas são mais resistentes do que os sistemas construídos simplesmente para a eficiência – maximizando o rendimento a partir de resultados extremos nas fragilidades. O tipo de energia em uso é também uma das principais características da EC que tem por objetivo, por exemplo, reduzir a necessidade de uso dos insumos à base de combustíveis fósseis. Os sistemas devem operar com energia renovável como energia solar, por exemplo, o que é permitido pelos reduzidos limiares dos níveis de energia exigidos por uma economia circular e restaurativa (MACARTHUR, 2012).

A quarta característica é sobre a capacidade de compreender como as partes se influenciam mutuamente dentro de um todo e as relações do todo com as partes. No pensamento sistêmico, os elementos são considerados em relação ao seu contexto ambiental e social. Esse pensamento geralmente refere-se à maioria dos sistemas do mundo real: são não lineares, ricos em *feedback* (retroalimentação) e interdependentes. Pelo fato de tais sistemas serem descontrolados, ou seja, não terem os resultados proporcionais à entrada e, por muitas vezes, chegarem a consequências surpreendentes devido à combinação entre condições de partida imprecisas e *feedback*, tais sistemas não podem ser geridos no sentido convencional, "linear", exigindo, pelo contrário, mais flexibilidade e frequente adaptação a mudanças das circunstâncias (MACARTHUR, 2012).

A quinta característica, o pensamento em cascatas, diz respeito à possibilidade de extrair valor adicional de produtos e materiais em cascata através de outras aplicações como essência de criação de valor (para os materiais biológicos). Uma importante característica do conceito EC é a importância reconhecida do funcionamento em qualquer escala, ou seja, sua aplicação realizada por indivíduos ou organizações, em um cenário global ou local e ambientes corporativos de pequeno e grande porte. Para que seja completa a transição de um modelo econômico para outro (linear para circular) não é suficiente a realização de ajustes que visem a redução de impactos negativos presentes no atual modelo, é necessária uma mudança sistêmica que constrói resiliência em longo-prazo, gera oportunidades econômicas e de negócios, e proporciona benefícios ambientais e sociais (MACARTHUR, 2012).

2.3.2 Vantagens da Economia Circular

O modelo de economia linear convencional, geralmente, é definido como “tirar-fazer-usar-destruir” (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016); sendo baseado em produtos que são fabricados a partir de matérias-primas, vendidos e, após o uso, são depositados como resíduo, especialmente nos aterros (JAWAHIR; BRADLEY, 2016). Além disso, este modelo não considera outros fatores, como o impacto sobre os capitais sociais, incluindo recursos humanos e conservação de recursos escassos (KOK; WURPEL; TEN WOLDE, 2013).

Em contrapartida, o modelo de EC considera fatores que podem reduzir o desperdício e monitorar de forma mais precisa o consumo de recursos. Por meio da reutilização de materiais existentes, a EC tende a diminuir a necessidade de novas matérias-primas para alimentação do processo produtivo e, essa prática pode ser realizada repensando-se sobre como o produto funciona em um *loop* fechado (KOK; WURPEL; TEN WOLDE, 2013).

A EC oferece diversos mecanismos de criação de valor dissociados do consumo de recursos finitos. O modelo de EC faz uma distinção entre ciclos técnicos e biológicos. O consumo de recursos finitos se dá apenas nos ciclos biológicos e, afora isso, o uso substitui o consumo. Desde que haja energia suficiente, os ciclos técnicos recuperam e restauram produtos, componentes e materiais através de estratégias como reuso, reparo, remanufatura ou (em última instância) reciclagem (MACARTHUR, 2012).

As vantagens importantes do sistema de EC sobre a economia convencional têm motivado muitos estudos, sendo que estes vêm se tornando evidentes na literatura nos últimos anos. Estes estudos examinam diferentes perspectivas da EC dentro de uma ampla gama de aplicações como, por exemplo, manufatura (LIEDER; RASHID, 2016), serviço (TUKKER, 2015), construção (SMOL et al., 2015) e cadeia de suprimentos (ZHU; GENG; LAI, 2010).

2.4 Processo de Desenvolvimento de Produtos no Contexto da Economia Circular

A transição para a EC depende de esforços direcionados ao projeto de produtos. Esse assunto é um domínio político que assume algumas prioridades fundamentais da União Europeia (UE), incluindo o emprego e o crescimento, o investimento, o clima e a energia, a reindustrialização sustentável, a inovação e a coesão social. Em dezembro de 2015, a Comissão adotou o Plano de Ação da UE para a EC (ENVIRONMENT, 2015a), identificando sete áreas de ação: produção (incluindo *design* de produto e processos de produção; consumo; gestão de

resíduos; reforço do mercado de matérias-primas secundárias; inovações específicas em matéria plástica, resíduos alimentares, matérias-primas críticas, construção e demolição, biomassa e produtos biológicos; inovação, investimento e monitorização. As iniciativas a nível da UE também devem ser complementadas pelas autoridades locais, regionais e nacionais. Os Estados e as Regiões são encorajados a desenvolver seus próprios planos de ação para a implementação da EC abordando as sete áreas, e um número crescente está fazendo isso: Inglaterra, País de Gales, Escócia, Catalunha, Dinamarca e Holanda (MACARTHUR, 2015a).

Por meio de pesquisa realizada em estudos de caso e entrevistas com especialistas, a Fundação Ellen MacArthur (2012) identificou um conjunto de seis ações que empresas e governos podem adotar visando à transição para a EC: regenerar, compartilhar, otimizar, ciclar, virtualizar e trocar. Juntas, essas ações formam a estrutura ReSOLVE. A estrutura ReSOLVE proporciona a empresas e governos uma ferramenta para a geração de estratégias circulares e iniciativas voltadas para o crescimento. A estrutura ReSOLVE é, então, dada por:



Figura 8. Modelo ReSOLVE, EC.

Fonte: Fundação Ellen MacArthur (2012).

De maneiras diferentes, essas ações tendem a aumentar a utilização de produtos, prolongar sua vida e promover a substituição do uso de recursos finitos pelo de fontes

renováveis. As ações estão relacionadas, reforçando e acelerando o desempenho umas das outras. Essas ações são usadas como base na definição das práticas aplicadas nas empresas para a transição de um modelo econômico linear a um modelo circular.

Para que seja possível a inserção eficaz desse novo viés do processo de PDP é relevante que as empresas sejam capazes de adaptarem-se de forma satisfatória, sendo necessárias otimizações na cadeia de suprimentos, no *design* de produtos, na seleção de matérias-primas, nos processos de produção e em sua entrega aos consumidores, conforme observaram trabalhos como o de Linton et al. (2007) e Darnall et al. (2008), o que reforça o grau de importância de pesquisas sobre o desenvolvimento de novos produtos, de modo a integrar também práticas consideradas “verdes” neste processo.

Dentro do Plano de Ação da UE para a EC, há uma ênfase no papel do *design* de produto na EC (WHICHER et al., 2018). Especificamente, o plano defende os princípios de *design* para durabilidade, reparo, atualização e remanufatura, abordando a questão da obsolescência planejada e possibilitando a circularidade por meio da vida estendida dos produtos, reutilização e remanufatura, conforme resumido na Figura 9 (WHICHER et al., 2018; RSA GREAT RECOVERY, 2016).

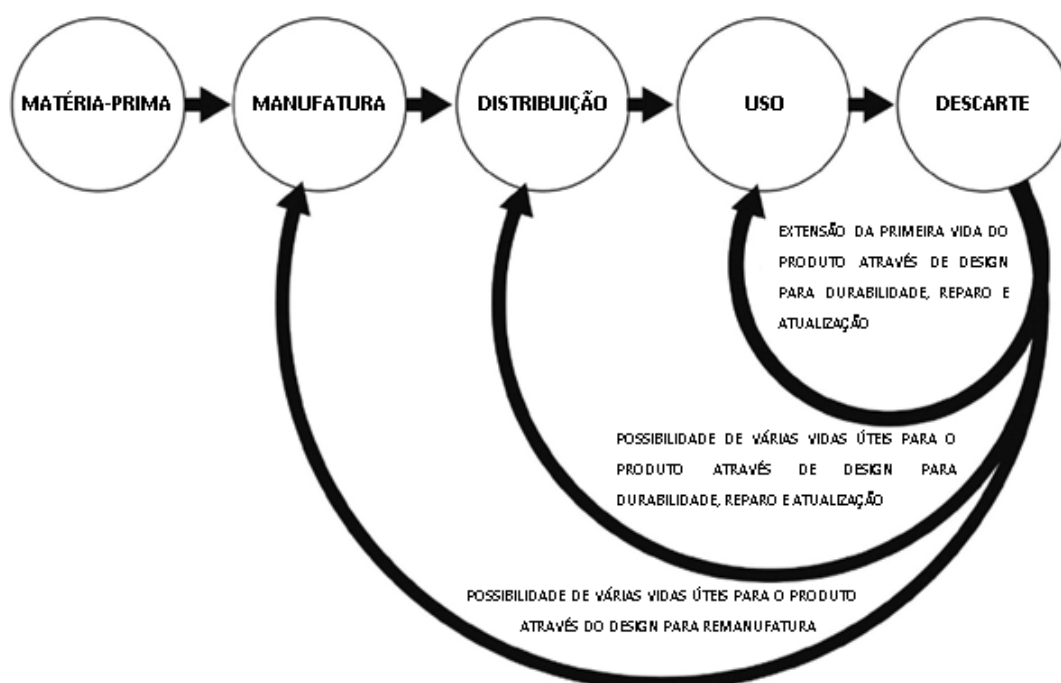


Figura 9. Abordagens de EC permitidas por meio de estratégias de *design* de produto.

Fonte: Adaptado de RSA Great Recovery (2016).

Esses princípios estão bem estabelecidos, mas como eles são aplicados e quão efetivos eles são para alcançar os objetivos de uma EC dependem das atividades de outras partes

interessadas (HATCHER; IJOMAH; WINDMILL, 2011; BAKKER et al., 2014; LOVINS et al., 2014; SCHENKEL et al., 2015; LIEDER; RASHID, 2016; RSA GREAT RECOVERY, 2016). A transição para a EC significa toda uma mudança no sistema. Há uma necessidade de inovação não apenas em *design* de produto, métodos de produção e tecnologias, mas também em políticas, modelos de negócios, financiamento e comportamento do consumidor (MACARTHUR, 2015a).

2.5. Sustentabilidade Ambiental no Desenvolvimento de Produtos Aeronáuticos

Observa-se no setor aeronáutico um crescimento exponencial nos últimos anos devido à urbanização. A demanda por viagens de passageiros deverá aumentar 5% ao ano nos próximos 20 anos, e um total de 56.000 novas aeronaves será necessário em 2040 para acomodar a demanda projetada. Este setor contribui com cerca de US\$ 664 bilhões do PIB por ano na economia mundial e estima-se que este alcance US\$ 1 trilhão para o PIB mundial em 2026 (RAJ; SRIVASTAVA, 2017).

Esse crescimento na aviação vem sendo acompanhado por investimentos quando ao desenvolvimento de tecnologias e aplicação de novas soluções tecnológicas para minimizar o consumo de energia, o impacto ambiental e os custos do ponto de vista de um cientista térmico em relação ao desenvolvimento sustentável (BALLI; SOHRET; KARAKOC, 2018). Nos últimos anos, vários novos conceitos de EC ganharam visibilidade. A incorporação do pensamento ambiental em vários aspectos no desenvolvimento de produtos aeronáuticos como *design* de produto, fornecimento de materiais e seleção de fornecedores sustentáveis, processos de fabricação, entrega do produto final aos consumidores, bem como gerenciamento de fim de vida útil (EOL). produto após sua vida útil (RAJ; SRIVASTAVA, 2017).

A indústria da aviação estabeleceu três metas globais para enfrentar seus impactos climáticos: i) uma melhoria média anual na eficiência de combustível de 1,5% de 2009 a 2020; ii) um limite nas emissões líquidas de CO₂ da aviação nos níveis de 2020 através do crescimento neutro em carbono; iii) reduzir pela metade as emissões líquidas de CO₂ até 2050, em comparação com os níveis de 2005 (AYGUN; TURAN, 2019). O aumento invariável no número de passageiros e o aumento no número de expedições com viagens aéreas com base nesse aumento afetaram seriamente a taxa de emissão prejudicial na atmosfera. Essa situação esclareceu ainda mais a influência das aeronaves comerciais no meio ambiente (AYGUN; TURAN, 2019). Assim, as opções de redução disponíveis para reduzir as emissões de CO₂ no

setor de aviação comercial podem incluir mudanças nas operações de aeronaves; melhorias na infraestrutura; adquirir tecnologias de aviação para melhorar a eficiência; reabastecimento com combustíveis alternativos e mudanças comportamentais (YIN et al., 2018).

As aeronaves que entram na frota operante, atualmente, são mais de 80% mais eficientes em termos de combustível do que a primeira aeronave a jato nos anos 50, consumindo uma média de 3,5 litros por passageiro por 100 km (AYGUN; TURAN, 2019). O Airbus A380 e o Boeing 787 - consumindo menos de 3 litros por 100 passageiros-quilômetros - comparam-se favoravelmente aos carros familiares pequenos, com as aeronaves também apresentando uma taxa de ocupação média mais alta (AYGUN; TURAN, 2019). Além da emissão de CO₂, a aviação tem um efeito ainda maior sobre o meio ambiente devido à emissão de NO_x, H₂O e sulfato, etc. sendo que o impacto dessas emissões varia (CHEN; REN, 2018).

Além disso, o petróleo bruto é um tipo de recurso natural limitado sujeito a esgotamento e, portanto, o uso atual de combustível de aviação também pode causar outros problemas ambientais, como o esgotamento da terra e a poluição da água. Finalmente, a dependência de uma única fonte de combustível traria incerteza quanto à segurança futura do suprimento de combustível e aos custos operacionais. Segurança e garantia do fornecimento de combustível são os dois principais pilares no desenvolvimento da tecnologia de combustível de aviação. Com a expansão dos aeroportos em todo o mundo e o aumento das preocupações com o meio ambiente, a pegada ambiental da aviação se torna uma dimensão importante para a tecnologia de combustível de aviação (CHEN; REN, 2018).

Uma crescente conscientização das pessoas sobre o transporte ecológico está forçando a indústria da aviação a projetar aeronaves mais “verdes”. Portanto, fez-se necessário aumentar a eficiência do motor, alterando o *design* da aeronave ou o combustível utilizado. Para os motores de turbinas a gás, uma das abordagens mais importantes, para reduzir os impactos ambientais que ocorrem devido ao uso de fontes de energia, é aumentar a eficiência dos recursos utilizados. Os sistemas de conversão de energia devem ser analisados para aumentar em termos de eficiência e desempenho (AYGUN; TURAN, 2019).

Simultaneamente, observa-se que a oferta dos produtos que buscam minimizar impactos ao meio ambiente tem sido valorizada (JI; MA; LI, 2015; KIRCHOFF; KOCH; SATINOVER NICHOLS, 2011) e que os padrões de consumo e de produção têm apresentado significativas mudanças ao longo das últimas décadas (SMITH; OFFODILE, 2016).

Cadeia de fornecimento sustentável e desenvolvimento sustentável são a necessidade do momento não apenas devido a pressões regulatórias, mas também para manter a competitividade de uma empresa no mercado. Os benefícios associados ao desenvolvimento sustentável incluem um aumento no sucesso econômico, mitigação de questões ambientais e aumento dos níveis de satisfação de funcionários e clientes, independentemente da indústria ou setor (RAJ; SRIVASTAVA, 2017). A cadeia de fornecimento geral da fabricação de aeronaves é muito complexa, e um processo de fluxo típico é mostrado na Figura 10 (RAJ; SRIVASTAVA, 2017).

A aplicação de conceitos de EC no processo da cadeia de fornecimento geral da fabricação de aeronaves pode ajudar as empresas a desenvolver estratégias do tipo “ganha-ganha”, construir imagem de marca, expandir participação de mercado e aumentar a lucratividade sem degradar o meio ambiente, visto que, os conceitos de EC proporcionam a reentrada de resíduos no PDP através da reciclagem, remanufatura, reuso. Para o desenvolvimento de negócios sustentáveis, os princípios e temas subjacentes da sustentabilidade precisam ser compreendidos pelos profissionais (RAJ; SRIVASTAVA, 2017).

A integração desses dois cenários tem feito com que as grandes fabricantes de aeronaves e componentes como Airbus, Boeing e General Electric repensassem seu processo de manufatura quanto à necessidade de evolução do processo convencional para um processo de manufatura sustentável (HALLSTEDT; BERTONI; ISAKSSON, 2015); e viabilizando essa estratégia por meio da implantação de materiais primários alternativos e processos inovadores de fabricação que permitam a redução da elevada razão “*buy-to-fly*”, ou seja, a massa de matéria-prima necessária por unidade de massa de componente acabado (ALLWOOD et al., 2011).

O relatório Flightpath 2050 (2011) “*A Visão da Europa para a Aviação*”, emitido pela Comissão Europeia dos Transportes sugere que a sustentabilidade será um importante impulsionador para o desenvolvimento de motores aeronáuticos e estruturas de ar no futuro. Portanto, manter o setor aeroespacial sustentável no longo prazo é um desafio real e torna-se importante investigar o estado de sustentabilidade nesse setor. O setor precisa se concentrar na avaliação do desempenho da sustentabilidade, tanto nos níveis da empresa quanto da cadeia de suprimentos (RAJ; SRIVASTAVA, 2017).

Asmatulu, Twomey e Overcash (2013), notaram que materiais avançados utilizados na aeronáutica são caros e requerem grande quantidade de energia em seu processo de manufatura. A recuperação desses materiais proporciona uma série de benefícios como a redução do uso de recursos naturais, diminuição das alocações de aterros e impacto ambiental (aéreo, solo e água), aumento das oportunidades de trabalho, melhoria da eficiência energética do país e estímulo ao mercado de produtos reciclados (ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013).

Há muitas oportunidades de pesquisa no campo da sustentabilidade relacionadas a dimensões, características e gerenciamento de desempenho. Além disso, quantificar o desempenho da sustentabilidade pode se tornar um requisito regulatório no futuro próximo. No entanto, a literatura que aborda o desempenho de sustentabilidade é escassa. Particularmente, alguns dos setores como o aeroespacial não foram estudados na literatura existente do ponto de vista da sustentabilidade (RAJ; SRIVASTAVA, 2017).

Visando estudar a indústria aeronáutica sobre a ótica da sustentabilidade, mais especificamente, da EC no PDP, essa pesquisa apresentou uma revisão teórica a respeito dos principais temas de interesse desse trabalho para que eles estivessem bem definidos. A EC foi apresentada, bem como, seus principais conceitos. Foi feita a descrição geral do PDP e, de forma mais específica, apresentado o PDP da indústria aeronáutica. Dessa forma, o próximo capítulo descreve o método de pesquisa adotado para o cumprimento dos objetivos deste trabalho.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta as fases que compõem o Método de Pesquisa adotado. O método é composto por duas fases, uma analítica e outra empírica. A execução da primeira fase baseou-se na busca por uma base teórica que compõe a literatura sobre os temas de interesse, EC e PDP. Na sequência, foi dado início à segunda fase do método de pesquisa, onde foram realizados três *workshops* com profissionais da área de desenvolvimento de produtos aeronáuticos para a avaliação do cenário de adoção de iniciativas de EC pela indústria aeronáutica.

3.1 Fase Analítica – Busca na Literatura

Para o desenvolvimento desta fase de pesquisa, foram realizados acessos ao banco de dados internacional *Scopus* para identificação de artigos científicos acerca dos temas EC, modelo ReSOLVE, desenvolvimento de produtos aeronáuticos e manufatura de aeronaves. Esta pesquisa foi realizada em duas etapas. A primeira etapa realizada nessa base de dados teve por objetivo identificar a relevância atual do tema central desta pesquisa, EC, observando-se a fase de maturidade do mesmo quanto ao número de publicações, ou seja, se em ascensão ou decadência para que fosse analisada a viabilidade em pesquisar-se sobre o assunto.

As buscas foram realizadas em março de 2019. A primeira delas, sobre o termo “*circular economy*”, foi realizada sem restrição de período ou acesso, porém, restrita sobre o tipo do documento de interesse, na qual foram considerados relevantes para essa pesquisa artigos publicados e artigos *in press*. A expressão de pesquisa na base de dados, sobre o termo de busca “*circular economy*”, foi: *TITLE-ABS-KEY ("circular economy") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "ip"))*. Para essas categorias foram encontrados 1973 e 86 documentos, respectivamente, totalizando 2059 documentos.

A segunda fase da pesquisa teórica foi iniciada, não mais apenas quanto ao tema central dessa pesquisa, mas conforme enquadramento ao tema final de interesse, ou seja, a EC aplicada ao PDP aeronáutico. Nesta fase foram realizadas duas buscas sendo que, a primeira delas, fazia integração direta entre os temas EC e a indústria aeroespacial. Ao todo, foram identificados durante esta fase da revisão teórica apenas 6 documentos (6 artigos publicados e 0 artigos *in press*) que vinculam os termos de busca “*circular economy*” *AND* (“*aircraft*” *OR* “*airplane*” *OR* “*aerospace*” *OR* “*aviation*” *OR* “*aeronautical*”). A expressão de pesquisa na base de dados foi: *TITLE-ABS-KEY ("circular economy" AND ("aircraft" OR "airplane" OR*

"aerospace" OR "aviation" OR "aeronautical")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "ip"))).

Devido à baixa quantidade de documentos encontrados, efetuou-se uma segunda busca, desta vez ampliando-se o conceito de EC para o tema sustentabilidade, com o objetivo de identificar-se o viés de sustentabilidade da indústria aeroespacial e realizar a avaliação histórica sobre o aumento ou diminuição de pesquisas sobre o tema. Ao todo, foram identificados durante esta fase da revisão teórica 459 documentos (453 artigos publicados e 6 artigos *in press*) que vinculam os termos de busca *"sustainability" AND "aircraft OR airplane OR aerospace OR aviation OR aeronautical"*. A expressão de pesquisa na base de dados foi: *TITLE-ABS-KEY ("sustainability" AND ("aircraft" OR "airplane" OR "aerospace" OR "aviation" OR "aeronautical")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "ip"))).*

Na análise de histórico de publicações sobre EC, correspondente à primeira fase dessa pesquisa, nota-se um crescimento abrupto de pesquisas nessa área a partir de 2015, sendo que o crescimento se mantém ao longo dos últimos anos, a partir daquela data. Durante a segunda fase da pesquisa é possível identificar crescimento significativo do interesse pelo tema sustentabilidade a partir de 2005 e, crescimento ininterrupto desde 2015. Dessa forma, esse foi considerado o período de interesse sendo feito um recorte temporal de 5 anos (2015–2019); em que reduziu o número de documentos para 239 documentos. Dos artigos encontrados todos os resumos estavam disponíveis para leitura no idioma inglês, então, foram lidos para avaliação do conteúdo e relevância para essa pesquisa.

De acordo com o tema de interesse, foram classificados como parte da revisão teórica 110 desses artigos. O Quadro 2, no Apêndice 1, apresenta todos esses trabalhos. A Figura 11 sumariza o método de busca adotado neste trabalho.

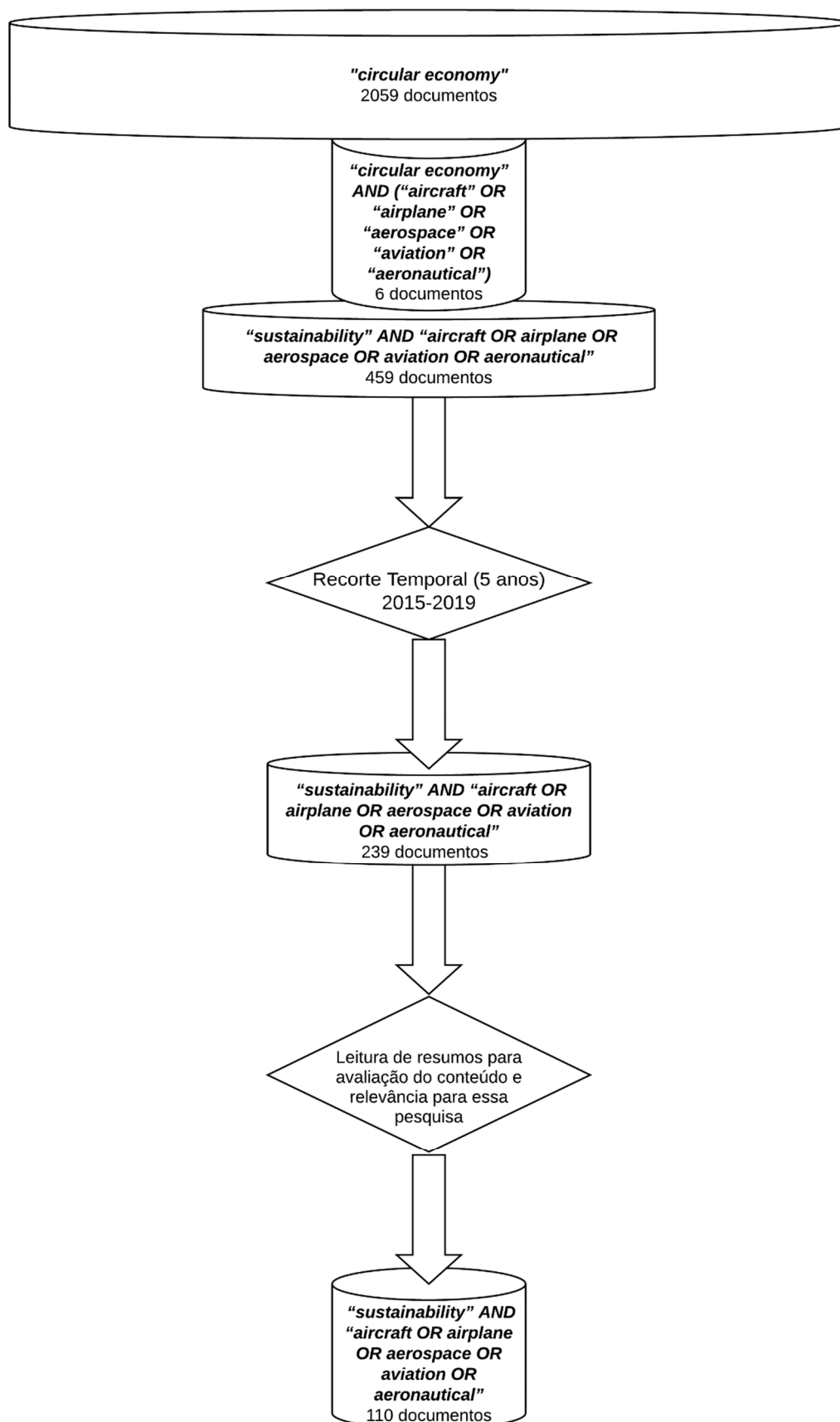


Figura 11. Método de busca por documentos acadêmicos na plataforma *Scopus*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Além dos documentos resultantes do processo de busca, foram acrescentados artigos considerados relevantes pelo autor que envolvessem um dos temas de interesse dessa pesquisa e não a intersecção dos temas (resultado das buscas), tais como: Govindan e Hasanagic (2018) e Kok, Wurpel e Ten Wolde (2013). Assim, os documentos selecionados foram usados como base para a composição do *framework*.

Após a conclusão das buscas, iniciou-se a leitura dos artigos e a construção do *framework* teórico, sendo o modelo ReSOLVE adotado como base. Primeiramente, foram investigadas práticas teóricas de EC nos artigos encontrados durante a busca e tais práticas foram relacionadas às seis ações que empresas e governos podem adotar visando à transição para a EC. Em seguida, foram levantadas, também na literatura, as iniciativas adotadas na indústria aeronáutica que se relacionam com àquelas práticas encontradas na literatura para o tema central, EC.

Com base nas informações adquiridas por meio do método apresentado, a proposta desse trabalho foi desenvolver um *framework* teórico que incorporasse características de EC, definidas pelas ações propostas no modelo ReSOLVE, às fases do PDP aeronáutico. Ou seja, através da indicação de práticas de EC levantadas na literatura e vinculadas às ações circulares do modelo ReSOLVE, o *framework* deveria tornar possível avaliar os exemplos de iniciativas de EC a estarem sendo adotadas nas empresas aeronáuticas.

3.2 Fase Empírica – Workshops na Indústria Aeronáutica

Para a elaboração dessa etapa da pesquisa foram realizados três *workshops* na indústria aeronáutica para que o *framework* aqui apresentado fosse avaliado e, possivelmente, complementado com iniciativas adotadas pela indústria e não encontradas na literatura. Para a composição do *framework* final, as iniciativas teóricas e aquelas comentadas nos *workshops* foram avaliadas conforme conteúdo, dessa maneira, tratando-se de uma mesma prática ou de práticas similares, sendo agrupadas de forma a se unificarem em uma iniciativa apresentada no *framework*.

Os primeiros dois *workshops* buscaram observar a adoção de práticas sustentáveis e iniciativas de EC no PDP da aviação mundial, nos seguimentos comercial, executivo e de defesa. Os dois perfis foram escolhidos de forma a avaliar os efeitos da imersão em território nacional e no exterior. O terceiro *workshop* foi realizado com o objetivo de identificar os

exemplos de iniciativas adotados por empresas de pequeno porte que integram o mercado nacional de operadores e fabricantes de aeronaves.

3.2.1 *Perfis das Empresas e dos Participantes*

- Caracterização da Empresa 01

O primeiro *workshop* foi realizado com o engenheiro, coordenador do departamento de *Design for Environment* e mais três engenheiros, contratados através do Programa de Especialização em Engenharia (PEE) de mestrado profissional gerido pela Empresa 01 em parceria com o ITA, integrantes deste departamento. A Empresa 01 é um grupo empresarial transnacional brasileiro fabricante de aviões, fundado em 1969 com a ajuda do governo nacional, e que imediatamente começou a transformar o cenário da tecnologia brasileira. O primeiro avião produzido pela empresa foi um turboélice projetado para fins civis e militares, com capacidade para transportar entre 15 e 21 passageiros e, desde então, outros projetos foram idealizados e desenvolvidos nos segmentos comerciais, executivos, agrícolas e militares, em como, peças aeroespaciais, serviços e suporte na área.

A empresa tem sede no município de São José dos Campos (SP), Brasil, e possui mais de 18.000 colaboradores. Já entregou mais de 8.000 aeronaves e é, atualmente, a terceira maior fabricante de jatos comerciais. Possui diversas unidades no Brasil e no exterior, inclusive *joint ventures* na China e em Portugal. Em julho de 2018, uma corporação multinacional norte-americana de desenvolvimento aeroespacial e de defesa adquiriu 80% da divisão de aviação comercial da empresa. A *joint venture* criou, então, uma nova empresa. O grupo empresarial transnacional brasileiro permaneceu com as linhas de aviação de defesa e executiva.

- Caracterização da Empresa 02

O segundo *workshop* foi realizado com um engenheiro que também atua como diretor de programas da empresa. A empresa desenvolve soluções tecnológicas e tem sede de 18.000 m² de área construída, localizada em São José dos Campos (SP), Brasil. Na Empresa 02, o participante é responsável pelo gerenciamento de diversos programas de desenvolvimento de aeronaves civis, executivas e de defesa. Além de desempenhar uma função técnica no quesito avaliação dos resultados da engenharia, o participante também é responsável pelos custos do projeto e administração dos recursos do programa, o que faz dele responsável pela viabilidade do desenvolvimento dos projetos. Desde sua fundação em 1992, a empresa desenvolve produtos

de alta tecnologia para os mercados aeroespacial e de defesa, sendo 16 países atendidos, exigentes de altos padrões de qualidade.

Com mais de 25 anos de experiência em inovação tecnológica na aeronáutica, a empresa é atualmente uma das principais provedoras de soluções completas no segmento aeroespacial e de defesa no Brasil, tendo alcançado o marco de 6,5 milhões de horas de engenharia desde a sua fundação. Com uma equipe de 350 profissionais apoiada por ferramentas tecnológicas avançadas e práticas e processos de gestão já estabelecidos, a empresa atua desde o projeto de peças e segmentos, passando pela integração de sistemas, aquisição de tecnologia, treinamento e capacitação de pessoal, soluções de manufatura e gerenciamento, a empresa oferece as soluções que visam ser mais inovadoras, econômicas, otimizadas e customizadas. Ela também demonstra ter capacidade para desenvolvimento integrado de novos produtos, integração do sistema em plataformas pré-existentes, modificação e modernização de plataformas, projetos locais integrando capacidades cadeia de fornecedores de aeroespço e defesa brasileira.

Em 2007 a empresa iniciou um projeto de cooperação com uma empresa desenvolvedora e fabricante de sistemas de defesa e segurança aeroespacial, sediada na Suécia. O principal foco da empresa sueca na produção de aeronaves é para aviões de caça, tendo feito aeronaves desde a década de 1930. Em 2015 a empresa sueca concluiu o acordo com a brasileira para a aquisição de 15% e, em 2017, a empresa sueca adquiriu mais 10% das ações da empresa brasileira, chegando a possuir 25% do capital. Já havia sido feito aporte de recursos equivalente a participação de 15%, em maio de 2012, mas não incluía a conversão em ações. A operação, um empréstimo conversível em ações, prevê que o limite de participação sueca seja de 40%. Assim, a empresa brasileira garante que o controle da companhia continue sendo nacional, não afetando desta forma a sua classificação como Empresa Estratégica de Defesa (EED).

A empresa brasileira foi a primeira empresa nacional a participar do desenvolvimento do caça multiuso leve monomotor de quarta geração e meia, recentemente adquirido pela FAB. A empresa sueca contratou a empresa brasileira 2009 para desenvolver parte da fuselagem do avião e, em novembro de 2014, o participante foi promovido para o cargo de líder técnico global. Hoje, a empresa brasileira é responsável pelo desenvolvimento de toda a fuselagem da aeronave, além das asas e da porta do trem de pouso. Além da parte de engenharia da aeronave, vai atuar no planejamento de produção dos aviões, da cadeia de suprimentos e qualidade.

- Caracterização da Empresa 03

O terceiro *workshop* foi realizado com o gerente comercial de uma *startup* residente do *Pulse Hub* de Piracicaba, SP. Na Empresa 03, o participante também está envolvido diretamente no PDP, porém, diferentemente da Empresa 01, onde o grupo possuía um viés mais técnico, de engenharia, o participante da Empresa 03 tem um perfil de diretor comercial estando diretamente ligado ao mercado consumidor e sendo responsável pela captação dos desejos do mercado e transferência de requisitos à engenharia. A *startup* surgiu de uma iniciativa por parte de uma grande companhia sucroenergética brasileira, em parceria com o fundo gestor de capital SP Ventures e uma empresa de *software* em Buenos Aires, Argentina. Seu principal produto é voltado a análise de pulverizações aéreas. O objetivo do sistema é gerar relatórios de análises de pulverizações através dos arquivos de LOG dos aparelhos DGPS das aeronaves que realizam as aplicações. O sistema foi construído em ambiente de nuvem (*cloud computing*), o que permite que ele seja executado em qualquer computador com acesso à internet. Além disso, oferecem ainda um aplicativo para *smartphones* e *tablets* Android e iOS. O sistema ainda é protegido por patentes nacionais e internacionais.

O participante do *workshop* também já atuou como diretor comercial de uma fábrica de aeronaves, que atua desde a elaboração do projeto até a montagem final e entrega para os clientes, fundada em 2002. A empresa teve participação significativa no mercado brasileiro de aeronaves experimentais, com, aproximadamente, 240 aeronaves entregues. Em 2013 a empresa transferiu sua sede da cidade de Campinas para a cidade de São João da Boa Vista, ambas no estado de São Paulo, recebeu novos sócios e a partir de então, passou por um processo de transformação visando migrar para o mercado de aeronaves certificadas, no Brasil e exterior.

A empresa possui uma infraestrutura com uma área de 22.500 m², equipada com recursos e processos modernos, bem como ferramentas e *softwares* no mesmo padrão dos utilizados pelos grandes fabricantes mundiais. Em linha com a estratégia de consolidação de um polo aeronáutico em São João da Boa Vista, a empresa vem formando parcerias com diversas universidades, dando início a uma atuação sinérgica academia-indústria, base para o estabelecimento de linhas de pesquisa aplicáveis às áreas de atuação da empresa. A empresa mantém um departamento de desenvolvimento de produto, composto por um time multidisciplinar com mais de 20 integrantes, cujas especialidades abrangem todas as áreas tecnológicas necessárias ao desenvolvimento de uma aeronave, a saber: engenharia aeronáutica

(aerodinâmica, cargas, estruturas, estabilidade e controle, simulação, sistemas), engenharia elétrica e eletrônica, certificação, projeto, engenharia de manufatura e controle do produto.

A empresa mudou sua marca em 2017 e está prestes a lançar seu primeiro produto a ser certificado. À frente do setor comercial da empresa, o participante desenvolveu a fase informacional e participou das fases conceitual, preliminar e detalhada deste projeto. Uma aeronave asa alta cantilever com interior de alto padrão para 05 assentos.

3.2.2 *Condução dos Workshops*

Os *workshops* foram conduzidos pelo pesquisador em duas etapas. Inicialmente, foi feita uma apresentação de *slides* em *PowerPoint* que contextualizasse a elaboração desse trabalho, introdução aos temas de pesquisa, justificativas, objetivos, método de pesquisa e resultados oriundos da literatura. Assim, os participantes puderam se familiarizar com o tema e *status* do trabalho. O *framework* foi, então, apresentado e os quadros teóricos detalhados foram explicados de maneira geral quanto à ideia central de avaliar-se práticas de EC e exemplos de iniciativas na indústria aeronáutica correlacionados às seis ações descritas pelo modelo ReSOLVE.

Na segunda etapa, o *framework* foi avaliado tópico a tópico pelos participantes por meio dos quadros teóricos detalhados. Nesta etapa, os participantes do *workshop* realizavam seus comentários a respeito das práticas e iniciativas presentes no quadro. Além disso, o participante acrescentava ao quadro algumas práticas executadas pela indústria, que eram de seu conhecimento e/ou participação, porém, não constavam na literatura. Ainda nessa fase, foram identificados pelos participantes diversos projetos de aplicação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados Teóricos

Para a apresentação dos resultados dessa pesquisa, o PDP da indústria aeronáutica e suas fases, representados na Figura 12, foram adaptados dos modelos propostos por Rozenfeld et al. (2006) e Raj e Srivastava (2017). Para melhor visualização dos resultados, as fases foram divididas em vistas ampliadas (*zoom*) para cada uma das nove fases do PDP e podem ser visualizadas no Apêndice 2.

A adoção de práticas ambientalmente sustentáveis na indústria aeronáutica foi analisada mediante resultados encontrados durante a revisão sistemática da literatura e cada um dos exemplos de iniciativas sustentáveis na indústria aeronáutica foi, então, relacionado a uma prática de EC adotada pela indústria geral, assim como, às ações circulares propostas pelo modelo ReSOLVE. Ao todo, os exemplos teóricos se desdobraram em 25 iniciativas e foi gerado um *framework*, conforme Quadro 3. Neste *framework*, os 25 exemplos de iniciativas foram relacionados à fase do PDP em que os mesmos devem ser praticados, ou seja, se executados durante a etapa de projeto das aeronaves, a fabricação, a montagem, a operação, a desmontagem, o descarte, a reciclagem, a remanufatura, o reuso, dentre outras.

Em seguida, o *framework*, foi representado de maneira ilustrativa, como mostrado na Figura 13. Para facilitar a identificação visual, adotou-se uma legenda geométrica, onde cada forma faz referência a uma das ações do modelo ReSOLVE, ou seja, determina uma categoria de iniciativa. Para o *framework* apresentado na Figura 13, o mesmo procedimento de aproximação para melhor visualização dos resultados foi adotado. Cada uma das nove fases do PDP e as iniciativas encontradas na literatura estão apresentadas no Apêndice 4.

Os quadros 4, 5, 6, 7, 8 e 9 apresentam de forma detalhada os resultados teóricos encontrados durante a revisão de literatura. Assim, em cada um dos quadros são apresentados: a ação proposta no modelo ReSOLVE, as práticas de EC propostas por diversos estudos e os exemplos de iniciativas adotadas na indústria aeronáutica descritos em literatura.

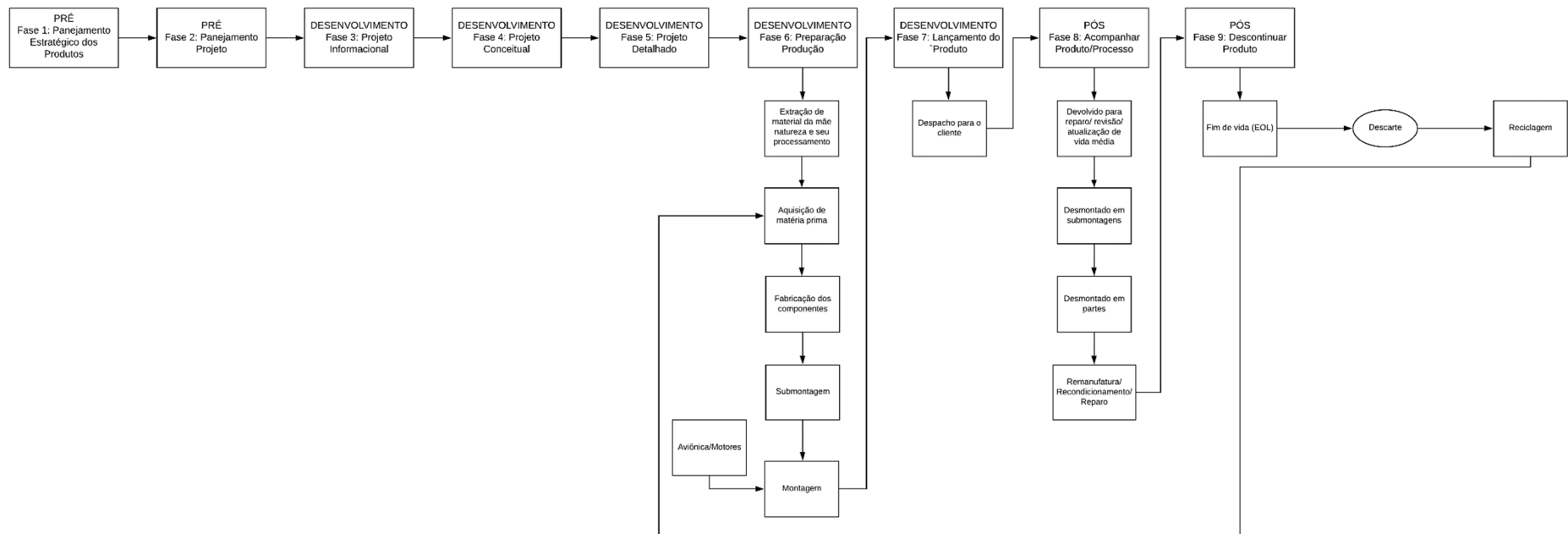


Figura 12. PDP da indústria aeronáutica.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Quadro 3. *Framework* de iniciativas de EC da indústria aeronáutica: literatura.

Pré Fase 1: Planejamento Estratégico dos Produtos	Virtualizar	Aplicação de TI verde (<i>e-commerce</i> , edifícios inteligentes, inteligência artificial e sistemas de transporte inteligentes).
Pré Fase 2: Planejamento Projeto	Regenerar	Aquisição de tecnologias de aviação para melhorar a eficiência.
Desenvolvimento Fase 3: Projeto Informacional	Regenerar	Mudanças comportamentais sobre redução emissões de CO ₂ .

Desenvolvimento Fase 4: Projeto Conceitual	Regenerar	Uso de novas tecnologias de propulsão (ex.: elétrica).
		Uso de combustíveis alternativos (hidrogênio liquefeito, biocombustíveis).
	Otimizar	Projeto de aeronaves de massa reduzida.
		Uso de ferramentas de modelagem computacional para simular impacto de otimizações no desempenho da aeronave.
		Projeto ou melhoria dos sistemas de produção de energia (tecnologia e redução da perda).
		Algoritmo de automação do PDP para o projeto conceitual de estruturas de aeronave.
Desenvolvimento Fase 5: Projeto Detalhado	Regenerar/Trocar	Uso de fibras naturais leves na fabricação de compósitos.
	Compartilhar/Ciclar	Uso de compósitos reciclados em estruturas não-críticas de aeronaves.
	Otimizar	Redução da razão <i>buy-to-fly</i> (razão de massa matéria-prima/ componente acabado).
	Trocar	Utilização de material sustentável para interiores de aeronaves.
Desenvolvimento Fase 6: Preparação Produção	Regenerar	Melhorias na infraestrutura.
	Otimizar	Substituição dos processos de fabricação convencionais por processos de aditivo inovadores.
	Otimizar/Ciclar	Gestão (redução, reutilização, reciclagem, recuperação e aterro) de resíduos compostos gerados durante a fabricação.
	Trocar	Utilização de novas tecnologias como a impressão 3D e novos processos na manufatura de partes e componentes.
		Uso de processo eletroquímico sustentável para o tratamento do alumínio contra a corrosão: substituição do ácido crômico por alternativas como ácido sulfúrico tartárico e ácido sulfúrico bórico.
Desenvolvimento Fase 7: Lançamento do Produto	Regenerar	Mudanças nas operações de aeronaves.
Pós Fase 8: Acompanhar Produto/Processo	Regenerar	Uso de UAVs comerciais elétricos para atividades como geração de fotografias de alta resolução.
	Otimizar	Algoritmo sobre a estratégia de fabricação, montagem e desmontagem de peças mecânicas em aeronaves.

Pós Fase 9: Descontinuar Produto (fim de vida, descarte, reciclagem)	Compartilhar/Ciclar	Desmontagem de aeronaves para reutilização de materiais e componentes (peças reposição).
		Venda de peças de aeronaves para uso como mobiliário de escritório e fins decorativos.
	Otimizar/Ciclar	Gestão de resíduos aeroportuários (áreas comerciais, de manutenção, construção e demolição).
	Ciclar	Reciclagem de fibra de carbono de compósitos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

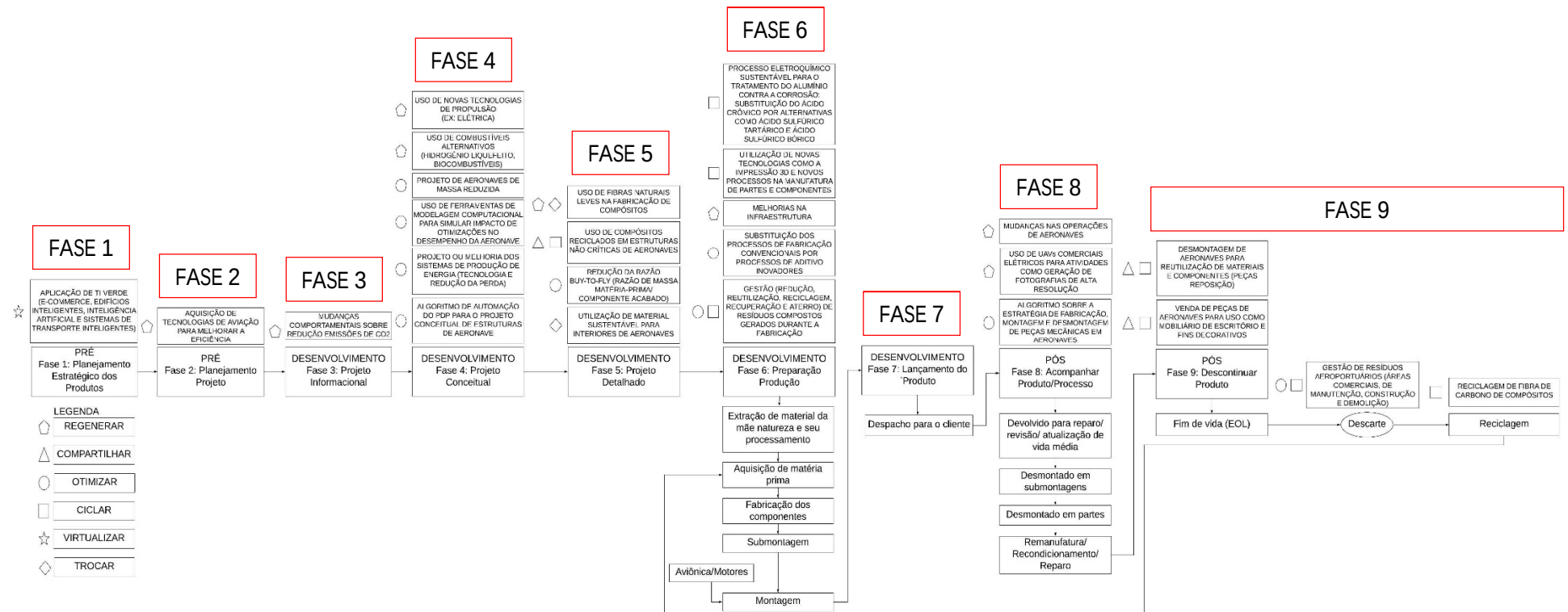


Figura 13. *Framework* ilustrativo de iniciativas de EC da indústria aeronáutica: literatura.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.1.1 Regenerar

Para que seja alcançado o primeiro objetivo proposto no modelo ReSOLVE, objetivo de regeneração, algumas práticas de EC podem ser adotadas. Tais práticas são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4. Ação Regenerar.

Objetivo Circular modelo ReSOLVE (ações)	Estratégia (práticas de EC)	Autores	Exemplo de Iniciativa (práticas na aeronáutica)	Autores
Regenerar • Mudança para energia renovável e materiais • Recuperar, reter e restaurar a saúde dos ecossistemas • Retorno dos recursos biológicos recuperados ao biosfera	• Uso de materiais de base biológica • Uso de materiais ambientalmente amigáveis • Restauração: também conhecido como compostagem • Redução das emissões de GEE • Melhoria da qualidade do ar • Eliminação de substâncias que empobrecem a camada de ozônio	KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018) ACCORSI et al. (2014) AHI E SEARCY (2015) ZHU; SARKIS (2004) GOPALAKRISHNAN et al. (2012) KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018) VARSEI; POLYAKOVSKIY (2017) ZHANG; XIE (2015) REEFKE; SUNDARAM (2017) VACHON; KLASSEN (2008) BOUKHERROUB et al. (2015) GRI (2013) GOPALAKRISHNAN et al. (2012)	• Transformação do fornecimento de energia de energia fóssil para energia renovável. Por exemplo, novas tecnologias de propulsão denominadas como propulsão elétrica, propulsão elétrica híbrida e turboelétrica • Uso de hidrogênio liquefeito, como combustível alternativo. A utilização de hidrogênio em motores aeronáuticos de turbinas a gás é, ao mesmo tempo, em que também é considerada para as células de combustível de futuras aeronaves elétricas • Adoção de opções de redução disponíveis para reduzir as emissões de CO₂ no setor de aviação comercial como: mudanças nas operações de aeronaves; melhorias na infraestrutura; aquisição	KUHN; FALTER; SIZMANN (2011) YAZAR (2019) HENKE et al. (2018) BETANCOURTH et al. (2016) NAIANDA et al. (2015) SLIWINSKI et al. (2017) BALLI; SOHRET; KARAKOC (2018) KAYA et al. (2016) BICER; DINCER (2017) YIN et al. (2018) GRAMPELLA et al. (2016) HASSAN; PFAENDER; MAVRIS (2018) IRVINE et al. (2016)

	• Redução da emissão de ruído • Retirada do produto (aeronaves) após o fim da vida útil/ fim de uso e atualização da remanufatura/ reutilização/ reforma	COWPER-SMITH; DE GROBOIS (2011) CETINKAYA et al. (2011) AHI E SEARCY (2015) EROL; SENCER; SARI (2011) KEIVANPOUR; AIT KADI; MASCLE (2015)	de tecnologias de aviação para melhorar a eficiência; reabastecimento com combustíveis alternativos e mudanças comportamentais • Substituição parcial ou completa de combustíveis fósseis por combustíveis alternativos e mais sustentáveis. Biocombustíveis de aviação à base de oleaginosas (Jatropha, Camelina, Carinata, macaúba, babaçu, coco brasileiro), biomassa de materiais lignocelulósicos (resíduos florestais, madeireiros, agrícolas, cavaco, bambu, carvão, entre outros) e resíduos gerais (óleo de cozinha e bagaço de cana-de-açúcar), sebo (gordura animal) e microalgas (Nannochloropsis sp. e Scenedesmus sp.), bioetanol, bioquerosene, biodiesel, iso-parafínico sintetizado, combustível renovável hidroprocessado, querosene parafínico sintético para Fischer-Tropsch e querosene parafínico sintético de álcool para Jato	LOBO et al. (2016) HASSAN; PFAENDER; MAVRIS (2018) SIMONS; SOLOIU (2017) ŞÖHRET (2018) SOMERVILLE et al. (2016) SULLIVAN; LEWIS; KEOLEIAN (2018) SUN et al. (2017) BWAPWA; ANANDRAJ; TROI (2018) BESSA et al. (2019) BESSETTE et al. (2018) DINIZ; SARGEANT; MILLAR (2018) DODD; ORLITZKY; NELSON (2018) MICHAÏLOS (2018) RAJIANI; KOT (2018) RASSOULINEJAD-MOUSAVID; MAO; ZHANG (2018) CAVALETT; CHERUBINI (2018) CHEN; REN (2018) COLLIER et al. (2017) SÖĞÜT (2018) CHAN et al. (2016) CHIARAMONTI et al. (2016) CINTI et al. (2016) CONNELLY et al. (2015)

			CORTEZ et al. (2015) FILIMONAU; MIKA; PAWLUSINSKI (2018) GEGG; BUDD; ISON (2015) GUTIÉRREZ-ANTONIO et al. (2016) PATRA et al. (2015) KARMEE (2017) KUMAR et al. (2018) MACGRATH et al. (2017) MOHSIN et al. (2017) MOUSAVI; BOSSINK (2017) YILMAZ; ATMANLI (2017) • Uso de UAVs comerciais movidos por sistemas de potência elétricos para atividades como geração de fotografias de alta resolução em tempo real • Utilização de fibras naturais leves (ex.: juta, linho, cânhamo, cânhamo e sisal) na fabricação de compósitos em substituição de grande quantidade de cargas de vidro e minerais em inúmeras aplicações automotivas e aeroespaciais. Benefícios como menor impacto ambiental, menor emissão de carbono e consumo de combustível fóssil, biodegradabilidade, menor custo, menor densidade e facilidade de fabricação. Prática também aplicável ao objetivo “trocar”	PARK; LEE; CHON (2019) SARKER et al. (2018) VIDAL et al. (2018)

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da literatura (2019).

O primeiro destaque desta ação consiste na mudança para energia renovável. A invenção do motor de turbina a gás ou "turbojato" pode promover o desenvolvimento sustentável da tecnologia de combustível de aviação. Os motores turbojato são mais tolerantes às propriedades do combustível em comparação com os motores a pistão, e podem aliviar as restrições no sistema de combustível e os requisitos operacionais (CHEN; REN, 2018).

Além da produção de combustíveis de aviação a partir de produtos brutos destilados tradicionais, algumas outras formas alternativas, como a conversão de carvão, gás e biomassa em combustíveis de aviação, também têm sido aplicadas na indústria de combustível de aviação recentemente. Esses combustíveis alternativos para aviação podem diversificar as fontes, facilitando, assim, a melhoria da segurança do fornecimento e/ou reduzindo os impactos ambientais. Tanto a gestão eficiente do tráfego aéreo como os combustíveis alternativos são benéficos para alcançar uma indústria de aviação sustentável (CHEN; REN, 2018).

Relevantes impulsionadores da futura política energética são a mudança climática e a segurança energética, as quais têm gerado debates e preocupações em muitas organizações, incluindo a Agência Internacional de Energia (AIE). A alta demanda e dependência de indústrias no fornecimento de combustíveis fósseis, juntamente com a da escassez ou interrupções do combustível, comprometem a segurança energética. Além disso, o aumento das emissões globais de gases de efeito estufa (GEEs) provenientes da combustão e processos industriais estão contribuindo muito para o aquecimento global e, posteriormente, para as mudanças climáticas (RASSOULINEJAD-MOUSAVID; MAO; ZHANG, 2018).

Temas como: formas de minimizar o consumo de energia, o impacto ambiental e os custos da aviação têm sido discutidos. Existe uma concentração de estudos, especialmente, no que diz respeito ao aumento da eficiência dos motores aeronáuticos e na utilização de combustíveis alternativos. Essas recomendações ocorrem, pois, a maior parte da conversão de energia ocorre no sistema de propulsão de um veículo aéreo. O esgotamento dos recursos de combustíveis fósseis e os aumentos de preço levam a uma dependência reduzida da utilização de combustíveis fósseis na aviação, assim como em muitas outras grandes indústrias (BALLI; SOHRET; KARAKOC, 2018).

A mudança de combustíveis fósseis para os de biocombustíveis no transporte de automóveis, trens, navios e aeronaves, bem como na maioria das indústrias, tem implicações promissoras para a segurança energética e a mitigação das mudanças climáticas. A evolução

econômica também é esperada, uma vez que o investimento em biocombustíveis pode levar à criação de novos empregos, bem como a novas fontes de rendimento (RASSOULINEJAD-MOUSAVID; MAO; ZHANG, 2018). Assim, esforços estão sendo feitos para melhorar o combustível de aviação que está sendo usado, o que tem o efeito de reduzir as emissões. Novos combustíveis alternativos, como aqueles produzidos a partir de materiais biológicos, podem reduzir drasticamente as emissões de CO₂ da aviação. Ao adaptar a qualidade do combustível ao *design* do motor, as aeronaves poderão produzir menos emissões por voo (FAA, 2015).

O interesse industrial na produção de combustíveis alternativos e na redução da dependência de combustíveis fósseis está crescendo. Uma maior demanda por energia levou a flutuações nos preços. Efeitos ambientais adversos resultantes da combustão de combustíveis fósseis aumentaram o interesse na busca por recursos renováveis amigos do ambiente. O uso da biomassa como matéria-prima para a produção de energia, conseqüentemente, emergiu como uma área de importância (BWAPWA; ANANDRAJ; TROIS, 2018).

A Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA) prevê um envolvimento de 30% do combustível biojetivo para o uso de combustível de aviação até 2030. As principais rotas de conversão de biomassa para produção de biocombustível 2G podem ser classificadas como termoquímicas (plataformas de gás e bio-óleo), bioquímicas ou uma combinação deles (híbrido bio/termo). Estes biocombustíveis utilizam matérias-primas de biomassa não convencionais (em contraste com açúcar convencional ou culturas oleosas), como material lignocelulósico, algas, óleos não comestíveis (por exemplo: jatrofa e camelina), óleo de cozinha usado e resíduos sólidos municipais sem competir por terra, e comida (MICHAILOS, 2018).

Pesquisadores e profissionais da indústria estão desenvolvendo maneiras de aumentar a eficiência de conversão de matérias-primas não-alimentícias, como resíduos florestais, resíduos agrícolas e culturas energéticas que não são usadas para a produção de alimentos. Atualmente, os processos de conversão termoquímica da biomassa não alimentar ainda são ineficientes. As algas têm o potencial de preencher a lacuna existente em nossa tecnologia de combustíveis renováveis e de atender aos requisitos críticos. (BESSETTE et al., 2018). A biomassa de algas é um dos recursos biológicos que podem produzir combustível limpo e sustentável, apesar de alguns desafios. Hoje, tecnicamente, tem sido provado que existe uma possibilidade real de converter algas ou qualquer biomassa em bioetanol, biocombustível e biodiesel (BESSETTE et al., 2018).

No entanto, os combustíveis à base de algas ainda são caros quando comparados com os combustíveis convencionais. Ao contrário de outros biocombustíveis de primeira e segunda geração, as algas crescem facilmente e se reproduzem muito rapidamente em condições fotossintéticas. Microalgas são organismos microscópicos e fotossintéticos que crescem em ambientes marinhos, de água doce ou de águas residuais (BWAPWA; ANANDRAJ; TROIS, 2018). A produção de biomassa de algas geralmente depende do tipo de espécie ou linhagem usada durante o cultivo. O tipo e a natureza da cepa ou espécie, as condições de crescimento e os nutrientes fornecidos à cultura influenciam diretamente a produtividade da biomassa e o teor lipídico. Microalgas crescem muito rápido, como mencionado anteriormente, e algumas espécies são excepcionalmente ricas em petróleo, mas não a maioria delas (BWAPWA; ANANDRAJ; TROIS, 2018).

Uma promissora matéria-prima de biocombustível de segunda geração é o bagaço. É o principal resíduo agroindustrial das indústrias de cana-de-açúcar e, apesar de sua adequação para a produção de combustíveis e/ou químicos, é utilizado principalmente para elevar vapor e gerar eletricidade; no entanto, ainda há algum excesso. Além disso, se forem implementadas caldeiras de combustão mais eficientes, estima-se que menos bagaço seria incinerado (aproximadamente 36% de redução). As pesquisas encontradas na literatura concentram-se na exploração do bagaço em tecnologias de biorrefinação capazes de produzir combustíveis vendáveis a partir de açúcares, óleo de pirólise e *syngas* (MICHAILOS, 2018).

A escalada esperada na produção de cana, a fim de satisfazer o aumento da demanda global por etanol (de 70 para 130 milhões de m³ entre 2009 e 2025), também aumentará a disponibilidade de bagaço. Tem sido relatado que o bagaço de cana-de-açúcar possui o maior balanço energético líquido positivo entre as matérias-primas prevalentes consideradas atualmente (MICHAILOS, 2018). Hoje, a energia gerada a partir da cana-de-açúcar é sete vezes maior em relação àquela consumida em sua criação. E quando o bagaço é contado na equação, é esperado que o número aumente até 15 vezes. Acredita-se também que, se o bagaço for convertido em etanol ou qualquer outro combustível, o rendimento total do combustível pode ser aumentado em 30% (base de massa) sem a exigência de uso de terra extra e com a vantagem adicional de diminuir ainda mais a pegada de carbono (MICHAILOS, 2018).

A substituição parcial ou completa de combustíveis fósseis por biocombustíveis é uma das principais estratégias para alcançar uma indústria de aviação de baixo carbono. O

combustível para aviação sustentável tem o potencial de reduzir as emissões de CO₂ em até 80%, comparado ao combustível fóssil para jatos. Diversas propriedades devem ser avaliadas para que os biocombustíveis sejam considerados compatíveis, incluindo o conteúdo energético, o índice de octano/cetano, a compatibilidade do material, a volatilidade e as propriedades do fluxo a frio (BESSA et al., 2019).

Para combustíveis específicos, como os combustíveis para jatos, o uso de biocombustíveis exige conformidade com uma série de especificações rigorosas, como baixo ponto de congelamento, estabilidade térmica e baixa viscosidade a baixas temperaturas (BESSA et al., 2019). De fato, uma das principais preocupações associadas ao uso do biodiesel são suas fracas propriedades de fluxo de baixa temperatura, indicadas por pontos de turvação (*cloud point*) e pontos de fluidez relativamente altos. O ponto de turvação é a temperatura a que um material líquido oleoso fica turvo devido à formação de cristais. Diminuindo a temperatura, os sólidos e os cristais crescem e se aglomeram, entupindo linhas de combustível e filtros e possivelmente causando grandes problemas de operabilidade (BESSA et al., 2019).

A bioenergia também tem sido apontada como opção. Em grande escala é essencial para alcançar as metas de estabilização do clima. Em particular, os biocombustíveis líquidos são relevantes para a descarbonização do setor de transportes, especialmente na aviação, onde as alternativas são limitadas (CAVALETT; CHERUBINI, 2018). Questões sobre combustível para jatos são objeto de pesquisa pelo programa Parceria para Ruído e Redução de Emissões do Transporte Aéreo (PARTNER). Recentemente concluído, o Projeto 28 (Análise de Custo-Benefício Ambiental de Combustíveis Alternativos a Jato) melhorou significativamente a compreensão dos custos e benefícios ambientais de combustíveis alternativos para jatos. Ele avaliou as emissões de gases de efeito estufa em ciclo vital a partir de combustíveis alternativos a jato, desenvolveu um modelo de custo de produção de combustível de primeira ordem, desenvolveu cenários de uso de combustível alternativo que fornecem reduções específicas de gases de efeito estufa e expandiu a análise ambiental para considerar a sustentabilidade em termos de terra, água e ar (FAA, 2015).

A fim de mitigar os impactos ambientais adversos do crescimento operacional e aumentar a eficiência geral e a segurança do NAS, os EUA - através de sua Federal Aviation Administration (FAA) - investiram pesadamente no Sistema de Transporte Aéreo de Próxima Geração (NextGen). De 2010 a 2016, o total de gastos com os programas da *NextGen* totalizou

6,31 bilhões de dólares. Os vários programas buscam transformar o atual NAS melhorando sua capacidade operacional, eficiência e resiliência (HASSAN; PFAENDER; MAVRIS, 2018). Juntamente com os esforços da FAA, a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) vem investindo no desenvolvimento de tecnologias que permitirão a implementação do *NextGen* ou melhorarão o desempenho ambiental de aeronaves comerciais. De 2010 a 2016, o total de gastos em pesquisa aeronáutica da NASA totalizou 3,98 bilhões de dólares. A NASA estabeleceu um plano de implementação para guiar sua pesquisa aeronáutica em seis eixos estratégicos que permitirão um futuro sustentável, eficiente, seguro e autônomo para a aviação (HASSAN; PFAENDER; MAVRIS, 2018).

A avaliação de sustentabilidade iniciada no Projeto 28 é a base principal para pesquisas em andamento estendendo a aplicabilidade dessa avaliação a conjuntos de tecnologias adicionais e opções de matérias-primas, para desenvolver cenários para implantação de biocombustíveis e para conduzir análises de *trade off* entre diferentes métricas e opções. A sustentabilidade alternativa do combustível para aviação tornou-se um tópico focado em pesquisa pela FAA. Os resultados deste trabalho são relevantes para as metas ambientais e energéticas do *NextGen* relacionadas ao desenvolvimento de combustíveis alternativos para aviação, e oferecem informações importantes para reguladores, produtores de combustível e agências de aprovisionamento de combustível quanto à sustentabilidade global de diferentes opções de matérias-primas e tecnologia (FAA, 2015).

Adequação, sustentabilidade e escalabilidade servem como critérios principais para avaliar diferentes combustíveis alternativos. Um baixo escore de adequação indica que um novo *design* do sistema de combustível da aeronave e mudanças na infraestrutura são necessários para a implementação. O critério de escalabilidade aborda o potencial da matéria-prima técnica, o potencial de processamento e os desafios em logística de alto volume. A transformação do fornecimento de energia de energia fóssil para energia renovável é o desafio mais importante para o futuro a longo prazo da indústria da aviação (KUHN; FALTER; SIZMANN, 2011).

Para ser considerada sustentável, a Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA) estipula que os biocombustíveis de aviação devem produzir menos emissões líquidas de CO₂ em comparação com os combustíveis fósseis, evitar a competição por recursos hídricos e alimentares necessários para consumo humano e evitar o desmatamento e a perda de biodiversidade. Atualmente, nenhum biocombustível fornece uma solução sustentável, e há

sérias questões sobre a sustentabilidade ecológica dos biocombustíveis, como a perda de habitat, a perda de biodiversidade e o uso excessivo de água (DODD; ORLITZKY; NELSON, 2018).

Assim, as matérias-primas derivadas de culturas alimentares, como o milho e a soja, são controversas, pois podem ser mais bem utilizadas como alimento para seres humanos e animais. A SkyNRG, estabelecida para ser uma líder de mercado global de combustível para aviação sustentável, concorda que a maioria dos impactos de sustentabilidade dos biocombustíveis estão diretamente relacionados à matéria-prima (DINIZ; SARGEANT; MILLAR, 2018). Em resposta a estas preocupações, a indústria da aviação está agora empenhada em utilizar apenas matérias-primas de segunda geração, que: não comprometem a segurança alimentar; use área de terra mínima; requerem recursos de água e energia relativamente baixos; minimizar impactos na biodiversidade; e também fornecer valor socioeconômico para as comunidades locais onde a biomassa é cultivada. Oleaginosas (*Jatropha*, *Camelina*, *Carinata*, macaúba, babaçu), biomassa de resíduos (óleo de cozinha), sebo (gordura animal) e algas são alguns exemplos dessas matérias-primas. A escolha precisa da matéria-prima deve ser avaliada caso a caso, uma vez que algumas delas só podem ser cultivadas em regiões específicas do mundo (DINIZ; SARGEANT; MILLAR, 2018).

Os biocombustíveis de aviação foram pioneiros em 2008, quando Richard Branson patrocinou um voo da Virgin Atlantic entre Heathrow (Londres, Reino Unido) e Amsterdã (Holanda), movido a biocombustíveis feitos de babaçu e coco brasileiro. Desde então, quatro combustíveis alternativos foram aprovados para uso comercial: Iso-Parafínico Sintetizado, Combustível Renovável Hidroprocessado, Querosene Parafínico Sintético para Fischer-Tropsch e Querosene Parafínico Sintético de Álcool para Jato (DODD; ORLITZKY; NELSON, 2018). Os biocombustíveis já foram testados e utilizados em voos comerciais e militares em todo o mundo. Na Austrália, a Qantas operou o primeiro voo comercial alimentado por combustível de aviação sustentável em abril de 2012. O Airbus A330 foi parcialmente alimentado por biocombustível derivado de óleo de cozinha usado (DINIZ; SARGEANT; MILLAR, 2018).

A companhia aérea estatal Garuda Indonesia confirmou que está objetivando um uso de 3% de biocombustíveis em seu consumo de combustível de jatos a partir de 2020, pela combinação de renovação da frota, iniciativas aeroportuárias, melhorias na navegação aérea e

uso de combustíveis alternativos. No entanto, ao analisar os impactos da estratégia de Crescimento Neutro do Carbono de 2020 (CNG2020) na ineficiência ambiental das companhias aéreas, com base nos dados previstos de 29 companhias aéreas internacionais durante 2021-2023, prevê-se que a Garuda Indonesia seja a maior ineficiência durante 2021-2023 (RAJIANI; KOT, 2018).

De acordo com uma declaração da SkyNRG, para ser certificado para uso comercial, os combustíveis de aviação sustentáveis devem atender às especificações rígidas estabelecidas pela Sociedade Americana para Testes e Materiais (ASTM). A certificação é para garantir segurança e desempenho, e as especificações estão relacionadas ao ponto de fulgor, ponto de congelamento, calor de combustão, viscosidade, teor de enxofre e densidade. Além dos produtos finais, a ASTM também certifica os processos usados para produzir biocombustíveis para aviação (DINIZ; SARGEANT; MILLAR, 2018).

O custo relativamente alto dos biocombustíveis explica, em parte, a relutância das companhias aéreas em usar combustíveis alternativos. Embora os biocombustíveis para aviação sejam tecnologicamente viáveis, sua viabilidade econômica, dado os preços atuais do petróleo, permanece em dúvida (DODD; ORLITZKY; NELSON, 2018). Em média, cada barril de biocombustível para aviação custa cerca de duas vezes mais do que um barril de combustível fóssil, a preços correntes. Isso faz com que o uso generalizado de biocombustíveis de aviação não seja econômico. Para resolver os problemas de viabilidade econômica inadequada e questionável sustentabilidade ecológica (como discutido anteriormente), algumas companhias aéreas formaram os chamados ecossistemas de inovação (DODD; ORLITZKY; NELSON, 2018).

Uma das instruções da Organização Internacional da Aviação Civil (ICAO) para reduzir a poluição climática é desenvolver uma medida baseada no mercado global (MBM) para reter as emissões líquidas de carbono de um voo internacional no mesmo nível, a partir de 2020 (RAJIANI; KOT, 2018). No entanto, questão-chave nas recentes cúpulas internacionais sobre o clima, o Fundo Verde para o Clima (GCF) foi confrontado com o problema do financiamento insuficiente. O financiamento do GCF depende fortemente de contribuições de países desenvolvidos, mesmo se as partes doadoras forem estendidas à economia emergente. Para piorar isso, os Estados Unidos se retiraram do financiamento climático, o que aumentará significativamente a carga para outros doadores (RAJIANI; KOT, 2018).

O hidrogênio liquefeito, como um dos combustíveis alternativos, também vem sendo examinado na literatura, sendo um avanço promissor para futuras aeronaves. A utilização de hidrogênio em motores aeronáuticos de turbinas a gás é totalmente viável, ao mesmo tempo em que também é considerada para as células de combustível de futuras aeronaves elétricas (BALLI; SOHRET; KARAKOC, 2018). Desde as primeiras tentativas de Von Ohain, a utilização de hidrogênio liquefeito como principal combustível para os motores de aviões tem notado um desenvolvimento notável. No final de um recente estudo de investigação realizado sob a supervisão da Comissão Europeia, é revelado um requisito de depósito de hidrogênio liquefeito projetado com três vezes o tamanho de um tanque de armazenamento de combustível de jato convencional. Os pesquisadores também relatam que a elevação da energia liberada é de aproximadamente 9 e 14%, enquanto resulta em um aumento de custo de 4 e 5% se o hidrogênio for preferido em vez do combustível de aviação convencional (BALLI; SOHRET; KARAKOC, 2018).

Na literatura, muitos textos sobre a melhoria do desempenho de vários tipos de motores aeronáuticos em potencial que queimam combustíveis convencionais para aviação e combustíveis alternativos, incluindo o hidrogênio, podem ser encontrados. Vários deles discutem apenas resultados experimentais e comparam diferentes condições de operação, enquanto a maioria investiga um mecanismo com o auxílio da metodologia de análise de exergia (BALLI; SOHRET; KARAKOC, 2018). A análise de exergia e as análises baseadas na exergia são indicadas como uma ferramenta poderosa para a avaliação de desempenho de motores aeronáuticos em várias referências. Além disso, uma análise termodinâmica de aumento de desempenho, incluindo uma análise exergética, também é empregada para avaliar um impacto ambiental e emitir avaliações de GEEs. É possível obter projetos de motores aeronáuticos mais eficientes, mais ecológicos e menos poluentes, com o auxílio da análise termodinâmica (BALLI; SOHRET; KARAKOC, 2018).

A substituição de querosene fóssil por portadores de energia alternativa adequados, sustentáveis e escaláveis é um requisito fundamental para o qual são apresentadas estratégias em três categorias, ou seja, *drop-in fuel*, *nondrop-in fuel and fully electric energy path*. A primeira opção de combustível do tipo “*drop-in-capable solar fuel*”, tanto usando novos reatores químicos solares ou através do conhecido caminho da fotossíntese, apresenta uma perspectiva de energia renovável com a vantagem de não haver alterações na infraestrutura ou nos sistemas de combustível da aeronave. A segunda opção de combustível, “*non-drop-in solar*

fuel”, abre a perspectiva de sistemas de energia de célula de combustível altamente eficientes e propulsão elétrica na aviação. Por fim, existe ainda a terceira opção, totalmente elétrica, usando energia solar, eólica e outras energias renováveis. Das opções descritas, as duas últimas exigem um *re-design* completo da aeronave, mas oferecem a máxima flexibilidade na escolha da energia primária (KUHN; FALTER; SIZMANN, 2011).

A tecnologia de propulsão de hoje ainda usa combustíveis fósseis e tem um impacto negativo no meio ambiente. Além disso, reservas de combustível limitadas apontam para a necessidade de soluções de propulsão alternativas. Além do uso de combustíveis alternativos, a ação regenerar trata de transformação do fornecimento de energia de energia fóssil para energia renovável. Novas tecnologias de propulsão para aeronaves de qualquer tamanho, geralmente denominadas como propulsão elétrica, propulsão elétrica híbrida e turboelétrica, são vistas como soluções viáveis e limpas para a aviação (YAZAR, 2019). Esse novo tipo de tecnologia de propulsão visa reduzir os níveis de dióxido de carbono e a dependência de combustível com diferentes configurações. Em todos os sistemas de propulsão elétrica, as baterias são a única fonte de energia propulsora na aeronave. Na tecnologia de propulsão elétrica híbrida, a energia de propulsão é fornecida por uma combinação ideal de um motor de turbina a gás convencional (ou motor de combustão interna) e um tipo de sistema de armazenamento de energia recarregável e pelo menos um deles pode fornecer energia elétrica. A tecnologia de propulsão turboelétrica é definida como a forma sem bateria do sistema de propulsão elétrica híbrida (YAZAR, 2019).

Obstáculos tecnológicos como densidades de energia de bateria inadequadas; problemas extremos de peso com origem no número de baterias usadas; questões de aceitação da comunidade (questões de confiabilidade e certificação) sobre os novos componentes do sistema gerenciam o futuro das tecnologias de propulsão baseadas em baterias e estima-se que elas tenham tempo para serem desenvolvidas e atendidas. Considerando essa falha, a tecnologia de propulsão turboelétrica é vista como um passo à frente. Sistemas de propulsão turboelétrica não incluem baterias. Assim, as baterias não fazem parte do sistema de propulsão para qualquer fase de voo. Em vez disso, a turbina a gás é usada para acionar diretamente o gerador elétrico (alternador) e a saída elétrica é uma entrada para o sistema de gerenciamento de energia (inversores, conversores, motores elétricos individuais, ventiladores elétricos distribuídos e assim por diante) (YAZAR, 2019).

Apesar dos obstáculos existentes para a implantação de sistemas de propulsão alternativos, alguns casos já são observados na aviação. Com exceção de veículos aéreos não tripulados (UAVs) militares, a maioria dos UAVs comerciais são considerados ambientalmente amigáveis, visto que são movidos por sistemas de potência elétricos e não emitem diretamente GEEs. Além disso, o custo operacional desses veículos é inferior ao custo relacionado a aeronaves tradicionais. Assim, uma das possíveis aplicações sustentáveis é o uso de UAVs para coletar fotos de alta resolução e em tempo real, emitindo menos gases GEEs do que aviões comuns e, portanto, sendo considerados plataformas econômicas e ambientalmente amigáveis (PARK; LEE; CHON, 2019).

Ainda no que se refere a ações de regeneração, a mudança de materiais é uma das implantações mais significativas. Fibras naturais estão se tornando cada vez mais atraentes para fabricantes de compósitos e cientistas de materiais devido ao seu menor impacto ambiental, como menor emissão de carbono e consumo de combustível fóssil, biodegradabilidade, menor custo, menor densidade e facilidade de fabricação. A utilização de fibras naturais leves, como juta, linho, cânhamo, cânhamo e sisal, poderia substituir uma grande quantidade de cargas de vidro e minerais em inúmeras aplicações automotivas e aeroespaciais (SARKER et al., 2018).

O linho, o cânhamo e a juta estão dominando as fibras naturais na indústria automotiva europeia. Entre elas, as fibras de juta têm atraído um interesse significativo, pois podem substituir parcialmente ou totalmente as fibras de vidro devido à sua menor gravidade específica ($\sim 1,3$) em comparação com o vidro ($\sim 2,5$) e um módulo específico mais elevado (GN40 GN/m²) do que a de vidro (GN30 GN/m²). Além disso, a juta é a fibra natural mais utilizada (principalmente em Bangladesh, Índia e China) depois do algodão e é pelo menos 50% mais barata que o linho e outras fibras naturais. No entanto, a fibra de juta apresenta menores propriedades mecânicas e baixa resistência ao cisalhamento interfacial (IFSS), enquanto reforçada com matriz epóxi, devido à presença de grandes quantidades (20-50% em peso) de materiais não celulósicos, como hemicelulose e lignina. Estes materiais não celulósicos são responsáveis pela menor cristalinidade e natureza hidrofílica das fibras de juta e desempenham um papel importante na determinação das propriedades características das fibras. Portanto, permanece a necessidade de um novo tipo de tratamento de superfície para fibras de juta que possa melhorar tanto a resistência ao cisalhamento como a resistência à tensão de forma significativa e potencialmente superar os compósitos de fibra de vidro (SARKER et al., 2018).

A adoção de materiais de base biológica, ou seja, entradas de recursos ou materiais que duram mais do que um ciclo de vida único e podem ser facilmente regenerados é uma das estratégias vinculadas a essa ação, apresentada no Quadro 3, e proporciona resultados positivos no atingimento deste objetivo circular. Não só a mudança, mas a recuperação e a restauração, também são ações de “regeneração” propostas pelo modelo ReSOLVE. Como exemplo, o compromisso da Indonésia com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), a ser alcançado por meio de sete ações de mitigação, a saber: (1) manejo sustentável da terra de turfa; (2) reduzir a taxa de desmatamento e degradação da terra; (3) desenvolver projetos de sequestro de carbono na silvicultura e na agricultura; (4) promover a eficiência energética; (5) desenvolvimento de fontes de energia alternativas e renováveis; (6) redução de resíduos sólidos e líquidos; e (7) mudança para modos de transporte de baixa emissão (RAJIANI E KOT, 2018). Além disso, através da compostagem, os nutrientes biológicos são devolvidos ao solo após decomposição por microrganismos e outras espécies (KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO, 2018).

4.1.2 Compartilhar

Conforme sugere o Quadro 5, o segundo objetivo circular proposto pelo modelo ReSOLVE está vinculado a ações de compartilhamento.

Quadro 5. Ação Compartilhar.

Objetivo Circular modelo ReSOLVE (ações)	Estratégia (práticas de EC)	Autores	Exemplo de Iniciativa (práticas na aeronáutica)	Autores
Compartilhar • Compartilhar ativos (por exemplo, carros, salas, eletrodomésticos) • Reutilização/ segunda mão • Prolongar a vida através da manutenção, <i>design</i> para durabilidade, capacidade de atualização, etc.	• Simbiose industrial • Espaço polivalente • Reforma, remanufatura e recondicionamento de produtos • Uso de materiais de sucata para subprodutos. Estratégia também aplicável ao objetivo “circular” • Reutilização secundária	KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018) KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018) KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018) RAJ; SRIVASTAVA (2018) KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018)	• Uso de compósitos reciclados em estruturas não-críticas de aeronaves, como galerias, revestimentos internos, peças de assentos e ferramentas que produzam materiais mais resistentes e leves no mesmo setor. Prática também aplicável ao objetivo “circular” • Desmontagem de aeronaves para reutilização de materiais e componentes como peças de reposição de alta qualidade. Prática também aplicável ao objetivo “circular” • Venda de peças de aeronaves para uso como mobiliário de escritório e para fins decorativos. Prática também aplicável ao objetivo “circular”	ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH (2013) ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH (2013) SABAGUI et al. (2015) ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH (2013)

	• Água reciclada e reutilizada Estratégia também aplicável aos objetivos “otimizar” e “ciclar” • <i>Design</i> de produtos apreciável e durável • Atualização, manutenção e reparo de produtos • Realização de avaliação do ciclo de vida de todos os produtos	REEFKE; SUNDARAM (2017) GOVINDAN; HASANAGIC (2018) KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018) GOPALAKRISHNAN et al. (2012)		

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da literatura (2019).

Uma das estratégias que podem ser adotadas neste sentido é o compartilhamento de ativos. Dentro deste cenário, é possível identificar como prática um processo conhecido como simbiose industrial, ou seja, a troca e/ou partilha de recursos, serviços e subprodutos entre empresas. O ato de compartilhar, pode ainda estar vinculado a outra prática, conhecida como espaço polivalente. Essa prática consiste no uso, acesso ou propriedade compartilhados e sua implementação pode ser vista, por exemplo, através da criação de espaços, produtos ou plataformas de compartilhamento que permitem o uso compartilhado. (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018).

Características de reutilização e “segunda mão” também fazem parte da ação de compartilhamento, segundo o modelo ReSOLVE. A colaboração e a cooperação com outras indústrias e parques industriais podem melhorar a eficácia da implementação da EC através do compartilhamento do que é poupado (GOVINDAN; HASANAGIC, 2018). A reutilização secundária direta prolonga a vida útil do produto pelo uso em segunda mão. Portanto, menos produtos, que servem para o mesmo propósito, devem ser produzidos. Os produtos completos ou seus componentes podem ser reutilizados. A reparação, o acondicionamento e a remanufatura de produtos também são processos relacionados ao compartilhamento. Dessa forma, é uma EC a reconstrução de um produto através da substituição de componentes defeituosos por componentes reutilizáveis (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018).

É importante destacar que, pelo fato de o conceito de circularidade propor o reingresso de produtos usados no mercado, torna-se necessária a criação de padrões para qualidade de acondicionamento. Isto pode levar a uma grande variedade na qualidade do produto e reconhecimento entre autoridades, empresas e consumidores. Além disso, para que essa estratégia se popularize e funcione de maneira eficiente, é necessário modificar os padrões de consumo atuais, ou seja, precisa-se de maior conscientização sobre EC para tornar atraente para os fornecedores e consumidores finais a compra de produtos remanufaturados. Mais consciência pública sobre EC (GOVINDAN; HASANAGIC, 2018).

Por fim, a ação de compartilhamento define a necessidade de prolongar-se a vida de produtos mediante processos de *design* para durabilidade, planejamento de atualizações e manutenções. Dessa forma, uma das práticas circulares aplicáveis a essa parte do modelo é o *design* de produtos apreciável e durável para múltiplos ciclos de uso, bem como incentivos para

as empresas favorecerem a devolução de produtos. Os produtos devem ser projetados para desmontagem e reutilização (GOVINDAN; HASANAGIC, 2018).

Quanto à atualização, manutenção e reparo, uma maneira eficiente de manter ou restaurar o equipamento para o nível desejado de desempenho é a manutenção. Além disso, o serviço pós-venda pode ser uma vantagem competitiva e oportunidade de negócio. A manutenção também é realizada sob a forma de reparo. Para erradicar a obsolescência do produto ou prolongar a vida útil do produto, são necessários serviços como modernização (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018).

4.1.3 Otimizar

A terceira ação definida pelo modelo ReSOLVE é “otimizar”, apresentada no Quadro 6. O modelo identifica três principais métodos para o cumprimento dos objetivos circulares relacionados a ela: o aumento do desempenho/ eficiência do produto, a remoção de resíduos na produção e cadeia de suprimentos e o avanço do *big data*, automação, sensoriamento remoto e direção.

Quadro 6. Ação Otimizar.

Objetivo Circular modelo ReSOLVE (ações)	Estratégia (práticas de EC)	Autores	Exemplo de Iniciativa (práticas na aeronáutica)	Autores
Otimizar • Aumentar o desempenho/ eficiência do produto • Remover resíduos na produção e cadeia de suprimentos • Alavancar <i>big data</i>, automação, sensoriamento remoto e direção	• Diversidade e vínculos intersetoriais • Mitigação do impacto dos impactos ambientais de produtos e serviços • <i>Design</i> de embalagem otimizado • Consumo eficiente de energia na fabricação e serviços • Controle da intensidade e auditoria energética	KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018) GRI (2013) KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018) EROL; SENCER; SARI (2011) GRI (2013) GRI (2013) RAJ; SRIVASTAVA (2018)	• Projeto de veículos de massa reduzida (a versão leve de um veículo consome menos combustível do que sua contraparte mais pesada na mesma distância) orientado a reduzir o consumo de combustível (FC) e as emissões de carbono resultantes. Uso de ferramentas de modelagem computacional para simular o impacto das reduções de massa nos fatores de desempenho do veículo • Projeto ou melhoria dos sistemas de produção de energia, incluindo motorizações convencionais mais eficientes e motores avançados, com ênfase especial na redução da perda de energia e consequente aumento da eficiência em termos de consumo de combustível	SULLIVAN; LEWIS; KEOLEIAN (2018) KOKORIKOU et al. (2016) KREBS et al. (2016) CAMPANA; MELE; CIMATTI (2017) AYGUN; TURAN (2019) LEONG; BLAKEY; WILSON (2016) LI et al. (2015) TANBAY; DURMAYAZ; SOGUT (2015)

	• Liberação de efluentes e poluentes de água • Projeto e fabricação envolvendo redução • Aumento da ecoeficiência na produção • Uso eficiente da água na fabricação e serviços • Segregação de resíduos e sistema adequado de descarte de resíduos • Compras mais limpas • Colaboração com fornecedores e seleção de novos fornecedores (desenvolvimento) usando critérios ambientais • Sistema seguro de eliminação de lixo eletrônico • Sistema de informação eficiente	GRI (2013) VINODH; RATHOD (2010) KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018) GOVINDAN; HASANAGIC (2018) REEFKE; SUNDARAM (2017) EROL; SENCER; SARI (2011) AHI; SEARCY (2015) ZHU; SARKIS (2004) GRI (2013) GOVINDAN; HASANAGIC (2018) AĞAN et al. (2016) BAI; SARKIS (2010) GOPALAKRISHNAN et al. (2012) REEFKE; SUNDARAM (2017) RAJ; SRIVASTAVA (2018) GOVINDAN; HASANAGIC (2018)	• Substituição dos processos de fabricação convencionais, tais como o processo de rebitagem, por processos de aditivo inovadores, tais como o processo de feixe de laser de soldadura (LBW), a fim de reduzir a elevada razão “<i>buy-to-fly</i>” (a massa de matéria-prima necessária por massa unitária do componente acabado) e produzir aeronaves mais leves, consequentemente, redução de uso de energia e emissões de gases de efeito estufa (GEE) • Gestão (redução de resíduos, reutilização, reciclagem, recuperação e aterro) de resíduos compostos gerados durante a fabricação de peças compostas aeroespaciais – plásticos reforçados com fibra de carbono (CFRP). Prática também aplicável ao objetivo “ciclar” • Gestão de resíduos aeroportuários produzidos em escritórios, pontos de venda, restaurantes, banheiros e restaurantes de voo, de operações de carga aérea, instalações de manutenção e áreas e de projetos de paisagismo, construção e demolição realizados no aeroporto. Por exemplo: recipientes de alimentos e bebidas, jornais e revistas, restos de comida (de salões/ cafeterias), lâmpadas, toner de	TURAN (2015) GIALOS et al. (2018) JANKOVIC et al. (2017) JENSEN; REMMEN (2017) DE SOUZA et al. (2017-2018) PILLAIN et al. (2019) VIEIRA; VIEIRA; CHAIN (2016) WAGNER et al. (2016) AMELI; MANSOUR; AHMADI-JAVID (2017) BAXTER; SRISAENG; WILD (2018) BUDD; BUDD; ISON (2015) MALIK (2017)

			impressora, papel, documentos e impressões de computador – gerados por companhias aéreas • Algoritmo de automação do PDP (análise de <i>lead time</i>, custo de processo e custo de investimento) implementado no processo de projeto conceitual das conexões de articulação de um conjunto de leme no estabilizador vertical de um jato executivo • Algoritmo sobre a estratégia de fabricação, montagem e desmontagem de peças mecânicas em aeronaves	MULDER et al. (2015) ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH (2013) CAGGIANO; MARZANO; TETI (2016) PENCIUC et al. (2016) LUNDBÄCK; LINDGREN (2017) VERMA; RAI (2017)

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da literatura (2019).

A melhoria do desempenho do produto pode ser relacionado aos conceitos de diversidade e vínculos intersetoriais. Devem ser estabelecidos padrões da indústria para promover a colaboração intersetorial por meio da transparência, ferramentas financeiras e de gestão de riscos, regulamentação e desenvolvimento de infraestrutura e educação (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018). Dessa forma, as características do produto e processos presentes em seu ciclo de desenvolvimento tornam-se conhecidas e gerenciáveis, sendo possível uma melhor avaliação, otimização e aplicação de melhorias em seu desempenho.

A otimização do produto também é uma prática relevante. O aumento de desempenho e eficiência de um produto otimizado reflete a característica de circularidade. Como já debatido anteriormente, reduzir as emissões de GEE tornou-se um imperativo que resultou em importantes políticas regulatórias, como os padrões de emissões de GEE dos automóveis desenvolvidos pela Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency* - EPA).

Reduções de emissão são necessárias em todos os modos de transporte logístico. Como a aviação é, atualmente, o segundo maior consumidor mundial de combustível de transportes, sendo necessário que a indústria aeronáutica adote determinadas práticas de sustentabilidade que resultem na produção de aeronaves com reduzido uso de energia e emissões de GEE (GIALOS et al., 2018). Existem várias maneiras centradas no veículo para reduzir o consumo de combustível (FC em unidades de galão/100 mi) e as emissões de carbono resultantes do setor de transporte, incluindo motorizações convencionais mais eficientes, motores avançados e massa reduzida (ou leve) veículos. A última opção é o foco dessa discussão (SULLIVAN; LEWIS; KEOLEIAN, 2018).

No Quadro 6, se observa também os materiais adotados em projetos de aeronaves de forma a otimizar. As ligas de alumínio são amplamente utilizadas como material primário em estruturas de aeronaves, já a muitas décadas, isso ocorre devido à sua alta rigidez em relação ao peso e relação resistência-peso. Os produtores de ligas de alumínio concentram seus esforços de pesquisa no desenvolvimento de ligas mais leves, com maior capacidade de tolerância a danos e a capacidade de serem soldados de maneira eficiente. O ponto focal mais recente de tal desenvolvimento foram as ligas de alumínio contendo lítio devido à sua menor densidade, maior resistência e rigidez específicas, melhores propriedades de resistência ao crescimento de trincas

por corrosão e fadiga, quando comparadas às ligas de alumínio convencionais (GIALOS et al., 2018).

O lítio (Li) é o elemento metálico mais leve e, portanto, sua adição resulta na redução do peso global das dimensões geométricas fixas de um elemento estrutural; Calculou-se que quando 1% em peso de Li foi adicionado ao Al e suas ligas, sua densidade é reduzida em 3% e o módulo de elasticidade é aumentado em quase 6% (GIALOS et al., 2018). Ligas de alumínio contendo Li de segunda geração, e. 2090, 8090, etc. foram desenvolvidos nas décadas de 80 e 90 e geralmente apresentaram capacidades superiores de tolerância a danos do que as ligas convencionais AlCuMg e vários inconvenientes; a desvantagem mais importante era a anisotropia das propriedades mecânicas entre as direções de laminação da chapa (GIALOS et al., 2018).

Durante os últimos anos, ligas de alumínio e lítio de terceira geração, por exemplo 2198 e 2196 foram desenvolvidos para substituir as ligas convencionais 2024 e 2524 em estruturas de aeronaves, nas quais tolerância a danos é o fator crítico do projeto (GIALOS et al., 2018). Resultados preliminares mostraram que a liga de alumínio 2198 foi superior a 2024 tanto em fadiga quanto em comportamento de corrosão. Gialos et al. (2008) verificaram que a utilização de ligas Al e Cu e Li de elevada resistência em vez das ligas Al e Cu e Mg convencionais, pode reduzir o peso estrutural em 3 e 5% e aumentar a rigidez em 20% (GIALOS et al., 2018).

Como a versão leve (reduzida massa) de um veículo consome menos combustível do que sua contraparte mais pesada na mesma distância, os fabricantes frequentemente consideram a redução em massa como uma forma de reduzir o FC dos veículos. Modelos matemáticos ou correlações empíricas de FC versus veículo são necessários para avaliar o impacto da redução de massa no FC de um veículo. Há sofisticadas ferramentas de modelagem computacional usadas pelos projetistas de veículos para simular o impacto das reduções de massa nos fatores de desempenho do veículo, como FC, capacidade de nivelamento e tempo de aceleração de 0 a 60 (SULLIVAN; LEWIS; KEOLEIAN, 2018).

Empresas do setor aeronáutico, como a Airbus, a Boeing e a General Electric, estão a tentar substituir os processos de fabricação convencionais, tais como o processo de rebiteagem, por processos de aditivo inovadores, tais como o processo de feixe de *laser* de soldadura (LBW), a fim de reduzir a elevada razão “*buy-to-fly*” (a massa de matéria-prima necessária por massa unitária do componente acabado) e produzir aeronaves mais leves (GIALOS et al., 2018).

A economia de peso alcançada pelos componentes de aeronaves LBW procedeu principalmente da remoção de fixadores e vedantes. De fato, o raio *laser* utiliza o fluxo de fótons de alta potência como fonte de calor. O raio laser derrete localmente a localização das estruturas que serão unidas; A fixação é conseguida a partir da solidificação comum das estruturas unidas com ou sem o uso de material adicional de arame de enchimento. Por outro lado, a tecnologia de união por rebite é um método semipermanente, que cria um conjunto (que consiste em dois componentes) usando uma série de materiais (rebites intermediários, parafusos de trava e selante), o que parece aumentar o peso total do material na estrutura final (GIALOS et al., 2018).

Uma outra prática vinculada ao aumento de desempenho e eficiência de um produto otimizado é o *design* de embalagem otimizado, ou seja, estratégias eficientes de *design* de embalagem que cumprem as normas e utilizam o fim da vida útil do material de embalagem (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018).

No que se refere à circularidade, a geração de resíduos é uma característica importante. Dessa forma é necessário o estabelecimento de novos processos e cultura como, por exemplo, vinculados à ideia de redução, ou seja, projeto e fabricação envolvendo redução no uso de materiais e eliminação do uso de substâncias nocivas (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018). Além dos resíduos que são gerados a partir de aeronaves, os resíduos aeroportuários são produzidos em escritórios, pontos de venda, restaurantes, banheiros e restaurantes de voo, de operações de carga aérea, instalações de manutenção e áreas e de projetos de paisagismo, construção e demolição realizados no aeroporto. Cada uma dessas áreas cria fluxos de resíduos discretos, todos com o potencial de gerar volumes substanciais de resíduos (BAXTER; SRISAENG; WILD, 2018).

Os resíduos gerados nos aeroportos podem ser amplamente divididos em resíduos gerados pelas atividades realizadas no aeroporto, bem como os resíduos produzidos pelas principais partes interessadas envolvidas na prestação das operações da área Aeroportuária do aeroporto. *Landside* significa as partes de um aeroporto, bem como os terrenos adjacentes e os edifícios ou partes dos mesmos que não se encontram no recinto do lado ar. *Airside* significa a área de movimento de um aeroporto, terreno adjacente e edifícios/ infraestrutura, ou porções, cujo acesso é restrito (BAXTER; SRISAENG; WILD, 2018).

Diversos tipos de resíduos que são gerados pelas principais partes interessadas envolvidas na facilitação e manuseio de passageiros e carga aérea (quando aplicável) no lado terra de um aeroporto, por exemplo: recipientes de alimentos e bebidas, jornais e revistas, restos de comida (de salões/ cafeterias), lâmpadas, toner de impressora, papel, documentos e impressões de computador – gerados por companhias aéreas; pneus, fluidos, lâmpadas, pilhas, paletes de madeira e madeira, material de embrulho de plástico, resíduos verdes de relvados/jardins e paisagismo, papel, impressões de computador – gerados por operadores de terminal de cargas (BAXTER; SRISAENG; WILD, 2018).

Além disso, é preciso executar práticas sustentáveis que gerem o aumento da ecoeficiência na produção: a integração de práticas mais 6R, por exemplo, pode resultar em maior ecoeficiência na produção. A gestão da cadeia de suprimentos completa este viés da circularidade por meio das compras mais limpas, ou seja, a empresa deve comprar mais limpo e verde, em vez de apenas levar em conta o preço (GOVINDAN; HASANAGIC, 2018).

A automação e a implantação de sistemas de gerenciamento de processos, rastreamento, *softwares* de otimização de produtos e gestão de projetos, também são práticas adotadas para a adoção de uma EC. Um sistema de informação eficiente para rastrear materiais em reciclagem, por exemplo, é uma aplicação direta deste conceito. Sistemas de informação precisos e de fácil acesso ajudam os tomadores de decisão e gerentes a reagirem de maneira rápida e confiável para atender a seus padrões ecoeficientes por meio da EC (GOVINDAN; HASANAGIC, 2018).

Nas últimas décadas, uma transição clara pode ser vista de técnicas de produção baseadas em humanos para sistemas mais automatizados. Essa transição é focada na redução do *lead time*, diminuindo o custo do processo e melhorando a consistência e a qualidade do produto. A mesma tendência de adotar mais automação também pode ser vista no PDP, impulsionado por um foco crescente na melhoria do PDP como uma fonte potencial de vantagem competitiva (MULDER et al., 2015).

Em particular, para muitas empresas, a duração do *lead time* é a medida de desempenho mais importante do PDP, porque um tempo-mercado reduzido (ou seja, *lead time*) resulta em uma redução no custo de atraso e uma maior participação de mercado. Portanto, uma redução no *lead time* vale um investimento para as empresas. *Design Automation* (DA), Engenharia Baseada em Conhecimento (KBE), Inteligência Artificial (AI) e *Design* Assistido por

Computador (CAD) são exemplos de tecnologias baseadas em computador adotadas para melhorar o PDP (MULDER et al., 2015).

A automação de *design* trata do processo de transferência de conhecimento de domínio, no sentido mais amplo, do especialista para um sistema computadorizado, de modo que o sistema possa reutilizar sistematicamente o conhecimento capturado para reduzir ou eliminar o envolvimento humano em algumas ou todas as atividades envolvidas no PDP. Em PDPs complexos, diferentes departamentos estão envolvidos, muitas vezes em diferentes locais físicos. Esses departamentos interagem através da troca de informações. Para poder trabalhar de forma eficiente e eficaz, é necessário que esta informação esteja disponível no lugar certo, no momento certo e no formato certo. A automação do fluxo de informações é sobre como melhorar a relevância da informação e a moeda (MULDER et al., 2015).

A automação do valor da informação diz respeito à automação das atividades, agregando valor diretamente ao modelo de informações do produto em desenvolvimento. Isto pode ser conseguido através da aplicação de sistemas de automação de *design* de computador (DA). O DA inclui todos os tipos de aplicativos de computador dedicados, desde ferramentas para automatizar cálculos (por exemplo, planilhas eletrônicas) até aplicativos complexos de KBE capazes de executar projetos generativos com base em um conjunto de parâmetros de entrada (MULDER et al., 2015).

Na aeronáutica, a automação do PDP tem sido implementada no processo de projeto conceitual das conexões de articulação de um conjunto de leme no estabilizador vertical de um jato executivo. Em estudo de caso realizado por Mulder et al. (2015), por meio de simulação, o desempenho do processo foi analisado em termos de *lead time*, custo de processo e custo de investimento. Realizou-se a automação através de um *framework* de simulação PDP baseado em SimPy, uma biblioteca de Simulação de Eventos Discretos, em combinação com Programação Orientada a Objetos (OOP) em Python. Um algoritmo evolutivo ou genético foi proposto, especificamente um algoritmo de Evolução de Ordenação Não Dominante. O algoritmo da aplicação de *software* OPTIMUS usado para implementação (MULDER et al., 2015).

Esta aplicação fornece um caso representativo de PDP complexo, apresentando muitas características interessantes: *loops* iterativos que resultam em retrabalho, muitos departamentos envolvidos e uma mistura de tarefas criativas e repetitivas, para citar apenas algumas. O caso

de estudo foi um processo formado por 14 tarefas para um total de 65 atividades. Os departamentos de engenharia envolvidos foram: de estruturas, de projeto, de custos e de pesagem e balanceamento. No total, oito recursos estavam envolvidos, desde engenheiros de custos até o gerente de projetos. A simulação da arquitetura do processo no estado atual resultou em um *lead time* e um tempo total do processo inferior a 5% diferente do *lead time* e do tempo total do processo estimado pelos especialistas durante as entrevistas (MULDER et al., 2015).

Um outro caso de aplicação da automação no setor aeronáutico é a proposta feita por Yi et al. (2008) quanto a um algoritmo sobre a estratégia de desmontagem de peças mecânicas em aeronaves que se baseia no conceito de onda de desmontagem. O método oferece uma sequência de desmontagem ideal e selecionável de componentes mecânicos com números menores de etapas de computação e processamento. Os autores realizaram um estudo de propagação de ondas para a análise de desmontagem selecionável. Eles alegaram que o método de propagação de onda fornece uma sequência ótima para desmontar os componentes selecionados com a onda que se propaga do componente selecionado para um conjunto de componentes de contorno (ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013).

4.1.4 Ciclar

O Quadro 7 apresenta a próxima ação definida: “ciclar”. Os elementos dessa ação, segundo o modelo, são: produtos e componentes remanufaturados, a reciclagem de materiais, bem como, a digestão anaeróbica e a extração de compostos bioquímicos de resíduos orgânicos.

Quadro 7. Ação Ciclar.

Objetivo Circular modelo ReSOLVE (ações)	Estratégia (práticas de EC)	Autores	Exemplo de Iniciativa (práticas na aeronáutica)	Autores
Ciclar • Produtos ou componentes remanufaturados • Reciclar materiais • Digerir anaerobicamente • Extrair compostos bioquímicos de resíduos orgânicos	• <i>Design</i> para desmontagem/reciclagem • Reforma/ reparo/ remanufatura de produtos • Sistemas de devolução e troca • Rede ecoindustrial regional mais fácil • Equipamentos técnicos e instalações para remanufatura	- KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018) - KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018) - KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018) - GOVINDAN; HASANAGIC (2018) - GOVINDAN; HASANAGIC (2018)	• Reciclagem de fibra de carbono de compósitos • Uso de compósitos reciclados em estruturas não-críticas de aeronaves, como galerias, revestimentos internos, peças de assentos e ferramentas que produzam materiais mais resistentes e leves no mesmo setor • Desmontagem de aeronaves para reutilização de materiais e componentes como peças de reposição de alta qualidade • Venda de peças de aeronaves para uso como mobiliário de escritório e para fins decorativos	- ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH (2013) PILLAIN et al. (2019) - ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH (2013) - ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH (2013) SABAGHI et al. (2015) - ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH (2013)

	• Introdução de reclassificação na produção • Reciclagem funcional • Reciclagem de alta qualidade • Extração de bioquímicos	GOVINDAN; HASANAGIC (2018) KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018) KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018) KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018)	• Gestão (redução de resíduos, reutilização, reciclagem, recuperação e aterro) de resíduos compostos gerados durante a fabricação de peças compostas aeroespaciais – plásticos reforçados com fibra de carbono (CFRP). • Gestão de resíduos aeroportuários produzidos em escritórios, pontos de venda, restaurantes, banheiros e restaurantes de voo, de operações de carga aérea, instalações de manutenção e áreas e de projetos de paisagismo, construção e demolição realizados no aeroporto. Por exemplo: recipientes de alimentos e bebidas, jornais e revistas, restos de comida (de salões/ cafeterias), lâmpadas, toner de impressora, papel, documentos e impressões de computador – gerados por companhias aéreas	DE SOUZA et al. (2017-2018) PILLAIN et al. (2019) BAXTER; SRISAENG; WILD (2018)

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da literatura (2019).

Algumas práticas de EC aplicáveis ao PDP podem ser diretamente relacionadas os elementos da ação ciclar. Por exemplo, a reforma/ reparo/ remanufatura através da reconstrução de um produto através da substituição de componentes defeituosos por componentes reutilizáveis e o *design* para desmontagem/ reciclagem através de projetos que consideram a necessidade de desmontar produtos para conserto, reforma ou reciclagem (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018).

Remanufaturar, não é um processo simples, sendo necessários equipamentos técnicos e instalações para remanufatura. O equipamento técnico é necessário para desenvolver produtos de diferentes maneiras, para serem remanufaturados. Além disso, a ação “ciclar” aplicada aos processos produtivos, faz com que seja necessária a introdução da reclassificação na produção. Para alcançar a EC, os materiais são classificados como técnicos e nutrientes, enquanto os técnicos são forçados a reutilizar/ reciclar/ remanufaturar, enquanto os nutrientes retornam com segurança à biosfera ou em uma cascata de usos consecutivos (GOVINDAN; HASANAGIC, 2018).

No setor aeronáutico, até poucos anos atrás, as aeronaves em fim de vida eram abandonadas em aterros sanitários em todo o mundo. A partir dos anos 2000, os dois maiores fabricantes de aeronaves, a Airbus e a Boeing, começaram a desenvolver abordagens alternativas de como lidar com aeronaves no final de suas vidas (RIBEIRO; DE OLIVEIRA GOMES, 2015). A Boeing fundou a associação setorial AFRA (Associação de Reciclagem de Frota de Aeronaves) juntamente com várias empresas de aviação e salvamento. Paralelamente aos esforços da Boeing para lidar com aeronaves em fim de vida, a Airbus, fabricante líder de aeronaves da Europa, lançou o projeto “Processo para Gerenciamento Avançado de Fim de Vida de Aeronaves” (PAMELA) em 2005 (RIBEIRO; DE OLIVEIRA GOMES, 2015).

O projeto PAMELA foi iniciado pela Airbus, EADS, a empresa francesa de reciclagem Suez-Sita e o grupo de trabalho LIFE, França (francês: *l'Instrument Financier pour l'Environnement*). O projeto também foi apoiado pela Comissão Europeia. O principal objetivo do projeto PAMELA, que foi completado após 32 meses em 2007, foi demonstrar durante um experimento em escala real em um Airbus A300 que 85% do peso de uma aeronave pode ser reciclado, reutilizado ou recuperado. Além desse objetivo principal, um outro objetivo era estabelecer um novo padrão para uma gestão segura e ambientalmente responsável das aeronaves em fim de vida (RIBEIRO; DE OLIVEIRA GOMES, 2015).

Nesse contexto, uma das práticas a serem adotadas pela indústria aeronáutica é a desmontagem de aeronaves para reutilização de materiais e componentes como peças de reposição de alta qualidade. Segundo a Airbus, alguns dos componentes podem ser reutilizados se as condições das peças ainda estiverem em boa forma, como motores e peças do motor, unidade de potência auxiliar, trem de pouso, aviônicos, equipamentos do sistema e peças e dispositivos móveis. Muitos outros materiais e dispositivos de boa qualidade podem ser reciclados e reutilizados diretamente, conforme abaixo (ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013):

- (i) alguns componentes, como fluidos (combustível, óleo e fluido hidráulico), equipamentos de proteção e segurança, baterias, aviônicos e pneus (exigindo reciclagem regulatória);
- (ii) ligas de alumínio, titânio e níquel; ligas de aço laminadas a quente e resistentes à corrosão; fiação; arreios; termoplásticos; espumas; têxteis; carpetes; papéis/tecidos com técnicas especiais de reciclagem;
- (iii) revestimento de cabine e carga, resíduos e várias outras partes que não são recuperados e geralmente vão para aterros e cemitérios de aeronaves;
- (iv) todas as partes compostas da aeronave, incluindo a fuselagem e peças internas, podem ser potencialmente utilizadas em outras indústrias;
- (v) toda a aeronave usada para demonstrações e exposições em *shows* e museus para chamar a atenção do público para a aviação.

A reciclagem de materiais é uma das práticas chave para que o objetivo circular proposto aqui pelo modelo ReSOLVE seja alcançado. Para tal, sistemas de devolução e troca devem ser criados, visto que, os sistemas de recolha eficientes garantem que os produtos são recuperados do consumidor após o fim da vida útil e passam a ser remanufaturados. Os sistemas *take-back* podem garantir um fluxo contínuo de material para remanufatura (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018). Outra prática circular aplicável é a criação de uma rede ecoindustrial regional mais fácil para possibilitar a reciclagem. Passaporte de produtos, rede de iniciativas de simbiose industrial ou padrões de fornecimento sustentável têm que ser mais eficientes se as empresas adotarem EC (GOVINDAN; HASANAGIC, 2018).

É importante que a reciclagem seja funcional e de alta qualidade. Funcional que define o processo de recuperação de materiais para o fim original ou para outros fins, excluindo a recuperação de energia (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018). De alta qualidade,

definida pela recuperação de materiais em forma pura, sem contaminação, para servir como matéria-prima secundária para posterior produção de produtos de qualidade iguais ou semelhantes (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018). Para que isso se torne possível, a educação em reciclagem, remanufatura e reutilização é indispensável.

O setor global de plástico reforçado com fibra de carbono vivenciou um aumento na demanda mundial em seus setores históricos, como a indústria aeronáutica (civil e militar), energia eólica, automotiva e esportes e lazer, cada vez mais usando plásticos reforçados com fibra de carbono (CFRP), para substituir outros materiais, especialmente metal (PILLAIN et al., 2019). Mais especificamente na indústria aeroespacial, o uso de CFRP aumentou significativamente, de 6% na década de 1990 para mais de 50% nos atuais programas de aeronaves avançadas, como Boeing 787 e Airbus 350 (DE SOUZA et al., 2017-2018).

Como resultado, resíduos compostos são gerados durante a fabricação de peças compostas aeroespaciais, assim, o consumo crescente de CFRP foi acompanhado por uma acumulação progressiva de resíduos de CFRP e que, considerando apenas o setor aeroespacial comercial, pesará aproximadamente 500.000 t até 2050, se nada for feito para reciclá-los antes (PILLAIN et al., 2019). Portanto, os resíduos compostos foram destacados pelas legislações do governo para fazer com que o setor resolva adequadamente o descarte. De acordo com a diretiva-quadro de resíduos europeia e os pesquisadores Snudden, Ward e Potter, a estratégia de gestão de resíduos deve ser a redução de resíduos, reutilização, reciclagem, recuperação e aterro. Os fabricantes devem ser ecologicamente corretos se não aterrarem os resíduos compostos (DE SOUZA et al., 2017-2018).

A legislação europeia tem imposto, cada vez mais, regulamentos quanto à diretiva sobre veículos em fim de vida que afeta diretamente este tipo de material (PILLAIN et al., 2019). O gerenciamento de final de vida dos produtos CFRP reunirá a criação de um novo setor e uma quantidade indefinida de empregos gerados para atender à demanda de requisitos de trabalho ao longo da cadeia de fornecimento para essa atividade. Durante todo o ciclo de vida da cadeia de fornecimento reciclável de CFRP, diferentes impactos/ benefícios podem ser gerados em aspectos ambientais (isto é, acidificação, potencial de aquecimento global, toxicidade humana, esgotamento de recursos), sociais (isto é, acidentes de trabalho, criação de empregos, benefícios, aceitação social) e financeira (ou seja, retorno do investimento em um setor). É, portanto, necessário propor avaliação das dimensões do desenvolvimento sustentável

(ambiental, social e econômico), a fim de escolher a cadeia de fornecimento de reciclagem de CFRP com o melhor desempenho geral (PILLAIN et al., 2019).

No entanto, a reciclagem de compósitos é inerentemente difícil devido à composição complexa (fibras, matriz e enchimentos) e à natureza reticulada das resinas termofixas, como o epóxi. Uma das possíveis aplicações sustentáveis é a reutilização de sucatas compósitas pré-impregnadas não curadas para produzir artefatos, como estruturas de moldes usadas na fabricação de compósitos, reduzindo o descarte de resíduos na natureza e contribuindo para a sustentabilidade. De forma mais específica, reutilização dos resíduos de sobras pré-impregnadas compósitas do processo de fabricação de chapas na indústria aeroespacial, evitando a perda de resina, descarte de resíduos e gastos com sua incineração (DE SOUZA et al., 2017-2018).

Na aviação, um exemplo aplicável é a Carbon Fiber Remanufacturing (CFR), uma empresa especializada na reciclagem de fibra de carbono de compósitos. Essa empresa geralmente recicla as fibras de carbono obtidas do processo de fabricação e reutiliza cerca de 30% delas em outros processos de fabricação para produzir novos compósitos. A CFR utiliza processos de desembaraçar, cortar e martelar para remanufaturar sucatas de fibra de carbono para diferentes aplicações de produtos. As fibras de carbono recicladas são usadas como matérias-primas secundárias sem qualquer perda de propriedades mecânicas, portanto as fibras de carbono remanufaturadas são quase as mesmas que as fibras de carbono virgens (ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013).

Juntamente com a empresa Alenia Aeronáutica, a Boeing fundou a primeira instalação de reciclagem de compósitos de aeronaves da Itália para materiais futuros. Essa unidade processa uma média de 1.102 toneladas de sucata composta por ano. A Boeing também cooperou com a empresa Milled Carbon Limited para estabelecer uma planta industrial piloto para processar peças compostas curadas e não curadas de forma contínua, a fim de extrair fibras de carbono de alta qualidade. É provável que o material reciclado seja utilizado para estruturas não-críticas de aeronaves, como galerias, revestimentos internos, peças de assentos e ferramentas que produzam materiais mais resistentes e leves no mesmo setor (ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013).

Imida, poliéster, epóxi e outros termoplásticos projetados e matrizes compostas podem ser convertidos em hidrocarbonetos de baixo peso molecular para produzir fibras valiosas para

reutilização na fabricação de materiais compósitos adicionais para aeronaves e outras indústrias (ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013). Entre os fios e cabos, o cobre é o mais comumente usado para fiação elétrica em aeronaves. Uma vez que os fios de metal são devidamente removidos da aeronave, a reciclagem é mais fácil. Os fios de maior escala são triturados e depois granulados em partículas menores, de modo que os separadores (por exemplo, gravidade, elétrico e óptico) podem remover os metais das partes plásticas (ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013).

Outro caso que merece destaque foi descrito por Asmatulu, Twomey e Overcash (2013), a P3 Aviation, um fornecedor de componentes rotativos com base no Reino Unido (por exemplo, motores, atuadores, turbinas, geradores e alternadores), com o objetivo de aproveitar o crescente mercado de desmontagem e reciclagem de aeronaves. A empresa já desmontou sete aeronaves em 2010 e transformou em sucata pedaços de aeronaves e peças de cabine. Segundo a empresa, a parte interna da aeronave geralmente vai para a terra, mas eles venderam interiores inteiros de aviões Boeing 737-400. E a empresa também vende diversas peças de aeronaves para uso como mobiliário de escritório e para fins decorativos. A fuselagem tem sido usada para divisórias de mesa, abas e estabilizadores para mesas de diretoria, e tampas de entrada de motor como balcões de recepção em bares e restaurantes (ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013).

A educação sustentável também é apontada como elemento relevante para educar e aumentar a conscientização entre os atores envolvidos na cadeia de suprimentos (GOVINDAN; HASANAGIC, 2018). Além dos retornos econômicos, a reciclagem também traz benefícios ambientais devido ao menor consumo de energia, mão de obra e emissões (sólido, líquido e aéreo). Por exemplo, a fabricação de alumínio é um processo que consome muita energia devido à etapa de eletrólise (ou processo da Bayer). No entanto, quando o alumínio é diretamente recuperado e reutilizado, ele reduz a energia inicial em 90%, o que, por sua vez, também reduz o consumo de matéria-prima. A Figura 14 mostra folhas de alumínio que foram recicladas de aeronaves e usadas para produtos de ladrilho de alumínio, nesta aplicação, o consumo de energia do processo de reciclagem é de 5% do necessário para a produção de alumínio de primeira geração (ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013).

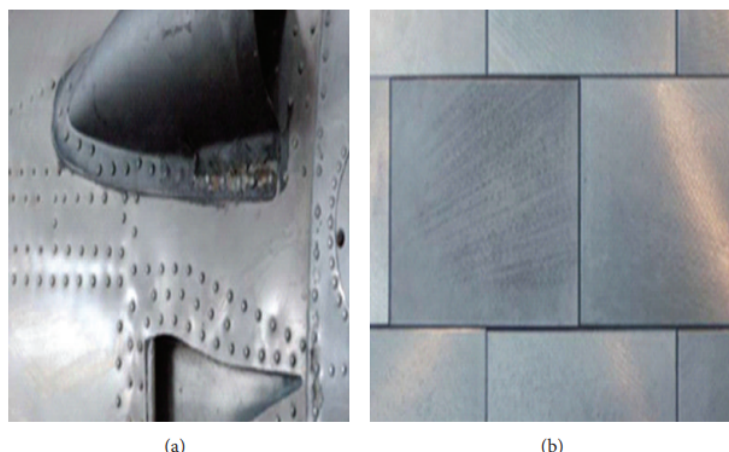


Figura 14. Fotografias mostrando folhas de alumínio recicladas a partir de aeronaves (a) e reutilizadas como ladrilhos (b).

Fonte: Asmatulu, Twomey e Overcash, 2013.

Uma outra aplicação encontrada na literatura foi sobre o uso de fibras de carbono recicladas de uma aeronave militar (F18) que foram alinhadas e integradas em uma unidade de moldagem por compressão para fazer novos compósitos. A Materials Innovation Technologies (MIT), localizada em Fletcher, Carolina do Norte, fabricou peças automotivas a partir de fibras recicladas usando processos de corte, mistura e moldagem. Um dos exemplos é um componente do para-choque do Corvette C6 moldado a partir de fibra de carbono reciclada, como um projeto de demonstração. O componente produzido a partir de fibra de carbono reciclada é cerca de 20% mais leve do que os componentes de fibra de vidro, mesmo sem nenhum processo de engenharia. Os produtos reciclados e remodelados estão atualmente sendo utilizados no carro (ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013).

Por fim, “ciclar” ainda envolve a extração de bioquímicos: conversão de biomassa em produtos químicos de baixo volume, mas de alto valor, gerando calor, energia, combustível ou produtos químicos a partir da biomassa (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018).

4.1.5 Virtualizar

O quinto conceito do modelo ReSOLVE é relacionado à ação de virtualização, ou seja, à estratégia circular de desmaterialização direta ou indireta através de, por exemplo, livros eletrônicos/ CDs, compras *on-line*, uso de telecomunicações para diminuir o uso de escritórios e viagens (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018). Este conceito é apresentado no Quadro 8.

Quadro 8. Ação Virtualizar.

Objetivo Circular modelo ReSOLVE (ações)	Estratégia (práticas de EC)	Autores	Exemplo de Iniciativa (práticas na aeronáutica)	Autores
Virtualizar - Desmaterialize-se diretamente (por exemplo, livros, CDs,DVDs, viagens) - Desmaterializar indiretamente (por exemplo, compras <i>on-line</i>)	Virtualizar/ Desmaterializar: por exemplo, livros eletrônicos/ CDs, compras <i>on-line</i>, uso de telecomunicações para diminuir o uso de escritórios e viagens	KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO (2018)	Aplicação do conceito de TI verde, através de práticas como <i>e-commerce</i>, edifícios inteligentes, inteligência artificial e sistemas de transporte inteligentes. TI verde definido como a integração e cooperação de projetar, fabricar, utilizar e descartar de forma eficiente e efetiva computadores, servidores e outros subsistemas associados, visando à prevenção da poluição, manejo de produtos e desenvolvimento sustentável, e concentrando-se fortemente no uso de sistemas de informação para aprimorar sustentabilidade em toda a economia	ZENG; FU; OUYANG (2018)

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da literatura (2019).

Inúmeras aplicações de Tecnologia da Informação (TI), especialmente a TI verde, têm um efeito positivo na sustentabilidade. A transformação de TI é essencial no processo de implementação da TI verde. No entanto, a transformação de TI falha facilmente porque as organizações buscam mais os interesses econômicos e é difícil se adaptar às diferentes circunstâncias do mercado. Além disso, a adoção organizacional da TI verde é complexa e é afetada por fatores externos e motivações internas. Portanto, ambas as estratégias e ações são significativas para desenvolver capacidades organizacionais (ZENG; FU; OUYANG, 2018). Zeng, Fu e Ouyang (2018) a fim de resolver dificuldades práticas sobre perceber que a transformação da TI na busca da sustentabilidade requer o desenvolvimento de novas estratégias e ações efetivas dentro de uma organização, conduziram um estudo de caso para analisar como a Shenyang Aircraft Corporation implementa TI verde nos níveis estratégico e operacional.

Vários aplicativos de TI - especialmente TI verde, como *e-commerce*, edifícios inteligentes, inteligência artificial e sistemas de transporte inteligentes - têm um efeito positivo na sustentabilidade. Por exemplo, a TI verde poderia reduzir as emissões de carbono em 15%. A noção de TI verde foi definida em uma infinidade de termos e conceitos como IS verde, sistemas de informação (IS) para sustentabilidade ambiental, sustentabilidade ambiental de TI e TI para verde. *Green IT* é a integração e cooperação de projetar, fabricar, utilizar e descartar de forma eficiente e efetiva computadores, servidores e outros subsistemas associados, visando à prevenção da poluição, manejo de produtos e desenvolvimento sustentável, e concentrando-se fortemente no uso de sistemas de informação para aprimorar sustentabilidade em toda a economia (ZENG; FU; OUYANG, 2018).

4.1.6 Trocar

Por fim, o Quadro 9 apresenta o último objetivo circular sugerido pelo modelo ReSOLVE é “trocar”, sendo que, o conceito de troca pode estar relacionado a três principais ações de circularidade: substituição do antigo por materiais não renováveis avançados, aplicação de novas tecnologias (por exemplo, impressão 3D) e escolha de novo produto/ serviço (por exemplo, multimodal transporte).

Quadro 9. Ação Trocar.

Objetivo Circular modelo ReSOLVE (ações)	Estratégia (práticas de EC)	Autores	Exemplo de Iniciativa (práticas na aeronáutica)	Autores
Trocar • Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados • Aplicar novas tecnologias (por exemplo, impressão 3D) • Escolher novo produto/ serviço (por exemplo, transporte multimodal)	• <i>Design</i> para desmontagem/ reciclagem • <i>Design</i> para modularidade • Desenvolvimento de competência para/e uso de tecnologia ambientalmente amigável • Implementar novos caminhos de sistemas logísticos	KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, (2018) KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, (2018) AHI; SEARCY (2015) RĂDULESCU et al. (2009) GOPALAKRISHNAN et al., (2012) GOVINDAN; HASANAGIC, (2018)	• Utilização de material sustentável para interiores de aeronaves. Por exemplo, um painel convencional é feito de um composto termofixo reforçado com fibra de vidro com retardante de chama halogenado, enquanto os painéis sustentáveis são feitos de polímeros renováveis ou recicláveis, reforços de fibras naturais e retardadores de chama não halogenados. Além disso, os painéis sustentáveis são mais leves que os painéis convencionais, a fim de reduzir o consumo de combustível e as emissões de poluentes atmosféricos da aeronave. Exemplos de painéis sustentáveis: painel baseado em geopolímeros, painel de biopolímero baseado em linseedoil e painéis termoplásticos com polipropileno (PP) e com ácido polilático (PLA)	DOS SANTOS et al. (2016) VIDAL et al. (2018) MOREIRA et al. (2015)

	• Transporte intermodal • Foco na redução do movimento de peças com veículos	AHI; SEARCY (2015) VARSEI; POLYAKOVSKIY (2017) REEFKE; SUNDARAM (2017)	• Utilização de fibras naturais leves (ex.: juta, linho, cânhamo, cânhamo e sisal) na fabricação de compósitos em substituição de grande quantidade de cargas de vidro e minerais em inúmeras aplicações automotivas e aeroespaciais. Benefícios como menor impacto ambiental, menor emissão de carbono e consumo de combustível fóssil, biodegradabilidade, menor custo, menor densidade e facilidade de fabricação. • Utilização de novas tecnologias como a impressão 3D e novos processos na manufatura de partes e componentes • Uso de processo eletroquímico sustentável para o tratamento do alumínio contra a corrosão: substituição da anodização por ácido crômico por alternativas sem cromo, como anodização por ácido sulfúrico tartárico e anodização por ácido sulfúrico bórico.	SARKER et al. (2018) JOSHI; SHEIKH (2015) JANKOVIC et al. (2017) JENSEN; REMMEN (2017) JUGY et al. (2016)

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da literatura (2019).

Na aeronáutica, uma das possíveis práticas relacionadas a este tópico é a utilização de material sustentável para interiores de aeronaves: compósitos de bio-polímeros reforçados com fibras naturais, preferencialmente com núcleos sólidos (DOS SANTOS et al., 2016). Além disso, podem ser implantados novos caminhos de sistemas logísticos (GOVINDAN; HASANAGIC, 2018).

Vidal et al. (2018) fizeram uma avaliação abrangente do ciclo de vida de painéis para interiores de aeronaves, incluindo um painel convencional reforçado com fibra de vidro e diferentes painéis sustentáveis. Os autores observam que o painel convencional é feito de um composto termofixo reforçado com fibra de vidro com retardante de chama halogenado, enquanto os painéis sustentáveis são feitos de polímeros renováveis ou recicláveis, reforços de fibras naturais e retardadores de chama não halogenados. Quatro diferentes painéis sustentáveis foram investigados: um painel baseado em geopolímeros; um painel de biopolímero baseado em linseedoil; e dois painéis termoplásticos, um com polipropileno (PP) e outro com ácido polilático (PLA). Todos os painéis sustentáveis foram desenvolvidos para atender aos requisitos de resistência a incêndio e serem mais leves que os painéis convencionais, a fim de reduzir o consumo de combustível e as emissões de poluentes atmosféricos da aeronave.

Vidal et al. (2018) pontuam também os impactos ambientais associados ao consumo de energia e emissões atmosféricas, assim como outros impactos ambientais resultantes da extração e processamento de materiais, transporte de materiais e resíduos, fabricação de painéis, uso, manutenção e EOL. Todos os painéis sustentáveis apresentaram melhor desempenho ambiental do que o painel convencional. Os impactos globais dos painéis sustentáveis foram compensados pelos benefícios ambientais no estágio de uso atribuído à redução de peso. Um metro quadrado dos novos painéis poderia economizar até 6.000 quilos de equivalentes de dióxido de carbono. O ponto de equilíbrio (em meses) no qual o uso de painéis sustentáveis produziria um benefício ambiental em relação aos impactos decorrentes da produção e do EOL foi o seguinte: 1,2 para o painel de geopolímeros; 1,7 para o painel de biopolímero; 10,4 para o painel PLA; e 54,5 para o painel PP (VIDAL et al., 2018).

Como estratégia, as empresas podem ainda adotar algumas práticas durante o PDP, com o que diz respeito ao *design*. Um dos principais conceitos a ser aplicado é o *design* para desmontagem/reciclagem, ou seja, a criação de um projeto que considera a necessidade de desmontar produtos para conserto, reforma ou reciclagem (KALMYKOVA; SADAGOPAN;

ROSADO, 2018). É também uma opção o *design* para modularidade, onde são desenvolvidos produtos compostos por módulos funcionais para que os produtos possam ser atualizados com recursos e/ou funcionalidades mais recentes. Os módulos podem ser reparados ou substituídos individualmente, aumentando assim a longevidade do núcleo do produto (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018).

Apresentados os elementos do *framework*, o próximo tópico irá discutir os resultados parciais dessa pesquisa. Acredita-se que o *framework* proposto possui potencial para iniciar discussões sobre a integração da EC no PDP, considerando especialmente as características dos produtos aeronáuticos.

4.2 Resultados dos *Workshops*

Com o objetivo de avaliar a proposta do *framework* teórico de práticas de EC aplicáveis no desenvolvimento de produtos aeronáuticos circulares, foram realizadas avaliações por meio de *workshops* com profissionais da área de PDP aeronáutico¹; Com a realização dos *workshops* foi possível obter como resultado novos exemplos de iniciativas adotadas pela indústria aeronáutica e reforçar aquelas apresentadas. Os diálogos foram relacionados a cada uma das seis ações propostas no modelo ReSOLVE, bem como, às iniciativas de EC sobre as quais eles tratam e às estratégias adotadas pela indústria aeronáutica que representam. Além disso, todo o decorrer dos *workshops* está apresentado de forma detalhada nas transcrições que compõem o Apêndice 3 deste trabalho.

A Empresa 01, possui um grupo de engenheiros dedicado, exclusivamente, ao tema DFE (*design for environment*). Ao todo, 61 iniciativas de EC adotadas pelas empresas da indústria aeronáutica foram identificadas nessa empresa. Seus principais resultados estão apresentados no Quadro 10. A Empresa 02 tem seus principais resultados apresentados no Quadro 11. Ao todo, 21 iniciativas adotadas pelas empresas da indústria aeronáutica foram identificadas no segundo *workshop*. Quanto à Empresa 03, ao todo, 46 iniciativas adotadas pelas empresas da indústria aeronáutica foram identificadas no terceiro *workshop*. Seus principais resultados estão apresentados no Quadro 12. A realização dos três *workshops* possibilitou a identificação de 128 iniciativas de EC adotadas pela indústria aeronáutica, as quais estão apresentadas nos quadros 10, 11 e 12.

¹ Maiores detalhes sobre a realização dos *workshops*, veja o capítulo de Método de Pesquisa.

4.2.1 Empresa 01

Quadro 10. Iniciativas de EC comentadas pela Empresa 01.

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Regenerar	Combustíveis alternativos	Aviões operando com substituição completa de combustíveis fósseis por combustíveis alternativos e mais sustentáveis (etanol)	“O que que a Empresa 01 pensa na parte de combustível... Continua usando querosene, só que a Empresa 01 é a única empresa no mundo que tem um avião certificado a álcool.”
Regenerar/ Trocar	Combustíveis alternativos/ Aplicar novas tecnologias	Pesquisas sobre células de combustível	“Aí quando fala de combustível alternativo, a gente tem... A gente não tem ainda, assim, aplicado, mas a gente tem pesquisas na parte célula de combustível...”
Regenerar	Combustíveis alternativos	Parcerias de P&D para o desenvolvimento de combustíveis alternativos	“Em relação ao biocombustível, a Empresa 01, na verdade, ela não desenvolve nada em relação a isso, mas ela participa de... De iniciativas que utilizam combustível alternativo.”
Regenerar	Combustíveis alternativos	Desenvolvimento de biocombustível à base de cana-de-açúcar	“Nós participamos de um trabalho junto com uma fabricante do motor... Uma empresa que fabrica o biocombustível, que é uma empresa acho de Campinas, à base de cana-de-açúcar...”
Regenerar	Combustíveis alternativos	Operação de aeronaves com biocombustíveis	“Uma empresa nacional de linha aérea... E a gente fez um voo, até, de Campinas até o Rio na época, na ocasião do Rio+20.”
Regenerar/ Trocar	Tecnologias de propulsão alternativas/ Aplicar novas tecnologias	Projeto Avião Mais Elétrico	“Tem o avião mais elétrico, que você diminuiria a quantidade de combustível fóssil com menos geração de emissão de gases...”
Regenerar/ Trocar	Tecnologias de propulsão alternativas/ Aplicar novas tecnologias	Uso de motores elétricos como motorização auxiliar em aeronaves Uso de motores elétricos como motorização primária em UAVs	“Existe esse projeto do DT de aeronave mais elétrica que tá indo, então... No caso do UAV, 100% elétrico. Agora, na outra aeronave seria mais elétrico só. Então, ao invés de você gastar, ao invés de ter uma APU lá, alguma coisa, teria a parte elétrica e não precisaria tirar do motor.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Regenerar/ Trocar	Tecnologias de propulsão alternativas/ Aplicar novas tecnologias/ Escolher novo produto e/ou serviço	Drone tripulado com motorização 100% elétrica	“Tem até uma empresa... A questão de bateria... Tem uma empresa muito interessante que voou esses dias um... Como é que é diz? Um drone com passageiros... Eu não sei agora o nome... Mas, seria isso. Bacana, totalmente elétrico... Propulsão apenas elétrica, à bateria.”
Regenerar/ Trocar	Uso de UAVs/ Aplicar novas tecnologias/ Escolher novo produto e/ou serviço	Parcerias de P&D para o desenvolvimento de UAVs elétricos	“UAV, a gente tem um projeto com a Uber de desenvolvimento. Estamos desenvolvendo um... Esse projeto pra utilizar motores elétricos, isso tá em fase de desenvolvimento. Então a gente tem várias iniciativas que são, que estão ainda na fase de pesquisa.”
Regenerar/ Trocar	Redução das emissões de GEE/ Aplicar novas tecnologias	Troca de motorização de aeronaves para motores mais eficientes quanto à emissão de GEE	“Na questão de redução de CO2, nossa mais atual aeronave comercial a jato bimotora de médio alcance, que é a versão nova de um modelo anterior, é... Trocamos o motor. A gente usou aquele, o... É o motor da Pratt & Whitney, que ele reduz em torno de 18%... Na bancada do motor ele reduz até mais do que 20% do consumo de combustível, o que implica em redução de gases de efeito estufa. Eu acho que no avião mesmo, dá em torno de 14 e 16, em termo de redução.”
Regenerar/ Otimizar	Redução das emissões de GEE/ Aumentar o desempenho/eficiência do produto	Melhorias aerodinâmicas no projeto da aeronave para menor emissão de GEE e redução de consumo	“Foram feitas melhorias aerodinâmicas, também, pra que você tenha uma menor, uma menor emissão de gases. Em um outro projeto atual da mesma família, em que não houve mudança do motor de um tipo pro outro, é... Foram feitas mudanças na asa, algumas mudanças aerodinâmicas da aeronave e também pequenas mudanças do motor, da GE, no caso, em que a gente reduziu 6.4 a emissão de gases e a redução de consumo da versão normal pra uma versão que a gente chamou de plus (+).”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Regenerar/ Otimizar	Redução da emissão de ruído/ Aumentar o desempenho/ eficiência do produto	Reprojeto/modificação de aeronaves atuais para redução de ruído	“E é o avião que a gente mais vende hoje, é esse avião. Não, exatamente, pela redução de combustível e, nesse caso, desse avião, ele não foi recertificado pra ruído, mas ele reduziu o ruído, também. Então, foram feitas mudanças pra redução de ruído.”
Regenerar/ Trocar	Redução da emissão de ruído/ Aplicar novas tecnologias	Projeto Aeronave Silenciosa para redução de ruídos	“Em relação a ruído, também... A Empresa 01 tem um projeto que chama aeronave silenciosa, que ela fez com cinco universidades do Brasil, né? Que são pesquisas de partes da aeronave para você ter a redução de ruído.
Regenerar/ Trocar	Uso de fibras naturais/ Aplicar novas tecnologias	Parcerias de P&D para o desenvolvimento de produtos com fibras de fontes renováveis	“A questão de fibras naturais... A gente, nós temos, nós fizemos um projeto de desenvolvimento tecnológico com uma empresa do Rio, é... Em que a gente desenvolveu 150 produtos de fontes renováveis. E, aí, tem várias aplicações.”
Regenerar	Uso de fibras naturais	Uso de fibras naturais em projeto de parceria com automobilística	“E a gente fez até um trabalhinho junto com a Peugeot num carro que a Peugeot também comunicou, aí, como, é... Sustentável.”
Compartilhar/ Ciclar	Uso de materiais de sucata para subprodutos/ Reciclagem de materiais	Reciclagem de alumínio à plasma Reciclagem de compósito à plasma	“A gente queria fazer projetos pra reciclar, para utilizar o alumínio das aeronaves, depois que você descarta, voltando pra aeronave. E aí, a gente resolveu fazer um trabalho de avaliação de um processo novo, com uma empresa de Rezende, que tava fazendo reciclagem de alumínio à plasma. Aí, teve a ideia de fazer compósito naquele processo. E aí, fez e, diferentemente dos outros processos que existiam na época, em que a fibra do material composto ela era picotada, então, você perdia a integridade da fibra. Esse projeto à plasma que eles, que ele desenvolveu junto com essa, ele mantém a fibra intacta. É uma patente da Empresa 01, isso.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Compartilhar/ Ciclar	Uso de materiais de sucata para subprodutos/ Reciclagem de materiais	Reuso de compósitos da manufatura de aeronaves e aproveitamento de sobras para a fabricação de partes de ferramentais	“Pega o compósito, que é aquele tecido, recorta as partes e, o resto, a Empresa 01 paga pra ser incinerado. Paga para incinerar esse material. Aí, que que ela resolveu fazer? Reaproveitar isso. Peças não, não foi pra aeronave, mas foram peças de ferramentais da Empresa 01, que antes eram feitos com material virgem, inteiro, ela começou a fazer com os retalhos. Aí, ela fez uma análise, só para você ter uma ideia, uma redução de \$1.100.000,00 (dólares) por ano, em função da quantidade de material que a empresa, que a Empresa 01 usa.”
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças	Desmontagem de protótipos e aeronaves recebidas de clientes na troca conforme guia para desmontagem adequada de aeronaves e componentes	“Já há uns 5, 6 anos que nós somos membros da AFRA. Existe um guia pra você fazer a desmontagem adequada, né? Porque a Empresa 01 desmonta alguns aviões. Ela desmonta os protótipos, porque o protótipo ele é tão modificado que não justifica você adequar e vender como pra operar. Então, que que ela faz? Ela desmancha os protótipos e, também, ela faz o desmanche de aeronaves em que ela pega como parte de pagamento de uma aeronave maior, ela pega um usado e não vale a pena, não tem nada pra fazer com essa aeronave usada. Então, a gente conseguiu colocar nos contratos de desmanche, né? É feito o desmanche, e Empresa 01 vende por um preço muito baixo. Só que, essa empresa que compra o avião, desmancha e ela dá o destino adequado de acordo com o guia da AFRA.”
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças	Recertificação e revenda de partes e componentes como portas, trem de pouso, APU, motor e aviônica	“E as partes que são reaproveitadas, trem de pouso, portas, é... APU, motor, é... Coisas de aviônica que você tem uma... Ainda você tem uma vida útil porque no protótipo, às vezes, você vai mudando peça e daí a pouco ele já para. Então, pra você ver, você tem uma vida útil grande. Ele é recertificado e vendido. Quando essa empresa vende essa peça recertificada, parte do dinheiro vem pra Empresa 01. Então, esse é o negócio nosso pra desmanche de aeronave.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ Reciclagem funcional e de alta qualidade	Desmanche da fuselagem com fio diamantado ao invés de tesouras de corte	“Agora, a gente chamou uma empresa aqui que fez o desmanche pra, que faz o desmanche pra FAB e eles tem um processo de corte da fuselagem. Ao invés de pegar aquelas máquinas, aquelas tesouras enormes, lá, é um fio diamantado e que ele vai... Passa só o fio, então, você quase não danifica e aproveita mais, também, né?”
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ Reutilização secundária	Venda de peças de reuso dos protótipos para mercado aeronáutico de segunda mão	“Vendas de peças e tal. A gente tem a venda, essa venda de peças de reuso dos protótipos e de... Mas, a gente vende mais pro mercado mesmo aeronáutico. Então, hoje, o próprio mercado aeronáutico... De segunda mão que compra essas peças recertificada.”
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ Reutilização secundária	Venda de fuselagem de desmanche de aeronaves para uso em lanchas	“Eu já vi, também, uso pra lancha... O pessoal transformou a fuselagem de uma aeronave numa lancha... Adaptou o motor...”
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ Reutilização secundária	Venda de peças e componentes de desmontagem de aeronaves para uso como mobiliário	“Tem uma empresa, MotoArt, que vende também pra mobiliários e ele vende inclusive a história daquela... Ah, isso aqui pertenceu a um Boeing da operadora italiana que transportou certa vez o papa, sei lá...Eles vendem algo assim... De história mesmo.”
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ Realização de avaliação do ciclo de vida de todos os produtos	Mapeamento detalhado de itens e substâncias críticas ambientalmente presentes no projeto da aeronave	“Esse é o trabalho que a gente tá fazendo agora, de identificar, porque a própria legislação ambiental tá nos levando a isso. A saber tudo que existe na aeronave e aonde que tá localizado e a quantidade. Não só a Empresa 01, tá? Nós temos um grupo que é a <i>International Aerospace Environmental</i> que foi criado exatamente pra atender as legislações ambientais de substâncias.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Compartilhar/ Ciclar	Uso de materiais de sucata para subprodutos/ Reutilização secundária	Venda de resíduos de alumínio para uso não aeronáutico como em construção civil e automobilística	“Os resíduos de alumínio, a Empresa 01 vende pra uma empresa de Itaquaquecetuba e aí eles reaproveitam pra outro uso, não pro uso aeronáutico. Inclusive eles usam mais pra peças de parte de casa, carro... É... Às vezes o pessoal fala de fazer panela, mas é... O alumínio do aeronáutico não dá pra fazer panela porque ele é muito contaminado com as ligas, né? Mas dá pra fazer, assim, esquadrias, dá pra fazer isso. Então a gente vende pra, pra essa empresa.”
Otimizar	Aumentar o desempenho e eficiência do produto: redução da razão <i>buy-to-fly</i> / Alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção	Uso de cadeia de simulações computacionais para redução de fator de segurança em cálculo estrutural de projeto	“Várias iniciativas, por exemplo, redução de <i>buy-to-fly</i> , né? A questão de redução de massa... então, você se preocupar em criar aeronaves mais leves pra redução de combustível... Isso aí, tá no DNA de todo mundo aqui... Enfim, é toda uma cadeia de simulações que são feitas pelo, principalmente nosso pessoal de, de cálculo estrutural que pode determinar ou pode, vamos dizer, diminuir um pouco o fator de segurança porque foi exagerado...”
Otimizar/ Trocar	Aumentar o desempenho e eficiência do produto: redução da razão <i>buy-to-fly</i> / Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados/ aplicar novas tecnologias	Uso de novas tecnologias de manufatura e materiais como troca de peças metálicas rebitadas por peças termoplásticas	“A gente tem vários projetos, inclusive, nós temos um Guia DFE e em um dos exemplos eram peças que eram rebitadas, né? Depois virou termoplástico, então, diminuiu a quantidade de peças, de prendedores...”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Otimizar/ Trocar	Aumentar o desempenho e eficiência do produto: redução da razão <i>buy-to-fly</i> / Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados/ aplicar novas tecnologias	Substituição de processos convencionais por novas tecnologias para redução como <i>friction stir welding environmental</i>	“E tem aquela solda que o DT desenvolveu também que, que eu acho que nossa atual família de aeronaves comerciais usa. <i>Friction stir welding environmental</i> . Não que tudo seja com ela usada, mas que eu saiba eles já aplicam em algumas coisas. Já para a redução de número de prendedores, número de peças...”
Otimizar/ Trocar	Aumentar o desempenho e eficiência do produto: redução da razão <i>buy-to-fly</i> / Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados/ aplicar novas tecnologias	Eliminação de partes em montagens e redução de densidade por troca de materiais	“Depois, num determinado momento, foi verificado que realmente o cálculo foi superestimado então há uma possibilidade de alívio, há possibilidade inclusive de, de diminuir a quantidade de materiais diferentes utilizados, né? Numa montagem, por exemplo... Diminuir densidade... Você fabricar um painel... Um revestimento acoplado... Já com os reforçadores, com os <i>stringers</i> ... Se for em compósito, por exemplo, evitando o uso de prendedores, o que agrega massa. Ou mesmo, ao invés de você usinar o painel, depois usinar os <i>stringers</i> , já usinar tudo junto. Usina já com os reforçadores...”
Otimizar	Projeto e fabricação envolvendo redução/ Alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção	Uso de <i>software</i> para cálculo de aproveitamento máximo de blocos de alumínio	“A gente tem algumas iniciativas e uma que tá no nosso Guia, também, é um processo chamado <i>nesting</i> que é um programa... É, quer dizer, se você tem um bloco de alumínio, ele faz a melhor distribuição de peças, pequenas peças pra ter um aproveitamento máximo. Então, isso aí deu uma redução.”
Otimizar	Projeto e fabricação envolvendo redução	Projeto de otimização de cablagem e componentes elétricos de aeronaves	“É... Isso de resíduos... Tem a da cablagem, a gente fez projetos de DFE do grupo de cablagem mesmo, que a gente jogava muito material fora e aí várias células fizeram um trabalho baseado na metodologia DFE pra redução.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Otimizar/ Trocar	Projeto e fabricação envolvendo redução/ Aplicar novas tecnologias	Pintura robotizada de aeronaves e redução de produtos químicos	“A pintura, a Empresa 01 usa robô pra pintar partes da aeronave e a redução é de 30% da quantidade de tinta e, evidentemente, na emissão dos gases voláteis durante o processo. Porque eles conseguem fazer uma camada mais uniforme, mais fina... E a gente usa na, na fuselagem, a gente usa esses robôs, inclusive a Empresa 01 não permite ninguém visitar... Você pega o avião, assim... Imagina, tem lá o nariz faz isso, o robô vai acompanhando toda essa superfície do avião. Ele pinta sozinho o avião, o robô. Mas, só que daí, ela se baseia nas dimensões da aeronave e aí faz... Faz a pintura toda. E teve essa redução muito grande de tinta.”
Otimizar/ Ciclar	Segregação de resíduos e sistema adequado de descarte de resíduos/ Reciclagem funcional e de alta qualidade	Reaproveitamento de ligas de alumínio aeronáutico com separação de ligas por tipo para reciclagem/reuso	“Então, existem iniciativas sustentáveis dentro da fábrica? Ah, sim... Não tem nada pra aterro é tudo reaproveitado. Inclusive, as fábricas de, de Portugal... Aqui, aqui nós temos um problema de reaproveitar porque as, as ligas são misturadas. Em Portugal, não. Eles já fizeram uma coisa separada pra poder reaproveitar o alumínio por liga... Não, não misturado.”
Otimizar	Segregação de resíduos e sistema adequado de descarte de resíduos	Descarte de resíduos de produção como panos de aplicação de selante, cola e outros produtos químicos para incineração e geração de energia	“Panos que, todo dia, tem pessoas que usam 5, 10 panos, né? O pessoal da produção... Porque aplica selante, aplica é... Cola, aplica adesivo, aplica calço líquido... Ele precisa limpar ali o excesso. Isso, um pano contaminado... Empresa 01 não tem mais nada pra aterro, tudo incinerado. Isso não tem como se reaproveitar. Vende pra incineração. E faz energia.”
Otimizar/ Trocar	Design de embalagem otimizado/ Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados/ aplicar novas tecnologias	Projetos de redução de embalagens – otimização de espaço físico e troca de material de madeira para metal	“Então, a Empresa 01, nessa época que a gente começou com essas iniciativas de DFE, mesmo, entrou um pessoal também da fábrica, eles fizeram 95 projetos de redução de embalagem. E uma delas é pros EUA que, por exemplo, vem uma peça grande que vinha de madeira, então chegava aqui, desmanchava e a madeira jogava fora. Aí fizeram metálico e fizeram de uma maneira em que a desmontagem ficaria o menor espaço possível pra poder mandar de navio de volta. Aí, reduziria o custo do transporte da embalagem mesmo.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Otimizar/ Trocar	Design de embalagem otimizado/ Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados/ aplicar novas tecnologias	Projetos de redução de embalagens – eliminação de descarte múltiplo e troca de materiais diversos para PVC	“Então, foi feito isso e feitos vários outros, assim. Por exemplo, tinha uma peça do nosso jato executivo que jogava quatro vezes fora essa embalagem porque a peça ia daqui pra um fornecedor, embalava, chagava lá jogava fora, ele fazia alguma coisa, embalava e mandava pra cá... Quadro vezes. Aí fizeram um tubo de PVC e agora põe dentro do tubo e esse tubo fica circulando. Então teve também essas iniciativas da fábrica, de consumo.”
Otimizar/ trocar	Design de embalagem otimizado/ Escolher novo produto/ serviço (por exemplo, transporte multimodal)	Projetos de redução de embalagens – troca de embalagem descartável por equipamento permanente de fixação e movimentação de peças	“Peças, por exemplo, que vão de uma área pra outra... Ah, pinteí, depois vou fazer não sei o que... Como a gente tem que cuidar da peça pra que ela vá intacta... Foi feito, vários lugares, foi feito carrinhos com rodinhas. Então, você coloca a peça em cima, né? Fixa ela, sei lá... Uma peça grande mesmo, né? E, aí, você empurra até o próximo lugar e vai empurrando, então, você não usa mais embalagem nenhuma. Teve uma redução grande de embalagem aqui dentro.”
Otimizar/ Virtualizar	Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção/ Desmaterializar diretamente	Uso de <i>software</i> de análise prévia de desmontagem e simulação de manufatura	“E a gente tem algumas outras práticas no sentido de análise de desmontagem, então eu não sei se vocês trabalham com algum <i>software</i> de manufatura... Sim, tem, é... Tem aquelas coisas. Eu tenho alguns amigos que já trabalharam na manufatura... Tem muito, é... Aquela coisa de ergonomia, simulação da manufatura. É, a gente faz análise, né? Pra dar montagem...”
Otimizar/ Virtualizar	Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção/ Desmaterializar diretamente	Uso de <i>software</i> para análise prévia de processos de manutenção de aeronaves e ergonomia de operadores	“É, a gente faz a parte de ergonomia e que também de manutenção há muitos anos... Vixi, faz mais que uns 15 anos... Que a gente comprou aquele <i>software</i> chamado “Jack”. Ele, ele você simulava a parte toda de ergonomia e, também, de manutenção.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Otimizar/ Virtualizar	Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção/ Desmaterializar diretamente	Substituição do <i>mockup</i> físico por (<i>digital mockup unit</i> (DMU)) Uso de <i>softwares</i> de simulação computacional em substituição à realização de ensaios em voo	“É, a gente tem muito disso, lá... O DMU a gente tem, a gente faz muito... Reduziu muito ensaios em solo fazendo virtual e a gente também teve uma campanha grande de redução de ensaio em voo. Quer dizer, muito mais coisas simuladas do que fazer ensaio em voo. Tivemos uma redução. Tá, então, hoje isso é aplicado tanto... Desde a parte da manufatura até a parte de ensaios... Vai gastar menos combustível, inclusive, né? Poluir menos, gerar menos CO2...”
Otimizar/ Virtualizar	Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção/ Desmaterializar diretamente	Uso de realidade virtual por óculos para análise do projeto total da aeronave, instalação de sistemas, processos de fabricação e manutenção	“Uma coisa que a gente faz... Avaliação da aeronave toda com... É aquele que usa os óculos? Isso. Realidade virtual... A gente usa já há muitos anos. E, é utilizado, hoje, pra manutenção e pra fabricação, também... E também... Pro desenvolvimento. Quando ele vai instalar um sistema de ar condicionado, ele tem que ver aonde ele vai fazer a passagem dos dutos... Então, ele usa a realidade virtual pra isso. Existe um <i>mockup</i> do avião tá lá já... Aí ele vê onde ele vai passar, as curvaturas, se ele pode, como que ele vai fazer. É muito utilizado isso.”
Otimizar/ Virtualizar	Sistema de informação eficiente/ Desmaterializar diretamente	Substituição de roteiros de produção/manutenção em papel por roteiros digitais Uso de <i>tablets</i> e estações de computadores na execução de atividades em ambientes de produção e manutenção de aeronaves	“E tem, também, todo um projeto de, é, trabalho com a aeronave que é de diminuir os roteiros em papel, então... É tudo com <i>tablet</i> . Tem uma questão toda de você ter os dados da aeronave, e o trabalho pra fazer manutenção e saber qual que é a parte da aeronave que tá... E tem toda uma questão de redução de papel... Nos roteiros, né? Então os, o pessoal do processo eles recebem isso em <i>tablets</i> . Então, o operador sabe naquela montagem, ele tem que usar tantos prendedores e tem que usar a peça tal junto com a tal, né? Então, ele separa aquele “kitzinho” que ele vai fazer naquele momento, leva até a estação de trabalho dele, efetua aquele passo do roteiro que ele já previamente leu e que antigamente tinha que assinar, falar que deu baixa pra passar, eventualmente, pro segundo turno e tal pra continuar aquilo mas hoje tudo eletrônico, ele entra com o <i>login</i> dele, ele afirma que terminou e a etapa dá como concluída, tem o registro da hora, quem fez e tudo mais. Se a qualidade quiser auditar e tal...”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Otimizar/ Virtualizar	Sistema de informação eficiente/ Desmaterializar diretamente	Substituição da documentação da aeronave em papel por documentação digital	“É, um outro exemplo... Os manuais, também, da aeronave... É tudo digital agora, não tem mais papel no avião...”
Compartilhar	Compartilhar ativos/ <i>design</i> p/ durabilidade/ realização de avaliação do ciclo de vida de todos os produtos	<i>Leasing</i> de aeronaves e acompanhamento do ciclo de vida para trocas, manutenções e descarte	“E tem, também, essa questão do <i>leasing</i> , né? Que a Empresa 01, ela vende uma aeronave e aí... É como se fosse um aluguel mesmo, né? E vai trocando, então a aeronave na verdade é da Empresa 01. Tem toda uma questão. Também, que... Que é como se fosse um serviço e não mais, né? Pensar em serviço não só em entregar um produto.”
Compartilhar/ Otimizar	Compartilhar ativos/ <i>design</i> p/ durabilidade/ realização de avaliação do ciclo de vida de todos os produtos Aumentar o desempenho/ eficiência do produto	Aluguel de componentes e acompanhamento do ciclo de vida para trocas, manutenções e descarte Projeto de partes e componentes otimizados e mais duráveis	“Ah, não só a Empresa 01, todas as empresas. Tem fabricante de motor agora que tá com esse projeto aí... A Rolls-Royce é uma. De não vender mais o motor... Que o motor custa uma fortuna, né? Não vende mais e vende hora voada... É uma outra maneira de... De atuar. E, aí, eles fazem um motor que dure mais... É interesse deles, né? Que use menos matéria-prima, que precise trocar menos peças, então, aí você entra com esse conceito de economia circular, né? Fazer para durar o máximo que tempo, pra trocar o mínimo de coisa, fazer, enfim, o fim de vida ser o mais longe possível.”
Compartilhar/ Ciclar	Simbiose industrial/ espaço polivalente Rede ecoindustrial regional mais fácil	Alocação de fornecedores dentro ou próxima da empresa fabricante de aeronaves	“A cadeia de suprimentos, a cadeia de fornecedores no mundo aeronáutico, a gente pode dizer que ele é relativamente restrito, né? Ela falou de uma cadeia de fornecedores regionais, né? Ou seja, próxima aqui pra evitar custo de transporte, né? Imagino que seja algo assim. Então, mas é difícil isso... É diferente da indústria automobilística que facilita isso. Indústria automobilística eles colocam empresas dentro das próprias montadoras.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Compartilhar/ Ciclar/ Trocar	Desmaterializar indiretamente/ Sistemas de devolução e troca/ Implementar novos caminhos de sistemas logísticos	Criação de <i>pull</i> de peças em pontos estratégicos para entrega e troca de peças com transporte otimizado	“A Empresa 01 tem, tem um <i>pull</i> de peças em pontos estratégicos em que ela garante lá a entrega de peças, por exemplo, em 24h. É, por exemplo, ao invés da pessoa comprar um, né? Ficar comprando a peça direto, ela compra o serviço da Empresa 01. Então, a Empresa 01 entrega pra ela a peça aonde ela estiver e é um pouco mais fácil isso, então, é... A gente tem um estoque, né? Enfim, a gente presta um serviço, né? Não é simplesmente comprar peça. A gente presta um serviço pras empresas e várias empresas fazer parte desse <i>pull</i> .”
Trocar	<i>Design</i> para desmontagem/ <i>design</i> para modularidade	<i>Design</i> de interior de aeronaves p/ desmontagem e modularidade	“Então, você trabalhar com modularidade, você trabalhar com a questão do <i>design</i> pra desmontagem... No caso, por exemplo, do interior... A desmontagem dele é muito pensada, bem pensada, mas não no fim de vida... Porque quando você faz um <i>check C</i> , por exemplo, você tira todo o interior pra fazer as inspeções. Então, no caso de manutenção. Como você tem que facilitar a manutenção você já faz isso...”
Compartilhar/ Trocar	Realização de avaliação do ciclo de vida de todos os produtos/ <i>Design</i> para desmontagem/ reciclar	Introdução de análise de ciclo de vida completo da aeronave e aplicação de conceitos de <i>design</i> ainda em fase de projeto	“Por exemplo, até agora a Empresa 01 quando fabrica uma aeronave, tá começando a pensar, mas vamos dizer há algum tempinho atrás ela não pensava que que vai acontecer na hora de desmontar. A empresa só pensava até o momento de certificar a aeronave. Certificou e eu vou fabricar tudo igual, então, não se pensa mais. Só que a gente introduziu o ciclo de vida do produto inteiro, nós temos até uma figurinha do ciclo todo do produto...”
Compartilhar/ Trocar	<i>Design</i> para durabilidade, capacidade de atualização/ <i>Design</i> para desmontagem/ reciclar e <i>design</i> para modularidade	Criação de grupo DFX para análise de todos os <i>design</i> for...	“Tem um grupo que trabalha também com DFX e a gente trabalhou junto com eles colocando nosso tópico lá... Porque toda essa parte toda... Todos os <i>designs for</i> ... Metodologia... É... <i>Design for</i> alguma coisa... No DIP tem um grupo que trata disso. E aí nós fomos chamados pra, pra colocar a nossa parte lá, de DFE.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Trocar	Aplicar novas tecnologias	Uso de impressão 3D em partes e componentes secundários da aeronave Uso de impressão 3D na construção de <i>mockups</i>	“Nós temos fornecedores que já usam peças em 3D. Fabricante de motor que já usa... A gente tem, assim, em interiores a gente tem... Interiores tem bastante, já. Faz tempo que tem, já 3D. Há alguns anos, começou até com protótipo, pra fazer... <i>Mockup</i> , coisas desse tipo. Então, existe sim, áreas que trabalham com isso, mas não é assim... Acredito tão expressivo quanto, talvez, outras indústrias. Mas a gente faz. A gente tem impressoras 3D, a gente tem pesquisas com o ITA...”
Compartilhar/ Otimizar/ Ciclar	Água reciclada e reutilizada/ Consumo eficiente de energia na fabricação e serviços/ auditoria e controle da intensidade energética/ aumento da ecoeficiência na produção/ Liberação de efluentes e poluentes de água/ uso eficiente da água na fabricação e serviços	Certificação de construção sustentável (LEED) das fábricas de aeronaves Certificação de construção sustentável (LEED) dos edifícios administrativos das fabricantes de aeronaves	“A fábrica da Empresa 01 de Portugal, né? A fábrica, ela tem certificado LEED. É de construção, de edificação. É uma construção que, desde o DIP da construção da fábrica é pensado para minimizar os impactos. Alto aproveitamento da luz solar... Assim, a temperatura interna, tenta regular por isolantes, né? Materiais de alvenaria... Então... Você tem a fábrica de compósitos na verdade LEED prata... A de metálicos é LEED ouro. Em São Paulo a gente tem um prédio LEED. Que ele é todo espelhado, tem toda uma questão de aproveitamento, o uso mínimo de a condicionado pra manter o clima... Pra manter a temperatura ideal usando o mínimo de ar condicionado, enfim, usa pouquíssimas luzes e as luzes que usam são de LED e etc., né? Gestão de resíduos, tudo isso... O esgoto. Aproveitamento de água.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Otimizar/ Trocar	Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i>, automação, sensoriamento remoto e direção/ Compras mais limpas/colaboração com fornecedores e seleção de novos fornecedores (desenvolvimento) usando critérios ambientais/ Desenvolvimento de competência para/e uso de tecnologia ambientalmente amigável	Uso de <i>software</i> para identificação/mapeamento da aplicação de substâncias químicas perigosas nas aeronaves Parceria com fornecedores para identificação do uso de substâncias perigosas e substituição por produtos alternativos	“Nós estamos com um <i>software</i> agora que cruza uma aeronave, aquilo que foi cadastrado, o <i>cas number</i> de uma substância que é perigosa... Se tem alguma legislação que tá associado... E a gente identificou algumas que são, que chama de <i>very high concern</i> da Europa. Do REACH. Agora, nós estamos perguntando pro fornecedor... Acreditamos que você tenha isso aí, você tem conhecimento? Você tá achando um alternativo? Aqueles que precisam de autorização, você já tá buscando autorização? Que a gente tá preocupado mesmo com a obsolescência... Que, se de repente, proíbe uma substância... É, a gente pode ter problema depois na fabricação, né? Porque... Na indústria aeronáutica você não faz uma alternativa de uma hora pra outra, né? Às vezes demora meses, até anos, assim... Até você testar tudo, passar por todo o processo de certificação...”

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de resultados do *workshop* realizado na Empresa 01 (2019).

4.2.2 Empresa 02

Quadro 11. Iniciativas de EC comentadas pela Empresa 02.

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Regenerar/ Trocar	Tecnologias de propulsão alternativas/ redução das emissões de GEE/ redução da emissão de ruído Aplicar novas tecnologias	Troca de motorização de aeronaves para motores mais eficientes quanto à emissão de GEE e ruído como motores elétricos	“A aeronáutica tem buscado soluções pra melhorar a eficiência, redução de poluentes... Por exemplo, o que tá entrando na moda é o uso de motores elétricos. Fala-se muito de hidrogênio, fala-se muito de outras soluções, mas, assim... Os estudos mais avançados, hoje, já indicam que essas outras soluções, elas não têm futuro, né? É muito difícil você conseguir viabilidade econômica e performance pra motivar um novo ciclo de desenvolvimento aeronáutico. O pessoal que tá mais ligado à concepção dentro das grandes fábricas, os grandes OEMs, olha com bons olhos as soluções com baterias em motores elétricos. Esse, provavelmente, é o próximo salto que a aeronáutica terá pra reduzir emissões, eu não falo só de combustível, de poluição, também sonora e se desligar um pouco do uso de combustível fóssil.”
Ciclar/ Trocar	Reciclagem de materiais/ Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados/ <i>design</i> para desmontagem/ reciclar e <i>design</i> para modularidade	Projeto de aeronaves e seleção de materiais para reciclagem	“O caça multiuso tá sendo desenhado pra 35 anos, então, é uma aeronave que afeta pouco o meio ambiente... A escolha de materiais dele também é toda ligada à reciclagem... Todo o material, tanto que foi gerado durante a sua produção quanto no descarte dele, são todos materiais que foram escolhidos para serem reciclados no futuro.”
Ciclar	Reciclagem de materiais	Reciclagem de retalhos de alumínio aeronáutico	“A aeronáutica, em alguns aspectos, tá na frente de outras indústrias. Praticamente, 100% das sobras de retalho de alumínio aeronáutico são recicladas, ou seja, não se fala 100% dos produtos da automobilística.”
Compartilhar	Realização de avaliação do ciclo de vida de todos os produtos	Avaliação de todo o ciclo de vida da aeronave	“A própria certificação aeronáutica, ela exige que você faça a certificação, não só da aeronave, mas de todo o processo, né? De <i>life cycle</i> do produto, né? Até o descarte. É exigido que você demonstre esse tipo de controle, né? Então, é uma característica da aeronáutica, né? Você precisa pensar no próprio descarte dos produtos.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Compartilhar/ Otimizar/ Trocar	Compartilhar ativos/ espaço polivalente/ Aumentar o desempenho e eficiência do produto: uso de espaço e quantidade de peças minimizados/ Usar novas tecnologias	Uso de novas tecnologias em ferramentais como os ferramentais flexíveis e reconfiguráveis	“Hoje, um gasto muito grande que existe dentro das empresas é com ferramentais, ferramentais e espaço pras montagens. Por exemplo, se você tem uma fuselagem, você tem que ter às vezes um ferramental com painel direito e um painel esquerdo. Isso pega no meio ambiente também, obviamente, né? Você tem que duplicar a fabricação de ferramentais e duplicar o uso do espaço. O espaço também tem os seus custos, né? A ideia do ferramental flexível, são ferramentais que você consegue, rapidamente, reconfigurá-lo pras outras funções, não só uma. Tem empresa já trabalhando com esse tipo de solução... Isso faz parte do futuro da aeronáutica.”
Compartilhar/ Otimizar	Compartilhar ativos/ Aumentar o desempenho e eficiência do produto	Similaridade de peças no projeto da aeronave para redução do número de PNs	“Outro ponto importante, né? Que tem crescido muito, né? É a parte do desenvolvimento de segmentos, desenvolvimento de peças... Você trabalhar com similaridade de peças. Isso não era feito dessa maneira no passado... Tanto é que a gente vê entre aviões, às vezes, só porque o fabricante de um segmento é um Latécoère e o outro é uma Sonaca o <i>shear clip</i> é outro <i>part number</i> . Quer dizer, eles desenharam a mesma peça, que eventualmente poderia ser a mesma peça, mas não... Acabaram desenhando peças diferentes.”
Otimizar/ Trocar	Aumentar o desempenho e eficiência do produto: redução da razão <i>buy-to-fly</i> / alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção/ projeto e fabricação envolvendo redução/ Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados	Uso de simulações computacionais para otimização da fabricação e redução de massa por troca de materiais	“Bom... E o processo também, em si, de fabricação, né? Otimiza-se toda a estrutura, usa-se o estado da arte, né? Pra buscar soluções mais leves, né? Mais leve entenda consumo de combustível, né? O que norteia a aviação civil é consumo, então, todo o trabalho que é feito pra redução, busca de novas soluções pra diminuir o peso, contribui pro meio ambiente. Novos materiais...”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Otimizar/ Virtualizar	Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção Desmaterializar diretamente	Uso de <i>software</i> para <i>scanner</i> e análise de avarias em aeronaves para análise de engenharia	“Existe já estudos avançados pra... Quando você tem um problema numa aeronave, você passar um <i>scanner</i> que ele mapeia a região onde tem a avaria e você já manda, diretamente pro engenheiro, um modelo 3D já com as dimensões pro engenheiro poder fazer o trabalho dele mais rápido, mais limpo.”
Otimizar/ Trocar	Mitigação do impacto dos impactos ambientais de produtos e serviços/ Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados/ usar novas tecnologias	Substituição de processos convencionais por novas tecnologias de tratamento superficial	“A anodização, ela afeta a fadiga, mas é uma necessidade pra proteger a fuselagem contra corrosão e outros problemas que, eventualmente, podem existir. No passado, os aviões usavam muito as anodizações por ácido bórico e ácido crômico. Esses ácidos, ao longo do tempo, foram proibidos em alguns países e reduzidos em outros. Isso aí não é uma escolha da aeronáutica, isso aí foi uma escolha do mercado, das pressões da população que normatizaram em alguns países a proibição, como é o caso do Brasil... É proibido usar esses ácidos e buscou-se outras soluções... Elas são menos eficientes, mas elas são <i>environmentally friendly</i> ... Como o uso do ácido fosfórico e tartárico.”
Otimizar/ Trocar	Mitigação do impacto dos impactos ambientais de produtos e serviços/ Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados/ usar novas tecnologias	Substituição de processo de usinagem química por processo de usinagem convencional com fresa	“ <i>Skin</i> de avião, sobretudo civil... Eles têm usinagens que, antigamente, se fazia química, né? Você tinha os <i>pockets</i> onde você usina, né? Isso aí tem sido, com os anos, deixado de lado. Porque a usinagem química... Ela gera muito resíduo de... Do processo, né? Então, tem sido mudado esse processo pra usinagem convencional, com fresa, né? Lembrando que a fresa veio antes da usinagem química né? Então, por que que surgiu a usinagem química? Por causa da tolerância, né? Das tolerâncias do processo, né? A usinagem mecânica, antigamente, a tolerância não atendia, né? Só que hoje, têm sido atingido os níveis de tolerância pra você ter esse processo que é mais... E foi uma mudança que foi toda ligada a meio ambiente, não é ligada a custo porque, ao que eu sempre escutei, usinagem mecânica sai mais caro em muitos casos que você fazer usinagem química.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Otimizar/ Trocar	Aumentar o desempenho e eficiência do produto/ projeto e fabricação envolvendo redução/ Usar novas tecnologias	Substituição de processos convencionais por novas tecnologias de montagem para redução de peças e ferramentais: <i>robot snake</i>	“Outro é... Tecnologia embrião que tem sido usada, né? <i>Robot snake</i> . Seria algo pra facilitar a produção, reduzir o número de ferramentais e segmentação de peças, né? A rebitagem de avião ela é muito complicada em alguns casos, né? Porque você precisa acessar a fuselagem dos dois lados... Se você quer usar um rebite, por exemplo, de alumínio batido. Que que esse robô <i>snake</i> ? Ele caminha dentro da fuselagem como uma cobra... E ele faria o contra peso do outro lado, né? O calço, né? Pro operador rebitar. Ou o próprio robô faz a... Então, dessa maneira, você consegue soluções diferenciadas, né?”
Otimizar	Segregação de resíduos e sistema adequado de descarte de resíduos	Descarte de resíduos oriundos de processos de anodização de fuselagem e tratamentos superficiais	“Então, eu acredito que... E que em muitos casos, o próprio ambiente de desenvolvimento da aeronáutica e pelos custos também, né? Porque você tá falando de produção... Praticamente artesanais. Eles forçam o desenvolvimento de práticas que reduzem os custos. Lembre-se que, por exemplo, dependendo do produto que você usa, o descarte dele não é barato. A forma de você faz a anodização da fuselagem, os tratamentos superficiais... Então, pra você descartar esses produtos é muito caro. O resultado desses ácidos. Então, é uma questão do mercado, mesmo...”
Otimizar/ Compartilhar	Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção/ Realização de avaliação do ciclo de vida de todos os produtos	Sistema de gestão de produtos, comunicação e rastreabilidade de partes e componentes da aeronave	“Eu vejo que a indústria mais bem estruturada que existe é a aeronáutica porque é a indústria onde existe o maior número de requisitos, é uma exigência da operação da aeronáutica. Toda a rastreabilidade de produtos, rastreabilidade de tudo... Isso aí tá dentro da própria certificação. Você precisa ter um PLM extremamente desenvolvido pra você conseguir comunicar peças em aviões porque a certificação, ela é pesada, né? Então, você usar uma peça de um avião no outro significa que você precisa revalidar, requalificar essa peça. Hoje, tem existido processos pra nos ajudar nesse tipo de trabalho onde você consegue, rapidamente, recalculando uma peça para uma nova situação. Você consegue ter um catálogo de peças e sair utilizando essas peças. Então, essa questão de gestão da informação, né? De um VPM, um PLM é algo que também tem atraído muita atenção.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Otimizar/ Compartilhar/ Virtualizar	Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção/ Espaço polivalente/ Desmaterializar diretamente	Indústria 4.0: automação de fábricas de aeronaves Indústria 4.0: projeto e construção de fábricas flexíveis/customizáveis de aeronaves Indústria 4.0: simulação fabril e análise de processos em ambiente virtual	“A questão das automatizações, das simulações de fábrica... A fábrica, hoje em dia, ela vai se tornar cada vez mais um <i>commodity</i> flexível, né? Que você consegue, rapidamente, customizar uma fábrica pra um determinado produto ou passar pra outro produto, analisar processos... De simular os processos antes deles existirem. Quer dizer, você faz a fábrica rodar antes dela existir. Você consegue prever todos os problemas de processo que vai acabar também afetando o meio ambiente, acaba afetando performance do produto, a durabilidade do produto que também tem a ver com descarte... A indústria 4.0 não é só a industrialização, é você simular todo o <i>life cycle</i> do produto. As empresas tão engatinhando, ainda poucos têm conhecimento ou vivem uma situação dessa, mas é o que tá aí batendo na porta pros próximos anos.”
Otimizar/ Virtualizar	Sistema de informação eficiente/ Desmaterializar diretamente	Substituição de roteiros de produção/manutenção em papel por roteiros digitais Uso de <i>tablets</i> e estações de computadores na execução de atividades em ambientes de produção e manutenção de aeronaves	“O <i>paper less</i> , ele começou em escritório, onde as empresas deixaram de usar impressão, né? Mas, hoje a gente tá vivendo a segunda fase do <i>paper less</i> que o pessoal chama de MBD (<i>model-based definition</i>) onde, inclusive, na produção... Esse é o grande diferencial... Não se usa mais papel nem roteiros impressos. O padrão hoje, que o mercado tá atingindo, cada estação de trabalho vai ter um terminal... Já tem, na verdade... Tem um terminal onde o operador pode consultar tudo que ele precisa ali. Inclusive, com vídeos mostrando a operação que ele tem que fazer, as normas de selante, instalação... Tudo que ele precisar, tá lá de maneira bem visual.”
Compartilhar	<i>Design</i> para durabilidade, capacidade de atualização	Projeto de aeronaves voltado ao <i>design</i> para durabilidade	“Quer dizer, são produtos que foram desenhados pra uma longevidade gigantesca. Você pega, hoje, o projeto de um caça multiuso de quarta geração e meia, fabricado por uma empresa aeroespacial sueca... Hoje, ele tem, de projeto, 35 anos de durabilidade...”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Compartilhar/ Trocar	<i>Design</i> para durabilidade, capacidade de atualização/ <i>Design</i> para desmontagem/ reciclar e <i>design</i> para modularidade	Revitalização, atualização, manutenção e reparo de aeronaves e partes	“Isso é algo que, eu acredito, que a aeronáutica, ela é pioneira. A reutilização, a reciclagem... Hoje em dia, tem se tornado cada vez mais comum, né? Você comprar aeronaves antigas e revitalizar pra outras operações, né? Os projetos militares, é onde você mais faz isso. O pessoal troca tudo a aviônica, mas a célula dele continua voando.”
Compartilhar/ Otimizar/ Ciclar	Água reciclada e reutilizada/ Consumo eficiente de energia na fabricação e serviços/ auditoria e controle da intensidade energética/ aumento da ecoeficiência na produção/ Liberação de efluentes e poluentes de água/ uso eficiente da água na fabricação e serviços	Pré-projeto de construção ambientalmente sustentável para fábricas de aeronaves	“A gente começou o projeto da fábrica de uma empresa sueca criadora de sistemas de defesa e segurança aeroespacial, em São Bernardo do Campo e o primeiro projeto que nós fizemos foi realmente um <i>framework</i> sobre análises de requisitos de meio ambiente, saúde e segurança. É feita, realmente, uma avaliação de todos os órgãos... Não só bombeiro, mas CETESB, a ANA, né? Agência Nacional das Águas... Quais são as restrições locais, como é que você vai tratar com os químicos... Os requisitos de uso de químicos... Você pega uma cidade, uma cidade você não pode colocar alguns processos químicos em qualquer lugar... Você tem restrição por questão de segurança, contaminação dos solos...”

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de resultados do *workshop* realizado na Empresa 02 (2019).

4.2.3 Empresa 03

Quadro 12. Iniciativas de EC comentadas pela Empresa 03.

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Regenerar	Combustíveis alternativos	Aviões operando com substituição completa de combustíveis fósseis por combustíveis alternativos e mais sustentáveis (etanol)	“Outras mudanças que a gente foi percebendo, principalmente, é... Na aviação voltada pra prestação de serviço, né? Um avião que atende uma operação executiva pro agronegócio, é... Um avião que atende um MEDEVAC, né? Um aeromédico... Começaram-se a avaliar possibilidades de mudanças de motorização e de combustível. Então, começou a aparecer apelo de, por exemplo, aviação agrícola mudar, é... Um motor à pistão utilizando AVIGÁS pra utilização do etanol, né? Isso era uma coisa, assim... Mas como, né? Como usar álcool? Hoje é uma realidade. O avião agrícola monomotor de asa baixa desenvolvido e fabricado no Brasil, ele sai de fábrica à álcool, né? E já nem... Já nem consideram não fazer, é... À etanol.”
Regenerar/ Trocar	Combustíveis alternativos/ Aplicar novas tecnologias	Operação de aeronaves com motorização alternativa e combustíveis alternativos na aviação agrícola	“Se você pensar, quando se discutia aviação motor a álcool, é... Pra aviação agrícola, né? E se tinha uma frota enorme aí, todos com AVIGÁS e nem tinha turbo hélice na aviação agrícola... De repente, aviação agrícola com turbo hélice é uma realidade, né? A crescente da frota já vem pra turbo hélice, já uma queima de querosene... Já muda combustível, já muda performance de avião, já muda realidade de estrutura de ambiente de aplicação, né? Quantidade de aplicação e aquele que sai pistão já sai com etanol. Isso foi muito rápido. Isso aconteceu muito rápido.”
Regenerar/ Trocar	Combustíveis alternativos/ <i>Design</i> para modularidade/ aplicar novas tecnologias	Motores modificados para uso de mais de um combustível alternativo	“E existem discussões, hoje... Estudos dessa versatilidade acontecer com relação a combustível, por exemplo, né? Você não ter um, mas ter mais de um tipo de uso de combustível, né? Na aviação. Eu posso, enfim... Colocar uma aplicação, ali, que aceita usar o álcool e o AVIGÁS junto... Ou, a modificação pra quem só tinha AVIGÁS e quer ir pro álcool, fazer a modificação... Isso é uma tendência, né? Já acontece... Ir pro querosene...”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Regenerar/ Otimizar/ Trocar	Combustíveis alternativos/ tecnologias de propulsão alternativas/ Aumentar o desempenho/ eficiência do produto <i>Design</i> para modularidade/ aplicar novas tecnologias	Motores modificados de outras indústrias, uso de combustíveis alternativos e maior eficiência na razão peso/ potência	“É... E aí isso migrando pra aviação executiva, começaram-se a aparecer motores de aproveitamento de motor da indústria automobilística, com modificações, é... Que tanto agregava valor com relação peso/potência, né? No produto ali, pra performance... Quanto consumia... Por exemplo, um querosene de aviação ou um diesel diferente que o Brasil ainda não tem esse tipo de diesel, mas lá fora já tem e já se usa...”
Regenerar/ Trocar	Uso de fibras naturais/ Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados	Uso de materiais alternativos em interiores de aeronaves	“Por exemplo, interiores... Tudo era <i>plate</i> . Então, tinha muita coisa que precisava ser dourado ou que precisava ser prateado, precisava ser metálico e aí você tinha peso, você tinha material metálico, né? Envolvido no processo, é... Começaram a sair interiores aonde se valorizava menos <i>plate</i> e mais outros, outros materiais. É... Os materiais de móveis de interiores começaram a mudar, começaram a ser colmeias de compósitos, é... Com leveza e com aproveitamento de outros materiais, que aí entrou carbono, entrou fibra de coco, essas... Esse tipo de material, é... E a gente começou a já perceber um monte de mudanças.”
Regenerar/ Trocar	Tecnologias de propulsão alternativas/ Aplicar novas tecnologias	Uso de motores elétricos como motorização auxiliar e primária em aeronaves	“Em 2015, eu tava em Oshkosh e eu estava vendo LSA, chinês, 100% elétrico, voando. Não era coisa de <i>stand</i> , de projeto e tudo mais... Então, assim, é muito rápido, né? Muito rápido. Você pega de 2015 pra cá, o que aconteceu com a aviação elétrica? Esse ano uma grande fabricante de aeronaves brasileira lançou, é... O início da operação do avião agrícola deles, monomotor de asa baixa desenvolvido e fabricado no Brasil, projeto elétrico. Tá voando... O avião tá em teste, né?”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Regenerar/ Trocar	Tecnologias de propulsão alternativas/ Aplicar novas tecnologias/ Escolher novo produto e/ou serviço	Uso de drones elétricos para atividades de entrega de mercadorias	“Outras tecnologias que voam, também... Você pega uma Amazon fazendo entrega com drone, não deixa de ser transporte e de usar algum tipo de voo pra isso...”
Regenerar/ Trocar	Tecnologias de propulsão alternativas/ Aplicar novas tecnologias/ Escolher novo produto e/ou serviço	Uso de drones elétricos para atividades de mapeamento de área, telemetria e georreferenciamento	“A parte de telemetria, toda a parte de georreferenciamento, ou você tá usando satélite, você tá usando <i>software</i> que comunica, você tá usando até na aplicação, drone... Pra controle de praga, pra aplicação em si, pra mapeamento de área... Fotografar algum ambiente, fazer alguma intervenção. Já está em operação e a demanda só cresce, a tecnologia só evolui... Você vai georreferenciar a sua, sua área, já é dessa forma... Se você quiser fazer um arremate utilizando drone ou aplicar em área que é difícil acesso pra aeronave já se faz com drone. Você quer fazer um mapeamento, é... Por câmeras multiespectrais pra análise de praga, por calor, já é realidade.”
Regenerar/ Trocar	Tecnologias de propulsão alternativas/ Aplicar novas tecnologias/ Escolher novo produto e/ou serviço	Uso de drones elétricos para atividades de geração de fotografias de alta resolução	“Assim, primeiro, tudo que diz respeito a serviços de imagem, de comunicação, tá cada vez mais relacionado à ambiente virtual, né? A compactar, aquilo que traz, que gera a informação, a fonte geradora daquilo... Seja de dados, seja de imagem, né? Então, cada vez mais, a tecnologia busca aumentar a resolução e compactar o <i>hardware</i> que entrega aquilo, depois, é... Uma análise de viabilidade de custo daquilo, né? De fazer a operação daquilo... Você decolar um avião pra fazer imagem fotográfica é algo caro demais, né? É um caminho sem volta porque começa a entregar melhor qualidade, eficiência de tempo maior, custo/benefício maior e começa minimizar outros riscos também, né?”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Regenerar/ Trocar	Tecnologias de propulsão alternativas/ Aplicar novas tecnologias/ Escolher novo produto e/ou serviço	Uso de drones elétricos para atividades aéreas de aplicação agrícola	“Se você pensar na atuação de um drone numa lavoura, se você tem um problema técnico e acontece um incidente ou um acidente, é da proporção que o tamanho de um drone pode causar. Se você pensar, pra mesma coisa, num avião ou um VANT, o impacto certamente seria maior, e... Você consegue ter dados pra complementar aquilo que o avião não consegue oferecer... Por uma limitação do equipamento em si, da plataforma em si... Você consegue atender com plataformas complementares, o drone é um exemplo, né? Fazer bordadura aonde o avião não consegue aplicar... Você tem linhão passando, você tem uma área que precisa de aplicação, mas o avião não consegue fazer... Fisicamente, não é viável... Você vai lá e complementa... Você tem dados pra ir lá e complementar.”
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ uso de materiais de sucata para subprodutos/ reutilização secundária	Concessão de aeronaves sucateadas para uso em treinamento técnico	“Uma coisa que eu vi, tá muito assim acontecendo, é avião que foi sucateado por algum motivo acabar sendo cedido pra uma escola, pra uso de treinamento técnico... Isso é uma constata, aí, no mercado.”
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ reutilização secundária	Venda de peças e componentes de desmontagem de aeronaves para uso doméstico e de decoração	“Até um ambiente de <i>design</i> , onde as pessoas hoje acham superlegal ter uma hélice em casa como enfeite, ter uma mesa com uma poltrona que é poltrona de avião, enfim, tem... Tem ambiente de <i>design</i> tanto voltado pra escritório quanto voltado pra casa, quem tem <i>hobby</i> , no segmento de aproveitar.
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ uso de materiais de sucata para subprodutos/ reutilização secundária	Venda sucatas de alumínio aeronáutico para outros mercados	“E outros reaproveitamentos... Reaproveitamento mais óbvio como pegar uma sucata com alumínio aeronáutico, derreter e fazer qualquer outra coisa de alumínio, considerando a mesma liga... É... A gente vê uso, o próprio... O próprio alumínio aeronáutico transformando em panela que seja, né? Nesse tipo de coisa...”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ reutilização secundária/	Revenda de aeronaves para diversos setores/operações da aviação e para outros mercados durante todo o ciclo de vida	“Tem avião que, sei lá, da década de 50, 60, aí que começou uma operação executiva, se transformou em táxi aéreo, que se transformou... Foi sucateando, né? Se transformou em garimpo, foi se transformando, foi se transformando e, de repente, esses avião tão na mão de um aeroclube hoje dando instrução, de repente, esses aviões tão na mão de alguém que tem <i>hobby</i> e preferiu comprar um avião antigo por saudosismo mesmo, é... Tá na mão de pequenas coleções, né? Museus...”
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ reutilização secundária	Recertificação de peças e componentes de desmontagem de aeronaves	“Recertificação é uma realidade, né? Dentro da aviação. Você consegue recertificar vários componentes, isso é bastante utilizado, né? Você consegue adquirir de prateleira componentes recertificado, que por algum motivo entrou em desuso... Não componentes acidentados, mas componentes que... Ficou obsoleto ou por qualquer motivo foi removido do avião e colocado um novo... Recertifica e volta pro mercado... Isso acontece bastante. Recertificação de componentes é uma coisa que funciona há muito tempo.”
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ reutilização secundária	Venda peças e componentes de desmontagem de aeronaves para uso em aeronaves experimentais, não certificadas	“E, até, até as traquitanas que voam por aí, né? Que pega peça de uma coisa com peça de outra e faz um experimental puro e opera, né?”
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ reutilização secundária	Esgotamento e separação de fluidos da aeronave em manutenção e fim de vida para uso em ambientes não certificados	“Tem muita coisa pensando em químicos, normativos, questão de meio ambiente, é... Você acaba extraindo ali, separando óleo, tudo mais... Usando esse óleo pra fazer lubrificação de outras coisas que não demandam o que um ambiente certificado demanda...”
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ reutilização secundária	Uso de aviônicos em desuso como ambientes de treinamento e bancadas de teste	“A gente vê uso de... De um determinado painel, um determinado instrumento que tá em desuso, virar um ambiente de treinamento, né? Virar uma bancada pra teste, pra treinamento.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ reutilização secundária	Venda de pneus aeronáuticos para a confecção de calçados	“Esse tipo de coisa acontecendo, a gente vê pneu de avião virar solado de calçado, né? Não sei, você já deve ter visto por aí o povo falar assim... “Ah, isso aqui é de... A sola é de pneu de avião.”. É verdade, acontece... As pessoas já usam pra reciclar.”
Compartilhar/ Ciclar	Simbiose industrial/ espaço polivalente/ Rede ecoindustrial regional mais fácil	Alocação de fornecedores dentro ou próxima da empresa fabricante de aeronaves	“Você vê muito, indústria trazendo a cadeia produtiva pra dentro, né? Você pega, por exemplo, desenvolvimento de interiores de alguns segmentos de uma grande fabricante de aeronaves brasileira, hoje... Uma empresa austríaca que faz... E a base avançada dela é dentro da fabricante brasileira, né? Isso acontece.”
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de aeronaves e revenda e/ou reuso de peças/ Reciclagem de materiais	Revenda e reciclagem de peças e partes em material composto para o mercado geral	“Quando você fala de composto, principalmente, se você falar de ambiente de interior de aviação executiva, acontece bastante também. Dependendo do material que é utilizado, se fabrica, se faz outros materiais, material plástico... Assim como nas outras indústrias, né? Na aviação não é muito diferente. Você não consegue fazer isso com 100% de composto, muitas vezes por falta de oportunidade mesmo. Quebra uma carenagem, você vai trocar a carenagem inteira, só que é muito pouco a sobra do material de uma determinada carenagem pra você ir lá, colocar aquilo dentro de uma indústria e reciclar. Então, ele acaba entrando dentro de uma reciclagem geral, né? O cara tem ali, se é fibra a questão, ele tem outras fibras. Tudo mais ou menos no mesmo balaio ali pra moer e reciclar. Você não consegue, hoje você não tem volume, pra você criar um ambiente de reciclagem específico de aviação.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Compartilhar/ Ciclar	Compartilhamento de mão-de-obra/ Reaproveitamento de mão-de-obra	Compartilhamento e reuso/ reaproveitamento de mão-de-obra qualificada e suas experiências entre subáreas da aviação	“Essa reciclagem, ela não acontece só no ambiente material... Ela acontece na mão-de-obra, ela acontece com as pessoas. Hoje, um piloto se aposenta numa linha aérea, ele vai dentro, pra dentro de uma escola de aviação dar instrução, né? E ele faz isso por muito mais tempo. Talvez o cara não tá mais com aquele gás pra estar na operação, voando, mas ele se sente muito bem pra estar dentro de um ambiente de simulador dando instrução. Hoje, um mecânico aposenta na aviação e vai pra dentro de uma escola, vira instrutor... Ou vira chegador, vai pras certificadoras aí... Faz algum tipo de inspeção, algum tipo de instrução, algum tipo de consultoria... A mão-de-obra tem se reciclado, né? Na aviação, né? Acontece muito.”
Compartilhar	Compartilhamento de ativos (por exemplo, carros, salas, eletrodomésticos)	Compartilhamento de uso de aeronaves executivas entre diferentes pessoas	“Hoje, as pessoas... Elas querem ter o direito de uso das coisas, elas não querem necessariamente ter as coisas, né? Então, assim, alguém pode comprar um avião por realização pessoal, mas alguém pode precisar ter o uso de uma aeronave de forma que exige uma frequência, uma regularidade pra atender determinada demanda, seja de serviço... Ou de lazer, enfim, que ela não queira utilizar de linha aérea, de fretamento, né? Pra isso. Então, já existe, né? Compra compartilhada, você compra a cota de um avião e tem empresas especializadas administrando isso... E você utiliza ali baseado na sua cota, qual que... O que que ela te oferece de disponibilidade, com custo diferencial, isso acontece demais. A tendência é aumentar, principalmente, a questão do uso. Acho que uma realidade já presente e que só vai melhorar.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Compartilhar	Compartilhamento de ativos (por exemplo, carros, salas, eletrodomésticos)	Compartilhamento de uma operação de aeronave comercial para diferentes fins e serviços	“Até prestação de serviço, se você pensar, linha aérea bem lá atrás era aquela coisa, né? Essa aviação lá de trás era uma aviação que era transporte, ponto. A aviação de hoje, ela transporta carga, transporta passageiro, transporta animais, né? Carga viva, transporta órgãos, transporta, enfim, uma série de coisas na mesma operação, né? O que era você comprar um <i>ticket</i> , sair de São Paulo e ir pro Rio de Janeiro, e servia só pra aquilo, transformou-se em... Você paga uma parte dessa operação no seu <i>ticket</i> , o outro paga outra parte porque só quer mandar uma carta, o outro quer mandar uma ferramenta, o outro quer mandar um animal, o outro quer mandar, enfim... Então, esse compartilhamento é uma realidade e só aumenta né?”
Compartilhar/ Otimizar/ Virtualizar	Compartilhamento de tecnologias com outras indústrias/ Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção/ Desmaterializar diretamente	Uso de ambiente de controle técnico de manutenção de aeronaves em parque fabril automatizado genérico	“Sim. Só voltando um pouquinho no outro, que eu lembrei agora, o ambiente de controle técnico de manutenção que é muito avançado na aviação, ele tem sido bastante utilizado em outros ambientes usando a aviação como referência, pra extrair o melhor de cada ambiente, né? Então, hoje, um parque fabril automatizado, ele tem um plano de manutenção equivalente a um plano de manutenção de um avião e você faz gestão daquilo, de manter aquela operação rodando, se esperar quebrar pra acontecer... Com manutenção preventiva, né?”
Otimizar	Aumentar o desempenho/ eficiência do produto Sistema de informação eficiente	Otimização de espaço e uso de modelagem matemática para cálculo avançado de problema de transporte	“Com relação a isso... Eu acho que com relação a transporte, tem algumas coisas acontecendo de... Desde otimização de área pra carga mesmo, né? Pra viabilizar melhor o uso de avião em transporte de carga.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Otimizar/ Compartilhar	Projeto e fabricação envolvendo redução/ <i>Design</i> para durabilidade, capacidade de atualização	Reaproveitamento de plataformas de produtos para o desenvolvimento de novos produtos	“Fazer um interior executivo na época dos primeiros aviões da família de aeronaves executivas de pequeno a médio porte de uma grande empresa brasileira, fabricante de aviões e tudo mais, que não era um avião puro sangue, assim, né? Já era um avião que partia de uma plataforma de um avião que atendia linha aérea regional e foi modificado, é... Pra atender a aviação executiva...”
Otimizar/ Virtualizar	Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção Desmaterializar diretamente	Substituição de roteiros de produção/manutenção em papel por roteiros digitais Uso de <i>tablets</i> e estações de computadores na execução de atividades em ambientes de produção e manutenção de aeronaves	“Ah, o que eu vejo, assim... Muita coisa já aconteceu. Ambiente de documentação, por exemplo, desde... Biblioteca técnica, no geral... Seja pra treinamento, seja pra consulta, né? Referência de manual de manutenção, de partes e peças... Antigamente, se tinha tudo isso em papel, depois evoluiu pra ter em papel e CD, e evoluiu pra uma assinatura que você faz e é 100% online, você tem acesso a tudo e com muito mais habilidade pra pesquisa, pra busca... Você chega num PN, num parágrafo, muito mais rápido do que fazia-se no papel. Então, isso já é uma realidade.”
Otimizar/ Virtualizar	Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção Desmaterializar diretamente	Substituição do <i>mockup</i> físico por (<i>digital mockup unit</i> (DMU)) Uso de <i>softwares</i> de simulação computacional em substituição à realização de ensaios em voo	“Muitas coisas que eram feitas... Métodos tradicionais antigos pra ensaio e vários tipos de ensaios... Muitas coisas que demandavam horas de túnel de vento pra se chegar à conclusão, tomar a decisão, hoje estão tudo em ambiente de <i>software</i> , né? Também já é uma realidade e tem só evoluído nesse sentido. Você consegue chegar com um <i>software</i> em resultados muito próximos de reais, se não, até resultados reais ou melhores do que praticado por métodos tradicionais e mitigar um monte de riscos, pular um monte de etapa, né? Há muita eficiência em projeto, em desenvolvimento de projeto... Algumas coisas ainda se mantêm tradicional porque o mercado tem preconceito e quer ver... Mas isso vai acabar.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Otimizar/ Virtualizar	Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção Desmaterializar diretamente	Acompanhamento remoto de operações aéreas feitas por passageiros através de relógios/computadores de pulso digitais	“Fora isso, você tem, assim... Acompanhamentos remotos que não estão integrados com o avião, mas que vão te dando informações. Esse relógio, por exemplo, é um GPS da Garmin, eu faço um plano de voo nele, não tem nada a ver com o plano de voo do avião, e acompanho... Eu tô lá na linha aérea voando, eu sei a altitude que o cara tá, sei quanto tempo tá fora, sei onde a gente tá passando, sei que velocidade que tá... No meu relógio e nem... Eu não tenho nada a ver com o voo, não estou envolvido no voo, a não ser como passageiro. Então, isso daí já é uma realidade.”
Otimizar/ Virtualizar	Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção Desmaterializar diretamente	Substituição de <i>tickets</i> , documentos operacionais e processos de <i>check-in</i> para digitais	“No consumo, também é uma realidade... Você tinha que ir até uma operadora, comprar um <i>ticket</i> , era um papel, um negócio, um <i>card</i> , ali... Que você levava, guardava, tal... Destacava... Hoje, você baixa um aplicativo, faz a reserva, paga com cartão que também é virtual ou com seu cadastro ali, gera ponto, utiliza seu ponto, compra outras coisas... Faz o seu <i>check-in</i> virtual e embarca com <i>QR Code</i> ... Ainda usa um documento ali pra <i>cross check</i> , mas daqui a pouco o documento vai ser virtual também e não vai usar mais... Então, pro consumidor, já é uma realidade, né? De virtualizar tudo...”
Otimizar/ Trocar	Aumentar o desempenho e eficiência do produto: redução da razão <i>buy-to-fly</i> Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados/ aplicar novas tecnologias	Uso de novas tecnologias de manufatura e materiais compósitos em carenagens e partes aerodinâmicas da aeronave	“Carenagens com muito mais composto, prepreg, enfim, e acabamento... Às vezes acabamento até voltado para aerodinâmica... Você pega <i>winglet</i> , por exemplo, é... Já é um material composto. Isso foi mudando... A gente foi sentindo isso no mercado, né? Essa mudança.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Otimizar/ Trocar	Alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção/ Aplicar novas tecnologias	Uso de robôs para movimentação de partes que compõem e suportam uma montagem	“E no transporte interno, aí falando de produção, tem muita coisa acontecendo já com robô, né? Dentro da linha, trabalhando... Fazendo o transporte de partes, ali, dentro da linha... Acontece bastante e está sendo cada vez mais utilizado, né? Você vê um robô, por exemplo, funcionando na fábrica de asas de uma grande fabricante de aeronaves brasileira, ele já pesca o ferramental, pesca o rebite, pesca todos os itens, ali... O transporte tá no braço do próprio robô que aplica. Isso acontece... Já acontece na aviação, na indústria de médio e grande porte... E eu acho que é uma tendência, aí, pra indústria de pequeno porte... À medida que essa indústria de pequeno porte, ela vai crescendo, ela vai pescando, né? Tecnologia da indústria de grande porte.”
Otimizar/ Virtualizar/ Trocar	Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i> , automação, sensoriamento remoto e direção Desmaterializar diretamente/ Aplicar novas tecnologias	Substituição de aparelhos analógicos por aparelhos digitais no painel das aeronaves e inserção de novas práticas digitais como o plano de voo por iPad	“Pro ambiente operacional, que se tinha muita coisa analógica, é tudo digital... Existia uma necessidade de integração desse digital com algo que tivesse mais acessível, pré voo, né? Hoje, já é uma realidade... Então, o cara faz o plano de voo pelo iPad, consegue fazer uma análise de rota pelo iPad, a melhor opção... Como é que tá a rota, como é que tá o ambiente climático na rota... Tudo isso ele faz pré voo, ele nem tá dentro do avião e tá acontecendo tudo isso, né? E na hora que ele tá no avião, ele não tá preocupado com preparar o voo... Ele tá preocupado com homem-máquina, né? Muda um pouco. Qual estratégia que ele vai adotar, ele faz do hotel, faz de casa, faz tomando café, faz no iPad dele... Ele já faz remoto e faz 100% digital e, essa parte da operação, que ele faz 100% digital, integra com a operação do avião e é, extremamente, eficiente também... Um caminho sem volta, assim, né?”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Otimizar/ Virtualizar/ Trocar	Sistema de informação eficiente/alavancar <i>big data</i>, automação, sensoriamento remoto e direção Desmaterializar diretamente/ Aplicar novas tecnologias	Mapeamento de dados, direcionamento e controle de operações aéreas gerais de aplicação agrícola e visualização de estatísticas remotamente	“Você vai fazer uma operação aérea de aplicação de qualquer tipo de insumo ou defensivo na lavoura... E aí você consegue, através do nosso <i>software</i>, você consegue entender o momento ideal pra você fazer essa aplicação... Você consegue ter a referência do talhão específico que você vai fazer a aplicação, você consegue ter tudo isso no pré voo, né? E aí, depois, enquanto você tá fazendo a aplicação, se você tem uma área de restrição, você consegue visualizar essa área de restrição, você tem alarme sonoro pra não atuar naquela faixa de restrição... E, depois, ele tem os mapas que mostra pra ele onde ele aplicou, qual que foi a faixa de assertividade da aplicação... Então, ele consegue ter índice que melhoram o custo/benefício, ele vai voar menor, ter mais assertividade na aplicação, vai voar com mais informação, mais direcionamento pra essa operação... Vai consumir menos quantidade de produto, de combustível, de horas, do piloto... E, ele vai ter dados que, se ele precisar fazer algum outro tipo de intervenção na lavoura, esse mapa vai oferecer quase que em tempo real ali pra ele tomar uma ação. Isso melhora a produtividade, melhora custo/benefício, viabiliza do ponto de vista de sustentabilidade, né? A operação não é 100% autônoma, ainda, mas você consegue ter bastante direcionamento. E o acompanhamento é no aplicativo, então, o produtor entra no aplicativo e sabe o que foi aplicado na fazenda dele, onde foi aplicado... Vê a aplicação...”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Compartilhar/ Ciclar/ Trocar	<i>Design</i> para durabilidade, capacidade de atualização/ atualização, manutenção e reparo de produtos <i>Design</i> para desmontagem/ reciclar e <i>design</i> para modularidade	Modificação de aeronaves antigas e transformação de aeronave para diversas configurações de operação	“E o reaproveitamento pra fazer essas mudanças, ele começou a ser algo comum, também. Então, o cara chegava muitas vezes com uma aeronave bimotora a jato fabricada por volta de 1998 e queria transformar ele em um daqueles aviões executivos de pequeno a médio porte, fabricados a partir de 2001... A Força Aérea viveu muito isso na aviação executiva que atende a Força Aérea.”
Compartilhar/ Ciclar/ Trocar	<i>Design</i> para durabilidade, capacidade de atualização/ <i>Design</i> para desmontagem/ reciclar e <i>design</i> para modularidade	Projeto de aeronaves voltado ao <i>design</i> para desmontagem/ reciclar e <i>design</i> para modularidade	“O <i>design</i> hoje, assim... Todo mundo quer plataforma versátil. Então, assim, eu quero um avião que eu uso pra cinco passageiros ou eu removo um assento e coloco 100kg de carga ou eu removo todos os assentos e transformo num cargueiro... E, tudo isso, demora uma hora pra configurar ou desconfigurar... E, então, meu avião, ele é um MEDEVAC, ele é um transporte de carga, ele é um transporte de passageiro, ele é um transporte de passageiro e carga... Isso é algo que, assim, o mercado já demanda, as empresas já perceberam isso, já fazem isso, né? Já tá acontecendo... O que acontece é que muita coisa foi adaptação, foi fazer modificação pra fazer isso, não nasceu assim... Mas, agora, a oportunidade dos projetos novos é nascer voltado pra isso, né? Pra oferecer... A gente vê aviões nascendo pra oferecer isso, né? Essa versatilidade na operação.”
Compartilhar/ Ciclar/ Trocar	<i>Design</i> para durabilidade, capacidade de atualização/ <i>Design</i> para desmontagem/ reciclar e <i>design</i> para modularidade	Mudança de conceitos de <i>design</i> de interiores de aeronaves visando <i>design</i> para desmontagem e atualização	“Você desmontar uma <i>galley</i> de um avião desse, dos primeiros desse modelo, era uma coisa assim absurda, né? Você tinha uma cafeteira, ali... Que era algo que se via valor... É... Isso mudou muito rápido.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Compartilhar/ Ciclar/ Trocar	<i>Design</i> para durabilidade, capacidade de atualização/atualização, manutenção e reparo de produtos/ <i>Design</i> para desmontagem/reciclar e <i>design</i> para modularidade	Revitalização, atualização, manutenção e reparo de aeronaves e partes	“Então, você tinha um avião antigo, hoje você consegue atualizar motorização, você consegue atualizar painel, você consegue atualizar interiores, você consegue agregar até algumas carenagens que melhoram a eficiência... Revitalização de avião executivo pra aumentar a autonomia, pra aumentar a eficiência... Boletim pra operar acima do teto que ele operava pra criar condição de custo/benefício da operação maior... São reaproveitamentos. Revitalizações de painéis... O cara chegava com um avião turboélice destinado ao uso civil e militar, dos anos 70, lá na fabricante e era tudo “pau e bola” e, de repente, o cara queria colocar um Garmin, queria colocar... E, aí, você tem toda uma modificação... De cablagem, você tem toda uma modificação de painel, você tem toda uma modificação de tipo de material até que você vai usar ali porque os fios mudaram, enfim, mudaram uma série de coisas. Isso a gente foi vendo que tinha um apelo de transformação, de atualizar aviões, né? Com relação à aviação, com relação a interiores, com relação, é... À performance, entrega de tecnologia...”
Compartilhar/ Otimizar/ Trocar	Reutilização secundária/ Aumentar o desempenho e eficiência do produto/ <i>Design</i> para desmontagem e para modularidade	Criação de PNs alternativos e <i>design</i> de aeronaves para compatibilidade de partes e componentes entre diferentes produtos e/ou áreas do avião	“Dentro da própria utilização, as companhias aéreas tomam a decisão de focarem numa determinada frota por questão de compatibilidade de componente... Você tem muito, utilização de componente de um avião pro outro, ser compatível da esquerda pra direita, hoje a engenharia pensa nesse sentido. Eu tenho dois componentes, o que que eu faço pra ele ser intercambiável, né? PNs alternativos, aquela coisa que já não... O fabricante, né? Por algum motivo, seja tempo ou mudança de material, não utiliza mais aquele material padrão, você tem um material alternativo que também é certificado, né? Mas que, às vezes, não foi feito exatamente o mesmo processo que o original foi feito... Isso é uma realidade.”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Compartilhar/ Ciclar	Reutilização secundária / Reforma/ reparo/ remanufatura de produtos	Reforma e transformação de produtos de outras indústrias para uso aeronáutico na aviação experimental	“Ou coisas que não são aeronáuticas e transformam em aeronáutica, né? O cara pega um motor Volkswagen, lá... Pega um motor Honda... E faz algumas modificações e transforma num motor aeronáutico, acontece... Na aviação experimental tem um leque muito grande disso, de acontecer. É... Na aviação certificada já não. Então, tem bastante, né? Reaproveitamento é uma prática.”
Trocar	Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados	Desenvolvimento de aviões com fuselagem 100% em material compósito	“Então a gente, assim, percebe mudanças que o mercado foi demandando e, pra fazer essas mudanças, a indústria começou a analisar novos materiais e, enfim, ganhar com isso, né? De uma maneira geral. Você pega há 15 anos atrás, se você falasse que você ia fazer um avião 100% composto, seja dentro de uma engenharia, né? Dentro dos fabricantes, dentro de uma oficina, dentro do usuário, os caras falavam... “Vocês são loucos... Como é que vai fazer reparo?” Porque o cara fazia uma coisa com previsão de reparo, é... Qual que vai ser a base de certificação disso? Como nós vamos ensaiar? E, de repente, vem o CIRRUS... É um dos aviões executivos mais vendidos no mundo, pra aviação de pequeno porte, à pistão, e o avião é composto, né? É real, né? Tá aí... Tá rolando.”
Trocar	Aplicar novas tecnologias	Uso de impressão 3D em pequenos protótipos de validação pré-projeto de <i>design</i>	“Em pré-projeto, eu já vi utilizar... A engenharia utilizar, muito mais pra sensibilizar <i>design</i> . De olhar, de ver como é que ficou, de beleza... Muito mais nesse sentido do que no sentido voltado pra um determinado ensaio ou voltado pra validação de forma... Eu vejo mais isso hoje no ambiente de <i>software</i> e, aí... Vamos ver como é que ficaria? Enfim, imprime lá e valida. É mais, digamos assim, chancelar a beleza, né? A expectativa do <i>design</i> . Não o <i>design</i> do ponto de vista de eficiência, mas do ponto de vista de aceitação visual, né? Do mercado. Não vi ainda pra ensaios, pra outras coisas... Mas, eu acho que é uma tendência. À medida que você consegue ter materiais iguais ou equivalentes pra fazer o ensaio ali, e tem melhor custo/benefício pra fazer na impressora, e tem flexibilidade da impressora em suportar desenvolver, vai acontecer, né?”

Ação do modelo ReSOLVE	Estratégia (práticas de EC)	Exemplo de Iniciativa	Citação
Trocar	Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados	Substituição de materiais não renováveis antigos por outros mais avançados e sustentáveis	“Troca de materiais sempre tá relacionada a peso e custo/benefício, né? Então, se você tem uma oferta de um material mais leve, com melhor custo/benefício, facilidade de produção, facilidade de manutenção daquilo, né? De suporte, em todas as possibilidades que se encontram essa oportunidade, a tendência é migrar, né? E você vê a migração, também, procurando materiais mais sustentáveis? Em alguns casos, sim. Indústria de interiores, por exemplo, você vê muito isso acontecer, né? Em pensar em materiais sustentáveis. Porque, se não ele tá diretamente ligado à madeira ou à plástico ou à metal. Então, se procura materiais mais sustentáveis pra isso. Quando se fala de <i>frame</i> , aí é difícil falar. Acaba tendo aquele discurso de ser sustentável, no final de um bom resultado de custo/benefício, né? Então, não se começa pelo... No interior eu ainda vejo se preocupando e começando o desenvolvimento de um projeto... Em pintura, né? Em tinta com outras bases... Pensando em sustentabilidade, né? Em questão de preparação, até, pra pintura... Anticorrosivo... Nesse sentido, sim. No sentido de estrutura, no sentido de <i>frame</i> , eu já vejo assim... Começa pelo custo/benefício e, aí, se o resultado de atingir o custo benefício oferecer sustentabilidade, a gente mostra que é legal. O que eu vejo é isso, na prática, ainda é isso. Vai mudar, mas ainda é.”

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de resultados do *workshop* realizado na Empresa 03 (2019).

4.3 Análise de Resultados

Para melhor avaliação do conjunto completo de práticas obtido com a realização dos três *workshops*, as 128 iniciativas de EC adotadas pelas empresas da indústria aeronáutica foram compiladas em um único quadro-resumo e estão apresentadas no Quadro 13.

Após reunir as informações necessárias, o *framework* teórico foi revisitado e ajustado de acordo com o novo cenário. Para composição do *framework* final, as iniciativas identificadas teórica e empiricamente foram agrupadas por equivalência e/ou similaridade, resultando em 91 conjuntos de práticas adotadas pela indústria aeronáutica. Dessa forma, elas foram distribuídas nas 9 fases do PDP como mostrado no *framework* apresentado no Quadro 14. Também, com o objetivo de facilitar o entendimento e a visualização do *framework*, este foi apresentado de maneira ilustrativa no Apêndice 4 deste trabalho.

É importante destacar que a decisão sobre adotar ou não iniciativas de EC no PDP deve ser tomada ainda na fase de pré-projeto, sendo uma decisão de valor pensada e planejada nesta fase. Porém, neste trabalho, as iniciativas identificadas foram distribuídas ao longo das fases do processo de PDP de acordo com o momento proposto para sua execução, sua natureza. Ou seja, se uma prática de fabricação, montagem, operação, desmontagem, descarte, reciclagem, reutilização, dentre outros.

Sobre as esferas às quais as práticas estão vinculadas, foram obtidos resultados de esfera estratégica, de processos e de produto. Parcerias de P&D para o desenvolvimento de combustíveis alternativos e desenvolvimento de produtos com fibras de fontes renováveis, parceria com fornecedores para identificação do uso de substâncias perigosas e substituição por produtos alternativos, por exemplo, na esfera estratégica. Substituição de processo de usinagem química por processo de usinagem convencional com fresa e uso de novas tecnologias em ferramentais como os ferramentais flexíveis e reconfiguráveis, indústria 4.0: automação de fábricas de aeronaves, como estratégias de processo. Na esfera produto, por exemplo, uso de materiais alternativos em interiores de aeronaves, uso de motores elétricos como motorização auxiliar em aeronaves e melhorias aerodinâmicas no projeto da aeronave para menor emissão de GEE e redução de consumo.

Quadro 13. Iniciativas de EC adotadas pela indústria aeronáutica.

Iniciativas					
Empresa 01		Empresa 02		Empresa 03	
Regenerar	Aviões operando com substituição completa de combustíveis fósseis por combustíveis alternativos e mais sustentáveis (etanol)	Regenerar/ Trocar	Troca de motorização de aeronaves para motores mais eficientes quanto à emissão de GEE e ruído como motores elétricos	Regenerar	Aviões operando com substituição completa de combustíveis fósseis por combustíveis alternativos e mais sustentáveis (etanol)
Regenerar/ Trocar	Pesquisas sobre células de combustível	Ciclar/ Trocar	Projeto de aeronaves e seleção de materiais para reciclagem	Regenerar/ Trocar	Operação de aeronaves com motorização alternativa e combustíveis alternativos na aviação agrícola
Regenerar	Parcerias de P&D para o desenvolvimento de combustíveis alternativos	Ciclar	Reciclagem de retalhos de alumínio aeronáutico	Regenerar/ Trocar	Motores modificados para uso de mais de um combustível alternativo
Regenerar	Desenvolvimento de biocombustível à base de cana-de-açúcar	Compartilhar	Avaliação de todo o ciclo de vida da aeronave	Regenerar/ Otimizar/ Trocar	Motores modificados de outras indústrias, uso de combustíveis alternativos e maior eficiência na razão peso/potência
Regenerar	Operação de aeronaves com biocombustíveis	Compartilhar/ Otimizar/ Trocar	Uso de novas tecnologias em ferramentais como os ferramentais flexíveis e reconfiguráveis	Regenerar/ Trocar	Uso de materiais alternativos em interiores de aeronaves
Regenerar/ Trocar	Projeto Avião Mais Elétrico	Compartilhar/ Otimizar	Similaridade de peças no projeto da aeronave para redução do número de PNs	Regenerar/ Trocar	Uso de motores elétricos como motorização auxiliar e primária em aeronaves
Regenerar/ Trocar	Uso de motores elétricos como motorização auxiliar em aeronaves	Otimizar/ Trocar	Uso de simulações computacionais para otimização da fabricação e redução de massa por troca de materiais	Regenerar/ Trocar	Uso de drones elétricos para atividades de entrega de mercadorias

Iniciativas					
Empresa 01		Empresa 02		Empresa 03	
Regenerar/ Trocar	Uso de motores elétricos como motorização primária em UAVs	Otimizar/ Virtualizar	Uso de <i>software</i> para <i>scanner</i> e análise de avarias em aeronaves para análise de engenharia	Regenerar/ Trocar	Uso de drones elétricos para atividades de mapeamento de área, telemetria e georreferenciamento
Regenerar/ Trocar	Drone tripulado com motorização 100% elétrica	Otimizar/ Trocar	Substituição de processos convencionais por novas tecnologias de tratamento superficial	Regenerar/ Trocar	Uso de drones elétricos para atividades de geração de fotografias de alta resolução
Regenerar/ Trocar	Parcerias de P&D para o desenvolvimento de UAVs elétricos	Otimizar/ Trocar	Substituição de processo de usinagem química por processo de usinagem convencional com fresa	Regenerar/ Trocar	Uso de drones elétricos para atividades aéreas de aplicação agrícola
Regenerar/ Trocar	Troca de motorização de aeronaves para motores mais eficientes quanto à emissão de GEE	Otimizar/ Trocar	Substituição de processos convencionais por novas tecnologias de montagem para redução de peças e ferramentas: <i>robot snake</i>	Compartilhar/ Ciclar	Concessão de aeronaves sucateadas para uso em treinamento técnico
Regenerar/ Otimizar	Melhorias aerodinâmicas no projeto da aeronave para menor emissão de GEE e redução de consumo	Otimizar	Descarte de resíduos oriundos de processos de anodização de fuselagem e tratamentos superficiais	Compartilhar/ Ciclar	Venda de peças e componentes de desmontagem de aeronaves para uso doméstico e de decoração
Regenerar/ Otimizar	Reprojeto/modificação de aeronaves atuais para redução de ruído	Otimizar/ Compartilhar	Sistema de gestão de produtos, comunicação e rastreabilidade de partes e componentes da aeronave	Compartilhar/ Ciclar	Revenda de aeronaves para diversos setores/operações da aviação e para outros mercados durante todo o ciclo de vida
Regenerar/ Trocar	Projeto Aeronave Silenciosa para redução de ruídos	Otimizar/ Compartilhar/ Virtualizar	Indústria 4.0: automação de fábricas de aeronaves	Compartilhar/ Ciclar	Venda sucatas de alumínio aeronáutico para outros mercados

Iniciativas					
Empresa 01		Empresa 02		Empresa 03	
Regenerar/ Trocar	Parcerias de P&D para o desenvolvimento de produtos com fibras de fontes renováveis	Otimizar/ Compartilhar/ Virtualizar	Indústria 4.0: projeto e construção de fábricas flexíveis/customizáveis de aeronaves	Compartilhar/ Ciclar	Recertificação de peças e componentes de desmontagem de aeronaves
Regenerar	Uso de fibras naturais em projeto de parceria com automobilística	Otimizar/ Compartilhar/ Virtualizar	Indústria 4.0: simulação fabril e análise de processos em ambiente virtual	Compartilhar/ Ciclar	Venda peças e componentes de desmontagem de aeronaves para uso em aeronaves experimentais, não certificadas
Compartilhar/ Ciclar	Reciclagem de alumínio à plasma	Otimizar/ Virtualizar	Substituição de roteiros de produção/manutenção em papel por roteiros digitais	Compartilhar/ Ciclar	Esgotamento e separação de fluidos da aeronave em manutenção e fim de vida para uso em ambientes não certificados
Compartilhar/ Ciclar	Reciclagem de compósito à plasma	Otimizar/ Virtualizar	Uso de <i>tablets</i> e estações de computadores na execução de atividades em ambientes de produção e manutenção de aeronaves	Compartilhar/ Ciclar	Uso de aviônicos em desuso como ambientes de treinamento e bancadas de teste
Compartilhar/ Ciclar	Reuso de compósitos da manufatura de aeronaves e aproveitamento de sobras para a fabricação de partes de ferramentais	Compartilhar	Projeto de aeronaves voltado ao <i>design</i> para durabilidade	Compartilhar/ Ciclar	Venda de pneus aeronáuticos para a confecção de calçados
Compartilhar/ Ciclar	Desmontagem de protótipos e aeronaves recebidas de clientes na troca conforme guia para desmontagem adequada de aeronaves e componentes	Compartilhar/ Trocar	Revitalização, atualização, manutenção e reparo de aeronaves e partes	Compartilhar/ Ciclar	Alocação de fornecedores dentro ou próxima da empresa fabricante de aeronaves

Iniciativas					
Empresa 01		Empresa 02		Empresa 03	
Compartilhar/ Ciclar	Recertificação e revenda de partes e componentes como portas, trem de pouso, APU, motor e aviônica	Compartilhar/ Otimizar/ Ciclar	Pré-projeto de construção ambientalmente sustentável para fábricas de aeronaves	Compartilhar/ Ciclar	Revenda e reciclagem de peças e partes em material composto para o mercado geral
Compartilhar/ Ciclar	Desmanche da fuselagem com fio diamantado ao invés de tesouras de corte			Compartilhar/ Ciclar	Compartilhamento e reaproveitamento/reuso de mão-de-obra qualificada e suas experiências entre subáreas da aviação
Compartilhar/ Ciclar	Venda de peças de reuso dos protótipos para mercado aeronáutico de segunda mão			Compartilhar	Compartilhamento de uso de aeronaves executivas entre diferentes pessoas
Compartilhar/ Ciclar	Venda de fuselagem de desmanche de aeronaves para uso em lanchas			Compartilhar	Compartilhamento de uma operação de aeronave comercial para diferentes fins e serviços
Compartilhar/ Ciclar	Venda de peças e componentes de desmontagem de aeronaves para uso como mobiliário			Compartilhar/ Otimizar/ Virtualizar	Uso de ambiente de controle técnico de manutenção de aeronaves em parque fabril automatizado genérico
Compartilhar/ Ciclar	Mapeamento detalhado de itens e substâncias críticas ambientalmente presentes no projeto da aeronave			Otimizar	Otimização de espaço e uso de modelagem matemática para cálculo avançado de problema de transporte
Compartilhar/ Ciclar	Venda de resíduos de alumínio para uso não aeronáutico como em construção civil e automobilística			Otimizar/ Compartilhar	Reaproveitamento de plataformas de produtos para o desenvolvimento de novos produtos

Iniciativas					
Empresa 01		Empresa 02		Empresa 03	
Otimizar	Uso de cadeia de simulações computacionais para redução de fator de segurança em cálculo estrutural de projeto			Otimizar/ Virtualizar	Substituição do <i>mockup</i> físico por (<i>digital mockup unit</i> (DMU))
Otimizar/ Trocar	Uso de novas tecnologias de manufatura e materiais como troca de peças metálicas rebitas por peças termoplásticas			Otimizar/ Virtualizar	Uso de <i>softwares</i> de simulação computacional em substituição à realização de ensaios em voo
Otimizar/ Trocar	Substituição de processos convencionais por novas tecnologias para redução como <i>friction stir welding environmental</i>			Otimizar/ Virtualizar	Substituição de roteiros de produção/manutenção em papel por roteiros digitais
Otimizar/ Trocar	Eliminação de partes em montagens e redução de densidade por troca de materiais			Otimizar/ Virtualizar	Uso de <i>tablets</i> e estações de computadores na execução de atividades em ambientes de produção e manutenção de aeronaves
Otimizar	Uso de <i>software</i> para cálculo de aproveitamento máximo de blocos de alumínio			Otimizar/ Virtualizar	Acompanhamento remoto de operações aéreas feitas por passageiros através de relógios/computadores de pulso digitais
Otimizar	Projeto de otimização de cablagem e componentes elétricos de aeronaves			Otimizar/ Virtualizar	Substituição de <i>tickets</i> , documentos operacionais e processos de <i>check-in</i> para digitais

Iniciativas					
Empresa 01		Empresa 02		Empresa 03	
Otimizar/ Trocar	Pintura robotizada de aeronaves e redução de produtos químicos			Otimizar/ Virtualizar/ Trocar	Substituição de aparelhos analógicos por aparelhos digitais no painel das aeronaves e inserção de novas práticas digitais como o plano de voo por iPad
Otimizar/ Ciclar	Reaproveitamento de ligas de alumínio aeronáutico com separação de ligas por tipo para reciclagem/reuso			Otimizar/ Virtualizar/ Trocar	Mapeamento de dados, direcionamento e controle de operações aéreas gerais de aplicação agrícola e visualização de estatísticas remotamente
Otimizar	Descarte de resíduos de produção como panos de aplicação de selante, cola e outros produtos químicos para incineração e geração de energia			Otimizar/ Trocar	Uso de robôs para movimentação de partes que compõem e suportam uma montagem
Otimizar/ Trocar	Projetos de redução de embalagens – otimização de espaço físico e troca de material de madeira para metal			Otimizar/ Trocar	Uso de novas tecnologias de manufatura e materiais compósitos em carenagens e partes aerodinâmicas da aeronave
Otimizar/ Trocar	Projetos de redução de embalagens – eliminação de descarte múltiplo e troca de materiais diversos para PVC			Compartilhar/ Ciclar/ Trocar	Modificação de aeronaves antigas e transformação de aeronave para diversas configurações de operação
Otimizar/ Virtualizar	Uso de <i>software</i> de análise prévia de desmontagem e simulação de manufatura			Compartilhar/ Ciclar/ Trocar	Mudança de conceitos de <i>design</i> de interiores de aeronaves visando <i>design</i> para desmontagem e atualização

Iniciativas					
Empresa 01		Empresa 02		Empresa 03	
Otimizar/ Trocar	Projetos de redução de embalagens – troca de embalagem descartável por equipamento permanente de fixação e movimentação de peças			Compartilhar/ Ciclar/ Trocar	Projeto de aeronaves voltado ao <i>design</i> para desmontagem/reciclar e <i>design</i> para modularidade
Otimizar/ Virtualizar	Uso de <i>software</i> para análise prévia de processos de manutenção de aeronaves e ergonomia de operadores			Compartilhar/ Ciclar/ Trocar	Revitalização, atualização, manutenção e reparo de aeronaves e partes
Otimizar/ Virtualizar	Substituição do <i>mockup</i> físico por (<i>digital mockup unit</i> (DMU))			Compartilhar/ Ciclar	Reforma e transformação de produtos de outras indústrias para uso aeronáutico na aviação experimental
Otimizar/ Virtualizar	Uso de <i>softwares</i> de simulação computacional em substituição à realização de ensaios em voo			Compartilhar/ Otimizar/ Trocar	Criação de PNs alternativos e <i>design</i> de aeronaves para compatibilidade de partes e componentes entre diferentes produtos e/ou áreas do avião
Otimizar/ Virtualizar	Uso de realidade virtual por óculos para análise do projeto total da aeronave, instalação de sistemas, processos de fabricação e manutenção			Trocar	Desenvolvimento de aviões com fuselagem 100% em material compósito
Otimizar/ Virtualizar	Uso de <i>tablets</i> e estações de computadores na execução de atividades em ambientes de produção e manutenção de aeronaves			Trocar	Uso de impressão 3D em pequenos protótipos de validação pré-projeto de <i>design</i>

Iniciativas					
Empresa 01		Empresa 02		Empresa 03	
Otimizar/ Virtualizar	Substituição de roteiros de produção/manutenção em papel por roteiros digitais			Trocar	Substituição de materiais não renováveis antigos por outros mais avançados e sustentáveis
Otimizar/ Virtualizar	Substituição da documentação da aeronave em papel por documentação digital				
Compartilhar	<i>Leasing</i> de aeronaves e acompanhamento do ciclo de vida para trocas, manutenções e descarte				
Compartilhar/ Otimizar	Aluguel de componentes e acompanhamento do ciclo de vida para trocas, manutenções e descarte				
Compartilhar/ Otimizar	Projeto de partes e componentes otimizados e mais duráveis				
Compartilhar/ Ciclar	Alocação de fornecedores dentro ou próxima da empresa fabricante de aeronaves				
Compartilhar/ Ciclar/ Trocar	Criação de <i>pull</i> de peças em pontos estratégicos para entrega e troca de peças com transporte otimizado				
Trocar	<i>Design</i> de interior de aeronaves p/ desmontagem e modularidade				

Iniciativas					
Empresa 01		Empresa 02		Empresa 03	
Compartilhar/ Trocar	Introdução de análise de ciclo de vida completo da aeronave e aplicação de conceitos de <i>design</i> ainda em fase de projeto				
Compartilhar/ Trocar	Criação de grupo DFX para análise de todos os <i>design for...</i>				
Compartilhar/ Otimizar/ Ciclar	Certificação de construção sustentável (LEED) das fábricas de aeronaves				
Compartilhar/ Otimizar/ Ciclar	Certificação de construção sustentável (LEED) dos edifícios administrativos das fabricantes de aeronaves				
Otimizar/ Trocar	Uso de <i>software</i> para identificação/mapeamento da aplicação de substâncias químicas perigosas nas aeronaves				
Otimizar/ Trocar	Parceria com fornecedores para identificação do uso de substâncias perigosas e substituição por produtos alternativos				
Trocar	Uso de impressão 3D em partes e componentes secundários da aeronave				
Trocar	Uso de impressão 3D na construção de <i>mockups</i>				
TOTAL E01	61 INICIATIVAS	TOTAL E02	21 INICIATIVAS	TOTAL E03	46 INICIATIVAS

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados obtidos nos *workshops* (2019).

O texto a seguir apresenta e analisa as narrativas, por empresa, dos *workshops* no que se refere a avaliação do *framework* teórico apresentado.

4.3.1 Empresa 01

Como resultado do *workshop* realizado na Empresa 01 foram, ao todo, comentadas 61 iniciativas adotadas pela indústria aeronáutica na implantação de conceitos de sustentabilidade e circularidade no PDP, como mostra o Quadro 13. Conforme apresentado em detalhes no Quadro 10, a Empresa 01 apresentou iniciativas em todas as seis esferas propostas pelo modelo ReSOLVE, atuando não só no âmbito produto, mas desenvolvendo projetos de infraestrutura ecoeficiente das instalações fabris, substituição de processos tradicionais por novas tecnologias mais sustentáveis e alteração de instruções de operação durante todo o ciclo de vida das aeronaves.

O primeiro *workshop* mostrou que, segundo a opinião dos engenheiros da empresa, um dos fatores que fez com que a Fundação Ellen MacArthur e o conceito de EC ficassem conhecidos entre algumas empresas foi a característica de que a nomenclatura dada remete ao termo “economia”, o que gera um impacto positivo na percepção que as empresas têm sobre o conceito. Isso fica evidente no trecho abaixo.

“Então, assim, eu acho que ela, ela conseguiu colocar isso porque ela trocou o nome, né? A gente tava analisando por que que ela faz sucesso? É porque ela botou a palavra economia no meio. Porque é que quando você fala de sustentabilidade, as pessoas pensam naquela parte, né? Mais das árvores e etc. E ela que convencia porque ela não fez nada de novo... Na verdade, ela só juntou o que existia e trocou o nome.”

Para a Empresa 01, o assunto *design for environment* já é, relativamente, conhecido. A empresa adota esse conceito em seu PDP há 10 anos.

“O DFE, na Empresa 01, ele começou em final de setembro, outubro de 2009. Tá fazendo dez anos agora que a gente trabalha no assunto.”

Para a implementação desse conceito em seu PDP e para encontrar novas soluções de processos, mais sustentáveis, a Empresa 01 utiliza ferramentas como o *Kaizen* e conta com a participação de equipes multifuncionais.

“Quando nós fizemos reuniões de a gente chama de Kaizen, né? Aquela metodologia da Toyota, pro assunto... Quando nós começamos a desenvolver DFE na empresa, então, que que nós fizemos? Fizemos o Kaizen, chamamos pessoas de várias áreas e, uma engenheira da área de manufatura, desenvolvimento tecnológico da manufatura...”

Além disso, a empresa possui documentos divulgados e em vigor, com diretrizes para a adoção de práticas sustentáveis no PDP e exemplos já vivenciados pela Empresa 01 em projetos anteriores.

“A gente tem vários projetos, inclusive, nós temos um Guia DFE e em um dos exemplos eram peças que eram rebitadas, né? Depois virou termoplástico, então, diminuiu a quantidade de peças, de prendedores... Aqui, também, esse tópico, nesse tópico a Fundação traz um pouco a questão dos resíduos, né? Então, você diminuir, você trabalhar com instruções de trabalho e procedimentos que incentivem a gestão dos resíduos. A gente tem algumas iniciativas e uma que tá no nosso Guia, também, é um processo chamado nesting que é um programa...”

O workshop realizado na Empresa 01 também mostrou que, hoje, existe um grande investimento em pesquisas para o desenvolvimento e implantação de novas tecnologias.

“Então, tem um grupo aqui dentro do desenvolvimento tecnológico que é uma área da empresa que tem em torno de 300 engenheiros e que só fazem pesquisa...”

A Empresa 01 tem desenvolvido parcerias com diversas universidades a fim de ampliar as pesquisas sobre o desenvolvimento de novas tecnologias como, por exemplo, tecnologias que colaboram para a transição de um modelo de produção e consumo linear para circular. Com o passar dos anos, o distanciamento entre empresas da indústria aeronáutica e universidades tem diminuído e diversos projetos vêm sendo executados, sendo que, o número de parcerias e projeto tem crescido.

“Eu vou falar pela minha experiência. Eu vim lá de Santa Catarina, que a parte de ruído, né? Existe uma área específica de ruídos e vibrações lá... Aí quando eu cheguei aqui na Empresa 01, eu queria fazer um convênio tipo... Convênio com a universidade pra desenvolver um trabalho de pesquisa. Um trabalho em conjunto... Porque eu havia trabalhado em um grupo industrial e a gente tinha feito com a universidade uns projetos de ruído de usina siderúrgica. De fazer assim, por exemplo, quando você vai instalar um ventilador, antes de você comprar, em função das características você estima o ruído dele. A gente fez todo um trabalho com a universidade, é... Um trabalho de pesquisa que não é da indústria, aquilo é pra universidade. Aí quando eu cheguei aqui, eles falaram... A gente não faz convênio com nenhuma universidade. O primeiro trabalho que a gente fez um convênio fora do ITA foi esse do ruído com Santa Catarina e depois de algum tempo de convencimento. Isso foi o início. Aí depois, a gente criou o grupo, eram seis pessoas, que... Que de onde surgiu essa área de desenvolvimento tecnológico que hoje tem 300. Eram seis pessoas e eu era um dos seis, dessas seis pessoas que estavam ali... Porque eu gosto muito dessa interação com a universidade. E aí a gente começou esse grupo... Daí que... Partindo daí, a gente visitou algumas empresas, várias empresas... E viu como eles trabalhavam com as indústrias, com a... A indústria trabalhando com as universidades. E aí o... Esse departamento agora, a maior parte dos projetos dele é tudo com universidade, com institutos... Tem um instituto alemão, por exemplo, tem vários projetos com o grupo daqui... Eu te falei esse da aeronave silenciosa, teve o dos materiais, então, existe, é... São Carlos também, né? Em ergonomia... São Carlos tem muito... Então, eu diria que que não é tão grande, mas ele tá caminhando.”

Porém, aplicar mudanças no PDP aeronáutico, visando implantação do conceito de *design for environment*, não é um processo simples e rápido. Assim, as empresas têm buscado alternativas complementares como fazer melhorias em produtos existentes.

“Só que, na aviação, de um modo geral, eu acho que a gente poderia dizer o seguinte... Que fazer design for environment, que é nossa área aqui, com essas pesquisas é uma coisa que demora, porque pra certificar um avião leva tempo. Para projetar e fazer ele voar e certificar é cinco anos ou mais, né? Nós que... Nós que fazemos muito rápido isso, é cinco anos... Então, leva tempo. Só que a gente tem feito melhorias nos produtos existentes e aplicações nos novos desenvolvimentos.”

A indústria aeronáutica é rigorosa quando à certificação de produtos, assim, o tempo necessário para a realização de ensaios e validação de novas tecnologias e produtos é grande.

“E tempo também, né? Porque, assim, por exemplo... Tudo que você coloca no interior do avião, você tem que certificar... Você tem que fazer ensaios de inflamabilidade, entre outros, né? Ensaios técnicos, né?”

Outra barreira na adoção de sustentabilidade nos produtos aeronáuticos é a questão do alto custo de certificação, visto que, produtos aeronáuticos precisam passar por um processo de certificação para todas as partes e componentes do produto.

“Agora, qual é a dificuldade? Já que a sua pesquisa quer saber as dificuldades... Uma das dificuldades é que tudo que você coloca na aeronave tem que ser certificado. E pra você certificar um produto desse tem um custo, então, é... Essas iniciativas de você, desenvolver alguma solução e fazer ela se tornar prática, passa por a questão do custo.”

Diferentemente do que acontece em outras indústrias, os produtos desenvolvidos pela indústria aeronáutica são produtos de alta complexidade, o que faz com que a inserção de novos conceitos no PDP, como conceitos de sustentabilidade sejam de difícil implantação.

“Por exemplo, em empresas de produtos pequenos, a gente trabalhou muito com a Natura, assim... A gente fez até trabalhou em conjunto com a Natura... Pra eles é fácil! É a embalagem de um... De um perfume. É, é uma coisa simples... Não tem que certificar, não tem que, né? Só modificar, né? Então é muito mais rápido. O nosso... A aplicação de DFE na indústria aeronáutica é muito mais complicada. É... Quanto mais complexo o produto, né? E o ciclo... Então... A indústria, processos, produtos complexos são... É... Mais difíceis. E o ciclo muito longo, né?”

O PDP aeronáutico tem uma cadeia de suprimentos bastante específica e restrita, assim, a adoção de novos materiais e tecnologias enfrenta barreiras quanto à questão de possuírem fonte única de fornecimento. Assim, adotando-os, a empresa fabricante passa a correr risco econômico com uma possível suspensão do fornecimento.

“E tem, também, uma outra questão porque... Mas, muitos desses produtos são fonte única... E você estar na mão de um só fornecedor é uma coisa muito complicada... Que a cadeia de suprimentos fica muito restrita. Então, é... Tem essa sensibilidade, também. Se eu coloco isso na minha aeronave e, por algum motivo, o fornecedor deixa de fornecer é um grande risco econômico, né? De parar linha e tal... Então, assim, a gente ainda não tem tantos fornecedores fornecendo isso de uma forma, né? Escala industrial com confiabilidade que a gente precisaria.”

Uma das estratégias que vem sendo adotada pela Empresa 01 quando à adoção de novas tecnologias com maior grau de confiabilidade de manutenção do fornecimento é a parceria com grandes empresas. Assim, o risco econômico é reduzido, visto que, as tecnologias são aplicadas nos produtos da empresa com baixo risco de descontinuidade por parte dos grandes fornecedores.

“Existem pesquisas, assim... Grandes indústrias que começam a desenvolver... Daí, pra gente é melhor, por exemplo, a Basf tem um painel feito, é, de material sustentável... A 3M tem uma cola

feita... Porque, aí, é... Existe uma confiabilidade maior de que aquele fornecedor não vai deixar a gente na mão porque ele é um grande fornecedor, né? Já tem histórico.”

Outra dificuldade evidente na adoção de sustentabilidade e novas tecnologias é a falta de incentivo por parte das agências reguladoras. Assim, ainda existe preocupação única com o cumprimento de requisitos de segurança e não existem iniciativas de apoio, redução de custos e assessoria técnica na adoção e certificação de soluções sustentáveis.

“E vocês falaram bastante do custo de certificação, também. Vocês veem por parte da ANAC, do FAA, incentivos para isso? Não, não tem incentivo. Nenhum. Não porque na verdade o que a ANAC faz, ela só quer a demonstração de que... De aviação segura, né? É... De que você cumpriu com os requisitos e, então, todos os ensaios, tudo isso é por nossa conta. Na verdade, assim... O órgão homologador, ele nunca vai tá preocupado com outra coisa que não seja segurança. Então, assim...”

Uma outra questão apontada pela Empresa 01 é a abertura de “exceções” quanto ao uso de substâncias e aplicação de soluções não sustentáveis nos produtos aeronáuticos. Isso se deve ao fato de que esses atribuem maior segurança ao produto. Um exemplo, o cádmio, ainda usado pela Empresa 01 por questão de necessidades técnicas, visto que, nenhum outro cumpre requisitos de anticorrosão quanto o cádmio e o cromo. O chumbo também é tratado dessa forma, inclusive, fornecedores do fabricante precisam modificar seus produtos que atendem à indústria geral quanto à sustentabilidade para atenderem aos fabricantes aeronáuticos.

“E um exemplo desse material, não sei se você sabe, que é o chumbo, né? O chumbo é proibido. Então, na aeronave, eu falo nas soldas dos componentes eletrônicos. Então se você compra um computador, hoje, ele... Todas as soldas dele não tem chumbo. Então, olha o que tá acontecendo com a aviação... A gente não pode usar essa solda sem chumbo, por quê? Ela cria o que se chama de whiskers que são filetes bem fininhos... Eles cristalizam. Então, olha o que acontece hoje que a Empresa 01 tá fazendo... Se um fabricante de um avião, ele compra um

processador da Intel, ele vem com solda sem chumbo. Que que o nosso fornecedor faz? Ele tira a solda sem chumbo e põe uma solda com chumbo porque nós não aceitamos solda sem chumbo. Isso é um assunto que a ANAC acompanha porque, aí, envolve diretamente a segurança.”

Assim, por questões de aumento de segurança e confiabilidade da aeronave, são permitidas adoções pela indústria aeronáutica já proibidas em outras indústrias.

“Inclusive, é... A gente tem alguns que, é... O pessoal chama de “waiver” pela aeronáutica, mas, na verdade não é bem essa questão, né? Como o nosso produto precisa ser seguro, existem algumas substâncias que são proibidas na grande maioria ou quase todas as indústrias, mas a gente ainda pode usar essas substâncias por questão de segurança. Então, é... Apesar dela ser tóxica a gente precisa continuar usando porque os requisitos de segurança da aeronave nos exigem isso. Não existe nada tão bom quanto aquele elemento que é tóxico.”

Sobre a questão de substâncias perigosas e cuidados, o *workshop* na Empresa 01 mostrou que, hoje, já existe um cuidado sobre o mapeamento e a gestão de produtos perigosos presentes nas aeronaves. As empresas têm adotado essa preocupação, principalmente, norteadas por dois grandes direcionadores: legislação ambiental e clientes.

“Porque tem que ter os cuidados, principalmente... E um dos cuidados que são importantes, e isso é uma coisa que nós estamos avaliando agora, como atender os clientes, é o cuidado que ele tem que ter com as substâncias perigosas da aeronave. Por exemplo, na hora que ele tem que tirar todos os fluidos hidráulicos... Esgotar tudo isso... Na hora que ele vai desmanchar, se ele... Se ele, é... Tiver contato com alguma substância perigosa, na hora que ele tiver desmanchando alguma coisa... Então, nós já tivemos, tivemos já, clientes solicitando isso. Aonde que estão as substâncias perigosas da aeronave. Então, esse é o trabalho que a gente tá fazendo agora, de

identificar, porque a própria legislação ambiental tá nos levando a isso. A saber tudo que existe na aeronave e aonde que tá localizado e a quantidade. Então tá sendo um trabalho enorme que a gente tá fazendo agora...”

Ainda quanto aos direcionadores na adoção de algumas das iniciativas de EC pela indústria aeronáutica, foi apresentado no *workshop* caso europeu de acordo entre operadores das aeronaves e comunidade local, iniciativa onde são impostos limites operacionais com a finalidade de garantir a sustentabilidade local.

“É... E tem outra característica de ruído também que, por exemplo, o aeroporto de Frankfurt, eles têm um acordo com a comunidade, né? Existe uma, o que seria uma taxa diária de ruído, essa taxa não pode aumentar, então, se eles quiserem aumentar o número de voos, eles têm que diminuir o ruído das aeronaves.”

Uma outra iniciativa internacional por parte dos governos que tem feito com que as empresas gerenciem todo o ciclo de vida do produto e, conseqüentemente, atuem de maneira mais sustentável descartando seus resíduos corretamente, é a adoção de controle dos materiais, como no caso de compósitos.

“Aí pega o compósito, que é aquele tecido, recorta as partes e, o resto, a Empresa 01 paga pra ser incinerado. Por que que a Empresa 01 tem que fazer isso? Porque esse material é controlado, ele, ele pode... Ele é controlado pelo governo americano. Então, pra você poder comprar de uma empresa americana você tem que dar o fim... Você tem que garantir o uso. Aquele que você não usa, você tem que queimar. Então, a Empresa 01 queima. Paga para incinerar esse material.”

Além disso, certificações ambientais também são direcionadoras desse processo de transição de um ciclo de produção e consumo linear para circular. Para a obtenção dessas certificações, a empresa é avaliada em auditorias como responsável por todo o processo,

inclusive, pelo descarte das sobras desse e de outros materiais que compõem partes da aeronave e insumos de produção, após o uso, fazendo a incineração e não o despejo em aterros.

“Panos que, todo dia, tem pessoas que usam 5, 10 panos, né? O pessoal da produção... Porque aplica selante, aplica é... Cola, aplica adesivo, aplica calço líquido... Ele precisa limpar ali o excesso. Isso, um pano contaminado... Vende pra incineração. E faz energia. E outros resíduos que são, que são gerados. A Empresa 01 não tem mais nada pra aterro, tudo incinerado. É porque a gente tem, a gente tem as auditorias da ISO 14000 por isso que eu sei.”

A Empresa 01 se mostrou participante direta de iniciativas para a transição do ciclo de produção e consumo linear para circular. Através da participação em grupos que visam regularizar processos como a desmontagem de produtos e o descarte de resíduos de maneira sustentável, a empresa tem aplicado esses conceitos em seu PDP inserindo essas práticas como requisitos em seus contratos de prestação de serviços.

“Desmontagem da aeronave. É isso que eu posso falar de reutilização. Que que a Empresa 01 faz? A gente participa da AFRA, né? Já há uns 5, 6 anos que nós somos membros da AFRA. Existe um guia pra você fazer a desmontagem adequada, né? Então, que que a gente conseguiu? Então, a gente conseguiu colocar nos contratos de desmanche, né? Ao contratar uma empresa pra desmanchar, ele tem que seguir o guia da AFRA. E que que, o que que é feito, então, com essa aeronave? É feito o desmanche, e Empresa 01 vende por um preço muito baixo. Só que, essa empresa que compra o avião, desmancha e ela dá o destino adequado de acordo com o guia da AFRA.”

É importante ressaltar que as empresas aeronáuticas não têm adotado estratégias mais sustentáveis de maneira isolada, mas têm criado grupos de discussões e parcerias a fim de viabilizar a adoção de práticas circulares de uma maneira facilitada. Iniciativas internacionais têm sido vistas nesse aspecto e tem crescido o número de empresas participantes dessas iniciativas, tanto fabricantes de aeronaves como fornecedores de partes e componentes.

“Não só a Empresa 01, tá? Nós temos um grupo que é a International Aerospace Environmental que foi criado exatamente pra atender as legislações ambientais de substâncias. Principalmente, o REACH que é uma legislação europeia e foi uma iniciativa da Boeing Airbus e aí a Empresa 01 entrou como membro fundadora, também, onze empresas começaram esse grupo... E lá, assim, essas coisas são tratadas porque a legislação tá vindo, né? Então, que que a indústria viu? Que uma empresa sozinha teria dificuldade de, de abraçar isso, entender e atender a legislação. Então a ideia foi fazer um grupo, que a gente participa... Inclusive, temos reunião agora, né? Em outubro. E vários grupos que, de várias ações da indústria aeronáutica... É bom que é uma ação em conjunto, né? É Aerospace and Defense, né? A gente tem... Cada vez aumenta mais a quantidade de fabricantes e fornecedores... Fabricantes de motor, né? Isso.”

Um fato que chama a atenção é a falta de desenvolvimento da cadeia de suprimentos brasileira quando à adoção de práticas circulares. Sobre o desmanche sustentável de aeronaves, por exemplo, a Empresa 01 precisa contratar esse serviço fora do país e fazer a totalidade dos desmanches no exterior porque não encontra em território nacional, fornecedores de serviços que atendem a tais requisitos.

“E existem hoje, como que fica a questão dos fornecedores, né? Vamos falar assim, da cadeia de pessoas que te atendem sobre o desmanche, atendendo regras da AFRA, no Brasil, tem? Não. No Brasil, não tem. A Empresa 01 desmancha todos eles nos Estados Unidos.”

Outro ponto de discussão interessante levantado no primeiro *workshop* é a questão de custo da adoção de processos circulares no PDP. O produto aeronáutico possui longo ciclo de vida o que torna fundamental a gestão sustentável, um processo custoso. Assim, são necessárias várias análises de custo/benefício durante o PDP e, a decisão sobre a adoção de processos mais sustentáveis, muitas vezes fica dependente da aprovação da alta diretoria, visto que, possuem maior custo que a adoção de soluções tradicionais.

“Ao invés de você usinar o painel, depois usinar os stringers, já usinar tudo junto. Usina já com os reforçadores... O custo é muito maior que usinar tudo separado... Então isso, esse trade off, é feito na etapa do DIP. É que envolve custo, envolve peso e aí as tomadas de decisões são feitas pelo pessoal da, da alta gestão, né? Do DIP. Os detentores, os guardiões do DIP ali...”

Porém, a adoção de algumas das estratégias sustentáveis como a recertificação e revenda de partes e componentes que passaram por um primeiro ciclo de vida pode trazer retorno financeiro à empresa fabricante.

“E as partes que são reaproveitadas, trem de pouso, portas, é... APU, motor, é... Coisas de aviãoica que você tem uma... Ainda você tem uma vida útil porque no protótipo, às vezes, você vai mudando peça e daí a pouco ele já para. Então, pra você ver, você tem uma vida útil grande. Ele é recertificado e vendido. Quando essa empresa vende essa peça recertificada, parte do dinheiro vem pra Empresa 01. Então, esse é o negócio nosso pra desmanche de aeronave.”

Outra prática relevante para o retorno financeiro, identificada nesse *workshop*, é o reaproveitamento de resíduos de materiais e/ou retalhos de partes oriundas da produção de aeronaves para a fabricação de ferramentais de produção.

“Aí, que que ela resolveu fazer? Reaproveitar isso, e aí ela fez, exatamente o que tá escrito ali. Peças não, não foi pra aeronave, mas foram peças de ferramentais da Empresa 01, que antes eram feitos com material virgem, inteiro, ela começou a fazer com os retalhos. Aí, ela fez uma análise, só para você ter uma ideia, uma redução de \$1.100.000,00 (dólares) por ano, em função da quantidade de material que a empresa, que a Empresa 01 usa.”

A adoção de automação nos processos de produção, como o processo de pintura de aeronaves, também se mostrou uma prática circular que resulta em economia financeira direta e, assim, redução de custos no PDP aeronáutico.

“A pintura, a Empresa 01 usa robô pra pintar partes da aeronave e a redução é de 30% da quantidade de tinta e, evidentemente, na emissão dos gases voláteis durante o processo. Porque eles conseguem fazer uma camada mais uniforme, mais fina... E a gente usa na, na fuselagem, a gente usa esses robôs... E teve essa redução muito grande de tinta.”

Infelizmente, a iniciativa de revenda e reuso ainda não é uma característica adotada em sua melhor eficiência, principalmente quando se trata de circularidade entre o mercado aeronáutico e outras áreas da indústria. O processo enfrenta uma grande barreira burocrática, sendo que, no Brasil essa dificuldade é ainda maior que no exterior.

“Mas, a gente vende mais pro mercado mesmo aeronáutico. Eu sei que não é tão simples adquirir, a aquisição e tratamento... Eu digo mesmo pra escritório, pra fins fora de aeronave. Não é tão simples você adquirir uma aeronave usada ou pós vida. Não é algo trivial... Eu não sei detalhes disso, mas é bem burocrático. Bem burocrático. Nos Estados Unidos que muitos que usam pra casa mesmo, né? O cara passa a morar dentro... Mas, aqui, não tem mais por conta dessa dificuldade. Se não, teríamos muito mais restaurantes, hamburguerias temáticas, né? É... E é uma pena porque seria um bom uso, né?”

Além da barreira burocrática, o reaproveitamento enfrenta a barreira de altos custos. No exterior, são encontradas algumas práticas que facilitam esse processo, como a separação de ligas de alumínio por tipo, para a reciclagem.

“Portugal, por exemplo, ela foi fabricada... A fábrica foi fabricada pra que tudo fosse o máximo aproveitado ambientalmente, sustentável e tal... Então, as ligas já são separadas... É mais fácil utilizar, né? Reutilizar.”

No Brasil, esse cenário é ainda mais crítico, visto que a cadeia de suprimentos aeronáutica é, majoritariamente, instalada em outros países, desde o fornecimento de matéria-

prima para a fabricação de aeronaves. Assim, o custo da gestão de resíduos se torna ainda mais alto, até mesmo para devolução das sobras ao fornecedor.

“E você vê, por exemplo, tem a Alcoa, né? A Alcoa ela não é brasileira, né? Eu acho que ela tem indústria tanto americana... Tanto nos EUA mas acho que tem na Europa também, né? Digamos, a gente recebe o metal da Alcoa, processa, sobra. A gente pode devolver pra Alcoa. Então, essa foi uma tentativa... De devolver. Mas aqui, pra gente, devolver sai muito caro. O custo de transporte pra lá seria... Terrível. Porque não se fabrica a chapa aqui, né? Fabrica fora.”

Uma outra característica que dificulta a adoção de conceitos circulares de ciclagem e troca é o fato de que, em geral, a cadeia de suprimentos aeronáutica é restrita e espalhada geograficamente, ou seja, não existem parques industriais que possibilitem exercer a circularidade através da simbiose industrial.

“O mundo aeronáutico ele não... Ele não tem uma... A cadeia de suprimentos, a cadeia de fornecedores no mundo aeronáutico, a gente pode dizer que ele é relativamente restrito, né? Então, a gente acaba ficando muito... As opções... Agora, veja um exemplo nosso mesmo... A gente fabricava e montava aqui, por exemplo, os nossos jatos executivos, né? Que é um avião... Um jatinho pequeno. As partes, várias, muita coisa fabricada aqui e várias coisas de fora. Por exemplo, EUA... Motor é de lá. Aí a gente transferiu essa unidade pra Flórida. O que que acontece agora? As partes que eram de lá, ficou perto, só que as que eram fabricadas aqui ficaram longe. Então, o problema da indústria aeronáutica é que os fornecedores, de um modo geral, estão espalhados no mundo. Você vê... Tem fornecedor do Japão, Coreia do Sul, Chile, Noruega, Inglaterra, EUA, Canadá, Brasil... Então, assim, não tem, por exemplo, trem de pouso... Faz aqui, a Empresa 01 tem uma fábrica de trem de pouso. Faz no

Canadá... Acho que são três no mundo... Então, assim, não tem jeito de estar tudo próximo.”

Existe, ainda, mais um agravante. Devido ao alto custo de desenvolvimento dos produtos aeronáuticos, bem como, preço elevado dos produtos finais, a indústria aeronáutica é norteadada por acordos políticos de subsídios públicos, contratos de compra e venda atrelados à criação de instalações e geração de empregos. Assim, a localização geográfica das empresas fica atrelada aos acordos efetuados, o que aumenta a dificuldade de criação de parques industriais.

“E a gente não pode esquecer que empresas aeronáuticas também são grandes clientes de subsídios públicos. E por tanto tem compromissos, né? Na geração de empregos em diferentes países os quais estão subsidiando. A gente tem um exemplo na Defesa, do nosso avião para transporte tático/logístico e reabastecimento em voo que pediu pro... Assim, o avião tem uma promessa de vender em Portugal, por exemplo, então eu preciso fazer tantas peças do avião, tantas estruturas lá em Portugal. É um compromisso que o governo fez, inclusive o governo subsidiou, o governo português, a fábrica de Portugal. Foi... E aí, portanto, você... É um espalhamento natural, político... Você não tem muito o que fazer... República Tcheca aconteceu isso também... Na Argentina tem estrutura do avião que é fabricada lá também por acordo entre, entre governos... Para que a aeronave seja comprada depois, você precisa gerar emprego no país. Então, eles precisam fabricar peças e aí são integradas, atualmente, em Gavião Peixoto, que é a montagem final do avião para transporte tático/logístico e reabastecimento em voo e pronto. Ou seja, a rede próxima de fornecedores acaba ficando algo utópico.”

A cadeia de suprimentos espalhada geograficamente gera um número grande de operações de transporte durante o processo de desenvolvimento de produtos aeronáuticos. Para

otimização de processos logísticos, a Empresa 01 também aderiu ao conceito de circularidade através de projetos de redução de embalagens em número, volume e substituição/descarte.

“E relacionado com fornecedor, tem um pouco a ver, é... A questão das, das embalagens. Então, a Empresa 01, nessa época que a gente começou com essas iniciativas de DFE, mesmo, entrou um pessoal também da fábrica, eles fizeram 95 projetos de redução de embalagem. E uma delas é pros EUA que, por exemplo, vem uma peça grande que vinha de madeira, então chegava aqui, desmanchava e a madeira jogava fora. Aí fizeram metálico e fizeram de uma maneira em que a desmontagem ficaria o menor espaço possível pra poder mandar de navio de volta. Aí, reduziria o custo do transporte da embalagem mesmo. Que esse que era um problema... Então, foi feito isso e feitos vários outros, assim. E, no nosso Guia, que a gente tem na intranet pros usuários, tem esse exemplo de embalagem.”

Para otimizar a logística de reposição de peças aos seus clientes, a empresa criou um *pull* de peças onde trabalha com estoques estrategicamente localizados e consegue atender às necessidades de fornecimento relacionadas aos seus produtos. Seus clientes contratam o serviço de manutenção da frota e a Empresa 01 se encarrega de garantir a entrega das peças de uma maneira eficiente.

“A Empresa 01 tem, tem um pull de peças em pontos estratégicos em que ela garante lá a entrega de peças, por exemplo, em 24h. É, por exemplo, ao invés da pessoa comprar um, né? Ficar comprando a peça direto, ela compra o serviço da Empresa 01. Então, a Empresa 01 entrega pra ela a peça aonde ela estiver e é um pouco mais fácil isso, então, é... A gente tem um estoque, né? Enfim, a gente presta um serviço, né? Não é simplesmente comprar peça. A gente presta um serviço pras empresas e várias empresas fazer parte desse pull. Porque, realmente, a aeronave no chão... A aeronave foi feita pra voar e não pra ficar no chão. Quanto mais tempo e solo, mais custo.”

Dentro desse cenário, o conceito produto-serviço também é uma estratégia adotada pela Empresa 01 quanto à venda de aeronaves. Com isso, as empresas fabricantes passam a participar ativamente da gestão do ciclo de vida completo da aeronave.

“E tem, também, essa questão do leasing, né? Que a Empresa 01, ela vende uma aeronave e aí, enfim, ela... É como se fosse um aluguel mesmo, né? E vai trocando, então a aeronave na verdade é da Empresa 01. Tem toda uma questão. Também, que... Que é como se fosse um serviço e não mais, né? Pensar em serviço não só em entregar um produto.”

Além disso, preocupar-se com o desenvolvimento de produtos mais duráveis e otimizado com relação à matéria-prima, visto que, os custos de manutenção do produto passam a fazer parte do escopo do fabricante. Com isso, expandir a durabilidade e adiar possíveis substituições passa a ser de interesse econômico direto dessas empresas.

“Ah, não só a Empresa 01, todas as empresas. Tem fabricante de motor agora que tá com esse projeto aí... A Rolls-Royce é uma. De não vender mais o motor... Que o motor custa uma fortuna, né? Não vende mais e vende hora voada... É uma outra maneira de... De atuar. E, aí, eles fazem um motor que dure mais... É interesse deles, né? Que use menos matéria-prima, que precise trocar menos peças, então, aí você entra com esse conceito de economia circular, né? Fazer para durar o máximo que tempo, pra trocar o mínimo de coisa, fazer, enfim, o fim de vida ser o mais longe possível. E isso diminui o custo de todo mundo, né? Se comprar um motor por hora, adquirir um motor pagando hora voada é muito mais fácil pra, pra companhia aérea sobreviver no mercado.”

Outro ponto interessante é o uso de práticas indicadas pelos conceitos de otimização e virtualização para a melhoria na qualidade de trabalho dos operadores durante a execução de processos fabris de produção e montagem das aeronaves. Avaliações de ergonomia são feitas pela Empresa 01 em fase de projeto, visando simular essas operações.

“Tem muito, é... Aquela coisa de ergonomia, simulação da manufatura. É, a gente faz análise, né? Pra dar montagem...Tem toda uma... É, a gente faz a parte de ergonomia e que também de manutenção há muitos anos... Que a gente comprou aquele software chamado “Jack”. Ele, ele você simulava a parte toda de ergonomia e, também, de manutenção.”

A virtualização também possibilitou a melhoria da qualidade do trabalho através da disponibilização de mais informações aos operadores sobre as partes da aeronave e as operações de produção, montagem, ensaios ou manutenção a serem executadas.

“Tem uma questão toda de você ter os dados da aeronave, e o trabalho pra fazer manutenção e saber qual que é a parte da aeronave que tá... Tudo inteligente, né? Então os, o pessoal do processo eles recebem isso em tablets. E aí eles fazem tudo, né? Conforme... Conforme mostra e aí ali você pode ver vídeos, né? Não só ter um desenho. Então eu sei que tem várias coisas desse tipo. Então, o operador sabe naquela montagem, ele tem que usar tantos prendedores e tem que usar a peça tal junto com a tal, né? Então, ele separa aquele “kitzinho” que ele vai fazer naquele momento, seja pelo tablet, seja pelo computador, ele já sabe...”

O processo também foi otimizado com a adoção da estratégia de roteiros e gestão de execução dos processos de forma digital. A validação e a rastreabilidade das execuções de tarefas também ficaram mais detalhadas, sendo as informações disponibilizadas de forma mais eficiente.

“Aquele passo do roteiro que ele já previamente leu e que antigamente tinha que assinar, falar que deu baixa pra passar, eventualmente, pro segundo turno e tal pra continuar aquilo mas hoje tudo eletrônico, ele entra com o login dele, ele afirma que terminou e a etapa dá como concluída, tem o registro da hora, quem fez e tudo mais. Se a qualidade quiser auditar e tal...”

Sobre a adoção de práticas sustentáveis, o primeiro *workshop* mostrou que, algumas das iniciativas de EC adotadas no PDP aeronáutico, não tem como fundamento a sustentabilidade, sendo consequência de outros interesses e necessidades relacionadas ao produto.

“Então, lá desde a fase de projeto, enquanto você tá pensando na aeronave você já tá pensando como ela vai ser desmontada no fim da vida. Então, aí, é um ponto que, no caso, por exemplo, do interior... A desmontagem dele é muito pensada, bem pensada, mas não no fim de vida... Porque quando você faz um check C, por exemplo, você tira todo o interior pra fazer as inspeções. Então, no caso de manutenção. Como você tem que facilitar a manutenção você já faz isso...”

Os engenheiros da equipe de DFE da Empresa 01 reportaram a existência de uma grande barreira na adoção dessas iniciativas com o objetivo de sustentabilidade como principal direcionador, a conscientização das pessoas/equipes sobre a importância do tema.

“Só que a gente, nós estamos tentando colocar na cabeça das pessoas do grupo que a gente chama de DAP que é a área de anteprojeto essa conscientização, que se você na sua pesquisa está avaliando dificuldades, essa é uma grande dificuldade, é conscientizar as pessoas sobre esse assunto. Isso que leva tempo e é difícil, porque é uma mudança de... As pessoas têm uma tendência de não mudar o seu jeito de trabalhar. Quando você entra com uma coisa nova, é... Por exemplo, até agora a Empresa 01 quando fabrica uma aeronave, tá começando a pensar, mas vamos dizer há algum tempinho atrás ela não pensava que vai acontecer na hora de desmontar. Eu tenho que me preocupar com isso? Eu tenho que facilitar a desmontagem? Eu tenho que evitar uma solda pra depois... Não, não se pensava nisso porque a empresa só... A empresa só pensava até o momento de certificar a aeronave. Certificou e eu vou fabricar tudo igual, então, não se pensa mais. Só que a gente introduziu o ciclo de vida do produto inteiro, nós temos até uma figurinha do ciclo todo do produto...”

Então, é essa a conscientização que a gente tá trabalhando agora em novas possibilidades aí de aeronaves... Se a gente for fazer um novo avião, a gente já tá convencendo as pessoas do DAP, né? Esse departamento, de que tem que pensar nisso. Mas há uma resistência... Isso aí, é... É difícil, mas a gente tem que mostrar...”

Como mostrado acima, o projeto de produtos sustentáveis ainda enfrenta dificuldades de implantação. O retorno financeiro tem sido o maior direcionador das tomadas de decisão em projetos de aeronaves e, a conscientização sobre a importância de aplicação dos conceitos de sustentabilidade e circularidade no PDP aeronáutico é um trabalho lento e complexo, porém, tem evoluído ao longo do tempo.

“Quando a gente começou o DFE aqui, até por uma sugestão de uma colega da área, ela falou assim... Vamos identificar trabalhos, né? Fazer algum projeto de que dê retorno financeiro. Que daí você convence as pessoas. Mas a gente já evoluiu muito, né? Muito. Hoje já começam a olhar com outros olhos e veem a importância. Tanto é que o nosso, no nosso trabalho chegou um ponto que a gente... Nós fomos falar com a área de inteligência de mercado, nós vamos focar muito nisso ou vamos focar na parte que é legislação? Vale a pena continuar, né? Eles falaram, não, vale a pena e é importante ter isso no produto. Então, assim, é... Mas só que você tem que convencer as pessoas, tem que mostrar o benefício. Então, fazer DFE não é só, é... Complicar ou encarecer, as também é uma comum associada, né? É... Agregar retorno. E grande, muitas vezes, né?”

Na indústria aeronáutica, o que torna ainda mais importante os investimentos em conscientização sobre a importância da incorporação de sustentabilidade nos produtos, durante o desenvolvimento de um projeto, é o fato de que o ciclo do produto é longo. Assim, uma nova oportunidade de aplicação poderá ser viabilizada apenas anos após a execução desse projeto.

“Por isso que eu falo... Uma das dificuldades de trabalhar na sustentabilidade é conscientização das pessoas da empresa. Isso é difícil... Não é fácil. E pra gente é mais complicado porque o

ciclo do produto é muito longo, né? Quando você perde um, você só vai ter o outro daqui alguns anos, né?”

Além do fator custo e das legislações ambientais sancionadas pelos governos, uma outra maneira de transformar esse cenário nas empresas e impulsionar a transição de um modelo de produção e consumo linear para circular é a mudança de comportamento do mercado consumidor. Assim, o tema passa a ser relevante e a implantação necessária quando os clientes passam a considerá-lo uma característica relevante.

“Eu falo porque ruído, quando eu cheguei aqui, ninguém queria saber que, de reduzir o ruído do avião da parte interna porque ninguém ligava. É... E ninguém queria ouvir porque a gente só ia aumentar peso da aeronave e tal... Demorou anos e anos, aí quando os clientes começaram a cobrar, pronto! Agora, aí inverteu... Aí a área de ruído era chamada pra dar soluções... E esse assunto, eu vejo uma grande similaridade porque hoje é a mudança, a mudança no jeito de trabalhar...”

O primeiro *workshop* também mostrou que algumas iniciativas que já são adotadas pela indústria aeronáutica não foram encontradas na literatura e, isso se dá pelo fato de que a descoberta de novas tecnologias e a aplicação de inovações nos produtos faz com que as empresas saiam na frente de seus concorrentes e ganhem mercado.

“A pintura, a Empresa 01 usa robô pra pintar partes da aeronave... E a gente usa na, na fuselagem, a gente usa esses robôs, inclusive a Empresa 01 não permite ninguém visitar e quando teve o pessoal da ICAO aqui a gente foi lá ver e eles fica impressionados porque eles também tão querendo... Eles não têm esse processo. Você pega o avião, assim... Imagina, tem lá o nariz faz isso, o robô vai acompanhando toda essa superfície do avião. Ele pinta sozinho o avião, o robô.”

Um outro exemplo que se encaixa na situação descrita anteriormente é a questão de redução de ruídos, explorada pela Empresa 01, que aplica técnicas de redução aos seus produtos durante o PDP.

“É por isso que não aparece ruído aí, sabe por quê? Porque ninguém publica essas coisas. São... Normalmente são ações que as pessoas não falam muito. São práticas... Das empresas. Que elas mantêm por elas. Internas. O que eu te falei que a gente fez são coisas da Empresa 01, que ela fez mudanças na aeronave pra redução de ruído. Você vai achar isso até, vamos dizer, no site da Empresa 01 falando algo ou numa revista Aero Magazine, mas você não vai achar num artigo científico.”

“É... E tem coisas, assim... Que a gente percebe, pelo menos na Empresa 01, né? A Empresa 01 tem muito essa cultura de não divulgar o que ela faz... É... Mas isso é um pouco da indústria aeronáutica. Mas, assim... No sentido de proteger mesmo, eu vejo... Não no sentido assim, nossa, não quero compartilhar com a academia... Mas no sentido, assim, de segredo, de sigilo, de ter uma patente...”

Com isso, a empresa opera, inclusive, em locais que possuem requisitos normativos específicos e mais restritos que os requisitos gerais, graças às tecnologias adotadas durante o PDP e que são de domínio interno da companhia, ganhando vantagem competitiva.

“E outra coisa que a gente fez também, no caso de Londres, naquele aeroporto dentro da cidade que é o London City, é... Ele tem que, ele não pousa a 3 graus, é... Ele pousa a 5. Então, que que ele faz? Ele vai mais lá na frente possível, quer dizer, mais longe das casas e dos apartamentos e aí ele desce numa rampa muito maior. E pra isso você tem de certificar o avião para fazer essa descida, é... Que chama strip approach. E aí a gente fez os ensaios das aeronaves da nossa atual família de aeronaves comerciais, então hoje a gente opera, a British Airways opera aviões nossos lá nesse aeroporto porque o nosso avião é capaz de fazer isso. Pra impactar menos a comunidade. Porque lá no City eles têm, é... Microfones tanto no pouso quanto na decolagem e você tem que cumprir as regras de ruído pra poder

operar lá, então, você tem que demonstrar... É mais restritiva do que a certificação, bem mais. Não basta certificar pra ruído, você tem que atender à regra do aeroporto. Então, tudo isso aí são... É... Os fabricantes têm que pensar em tudo isso porque se você consegue oferecer um produto mais silencioso, você tem chance, mais chance, naquele mercado.”

Para ampliar a transmissão da informação e do conhecimento, o primeiro *workshop* mostrou que a Empresa 01 já promove congressos internos onde os colaboradores submetem seus artigos científicos de forma que possam ser apresentados à companhia como um todo. Assim, uma tecnologia criada em determinado setor para um cenário específico, possivelmente, pode ser aplicada em outras situações pelos demais departamentos da companhia.

“A Empresa 01 tem um seminário que acontece todos os anos também, que a gente acaba... Divulgando internamente. Divulgando internamente todos os trabalhos que estão sendo, que estão acontecendo na empresa. Mas, é interno. É, tipo... Parece um congresso na verdade... A gente faz paper e tal pra submeter em aprovação pro congresso. Seminário... De Tecnologia e Inovação. Chama SETI.”

Porém, esse tipo de evento não é aberto ou divulgado externamente. Dessa forma, muito das evoluções, no que diz respeito à aplicação de sustentabilidade no PDP, ainda permanece como conhecimento interno das empresas, sendo que, algumas vezes, não existe nem mesmo conhecimento por parte dos demais departamentos da companhia sobre o que está sendo desenvolvido em uma certa área.

“Inclusive, é... E o motivo, que eu entendi, né? Ele nasceu porque... Exatamente porque tinha muita gente que faz pesquisas aqui dentro, muita gente que desenvolve coisas aqui dentro... Ninguém sabe, né? A outra área não sabe. E, também porque, assim... A gente sabe que muitas coisas a gente não pode publicar fora. Então, pra que a gente pudesse pelo menos compartilhar internamente, foi criado esse congresso aqui...”

Sendo as publicações restritas ao ambiente interno da empresa, a Empresa 01 adota como forma de colaboração e troca de informações com a academia, atualmente, a formação de convênios para o desenvolvimento de novas tecnologias.

“Mas, de alguma forma, não colabora com a academia em si, né? Que é a questão que ela tá questionando... Porque a gente não divulga. A única... Eu acho assim... Meio de colaboração com a academia é o DT... Desenvolvimento Tecnológico. Tem vários, muitos convênios. Muitos. Que são essas parcerias.”

Por fim, um outro exemplo de colaboração indústria-academia, apresentado durante o *workshop* na Empresa 01 é o programa de especialização em engenharia aeronáutica desenvolvido pela empresa em parceria com uma instituição de ensino superior da área.

“E tem também o PEE. Que de alguma forma... A especialização em engenharia que os três são do PEE, é... Engenheiros recém-formados estudam um ano e meio com bolsa do ITA e depois a grande maioria vem pra Empresa 01. Estão fazendo engenharia aeronáutica, na verdade... Mestrado, é... Faz um ano de matérias e seis meses pra fazer o projeto de uma aeronave. E, aí, tem o título de mestre... Pelo ITA.”

4.3.2 Empresa 02

Os resultados do segundo *workshop* mostraram que a Empresa 02 também realiza iniciativas de EC em seu PDP. Ao todo, foram citadas 21 estratégias relacionadas às seis ações circulares propostas pelo modelo ReSOLVE, como mostram os quadros 11 e 13. Sobre os direcionadores para a realização de iniciativas desse tipo, fatores econômicos e sociais acabam sendo mais impactantes que a conscientização própria da indústria sobre a necessidade de proteção ambiental.

“Existem outros fatores, né? O econômico e o social. Na verdade, eles são os mais importantes, né? O econômico é uma questão de posicionamento da empresa dentro do mercado e o social é essa pressão que eu tô falando, né? Que é... O governo, ele... Ele, pra

atender as aspirações da população, ele normatiza e a indústria tem que seguir atrás.”

Logo no início do *workshop*, o participante expôs seu ponto de vista sobre os modelos sustentáveis que, segundo ele, ainda são praticados na indústria aeronáutica mediante a serem exigidas para atendimento de normas. Assim, os processos têm sido repensados conforme necessidade de atender aos critérios definidos pelos órgãos de certificação aeronáutica.

“A adoção de modelos sustentáveis, em geral, na indústria, ela não é uma decisão da própria indústria... Existem duas linhas que o mercado segue, né? Produtos que são vendidos a consumidor final, eles têm realmente um apelo de o pessoal pensar na sustentabilidade como marketing. Porque o consumidor final pode ter conceitos pessoais, né? Opiniões pessoais de que é melhor o environmentally friendly, coisas do gênero. Agora, a indústria, ela não pensa exatamente dessa maneira, né? A indústria, ela é muito focada em legislação e custo/benefício. Então, por exemplo, a aeronáutica, ela não vende avião diretamente ao consumidor final, então, no caso da aeronáutica, penso que a maior motivação pra ir pra essa linha de produtos sustentáveis é, de fato, o atendimento de normas. Quer dizer, a população tem suas aspirações, elas fazem suas pressões nos senados, nos governos... Os governos criam as normas, são traduzidas nos órgãos de certificação aeronáutica e nos órgãos de controle... Uma CETESB, por exemplo... E de lá, essas... Por essas normas que a aeronáutica é obrigada a correr atrás e repensar alguns processos.”

Um dos exemplos de iniciativas norteadas por requisitos de certificação, é a gestão do ciclo de vida do produto e o controle dos processos. Assim, a legislação vigente na indústria aeronáutica se mostra um grande direcionador na transição das empresas deste setor de um ciclo de produção e consumo linear para circular.

“Outro ponto, né? A própria certificação aeronáutica, ela exige que você faça a certificação, não só da aeronave, mas de todo o

processo, né? De life cycle do produto, né? Até o descarte. É exigido que você demonstre esse tipo de controle, né? Então, é uma característica da aeronáutica, né? Você precisa pensar no próprio descarte dos produtos.”

Ainda sobre o processo de transição de um modelo de produção e consumo linear para circular, existe a questão de custo. Algumas das iniciativas sustentáveis, como uso de materiais alternativos e ambientalmente não agressivos, podem ter custo de aplicação mais elevado que processos tradicionais, assim, a indústria aeronáutica ainda tem o custo/benefício como norteador principal e passa a praticar tais iniciativas quando essas se tornam requisitos de legislações vigentes.

“Mas, vamos lá... Performance, é algo que a indústria vem atrás, custo ela vem atrás... Redução de custo, redução de... Tanto de produção como de operação, a indústria vem atrás. Restrição de materiais que geram gasto pra empresas, só quando você tem pressões governamentais.”

Quanto ao posicionamento da indústria aeronáutica sobre a adoção de práticas sustentáveis e realização de iniciativas nesse quesito, o Participante B acredita que a indústria está bem posicionada. O bom posicionamento se deve ao fato de que a indústria aeronáutica possui maior número de requisitos que outras indústrias.

“Você põe uma frase que você fala que a aeronáutica tá um pouco atrás, né? Eu não concordo, exatamente, com essa afirmação, né? Eu vejo que a indústria mais bem estruturada que existe é a aeronáutica porque é a indústria onde existe o maior número de requisitos, é uma exigência da operação da aeronáutica como você sabe, né? Toda a rastreabilidade de produtos, rastreabilidade de tudo... Isso aí tá dentro da própria certificação.”

Uma das barreiras relatadas é o fato de que o PDP aeronáutico é um processo já, tradicionalmente, caro. O processo tem características específicas que encarecem os projetos e, a adoção de processos sustentáveis pode tornar isso ainda mais caro. O descarte de resíduos é

um exemplo disso. A adoção de alguns processos sustentáveis, principalmente por empresas menores, onde o processo de desenvolvimento é mais artesanal, não é algo simples.

“E que em muitos casos, o próprio ambiente de desenvolvimento da aeronáutica e pelos custos também, né? Porque você tá falando de produção... Praticamente artesanais. Eles forçam o desenvolvimento de práticas que reduzem os custos. Lembre-se que, por exemplo, dependendo do produto que você usa, o descarte dele não é barato. A forma de você faz a anodização da fuselagem, os tratamentos superficiais... Então, pra você descartar esses produtos é muito caro. O resultado desses ácidos. Então, é uma questão do mercado, mesmo...”

Mesmo que a indústria aeronáutica enfrente algumas dificuldades na adoção de processos sustentáveis, ela está mais desenvolvida que outras indústrias quando à prática de algumas iniciativas de EC, por exemplo, a reciclagem.

“Então, a aeronáutica, em alguns aspectos, eu penso que ela tá na frente de outras indústrias. Praticamente, 100% das sobras de retalho de alumínio aeronáutico são recicladas, ou seja, não se fala 100% dos produtos da automobilística.”

Para tal, a estratégia adotada pelas empresas desse setor, é a escolha de materiais para reciclagem ainda em fase de projeto. Assim, a indústria aeronáutica tem se mostrado praticante de iniciativas de EC em seu PDP.

“O caça multiuso tá sendo desenhado pra 35 anos, então, é uma aeronave que afeta pouco o meio ambiente... A escolha de materiais dele também é toda ligada à reciclagem, você... Todo o material, tanto que foi gerado durante a sua produção quanto no descarte dele, são todos materiais que foram escolhidos para serem reciclados no futuro.”

Uma característica interessante apresentada pelo Participante B é o pioneirismo da indústria aeronáutica no que diz respeito à reutilização/reciclagem de seus produtos, não

somente para obtenção de produtos secundários ou aproveitamento de resíduos, mas para a extensão do ciclo de vida dos produtos, ou através da revitalização de aeronaves.

“Outro ponto interessante com relação à reutilização, né? Isso é algo que, eu acredito, que a aeronáutica, ela é pioneira, né? A reutilização, a reciclagem... Mas não a reciclagem destruindo o produto e transformando ele em outra coisa... A reciclagem de fato, né? Hoje em dia, tem se tornado cada vez mais comum, né? Você comprar aeronaves antigas e revitalizar pra outras operações, né? Os projetos militares, é onde você mais faz isso.”

A indústria aeronáutica se enquadra no perfil de indústrias que possuem produtos de longo ciclo de vida, tradicionalmente. Cada dia mais, as empresas têm desenvolvido aeronaves com base no conceito de *design* para durabilidade, assim, favorecendo a circularidade no PDP aeronáutico.

“O pessoal troca tudo a aviãoica, mas a célula dele continua voando. Quer dizer, são produtos que foram desenhados pra uma longevidade gigantesca. Você pega, hoje, o projeto de um caça multiuso de quarta geração e meia, fabricado por uma empresa aeroespacial sueca... Hoje, ele tem, de projeto, 35 anos de durabilidade...”

Algumas vezes, optar por iniciativas sustentáveis no PDP exige que a empresa possua ferramentas avançadas de gestão do produto e da informação. Assim, os custos para obtenção dessas ferramentas podem se tornar uma barreira, principalmente, para empresas de menor porte.

“Outro ponto importante, né? Que tem crescido muito, né? É a parte do desenvolvimento de segmentos, desenvolvimento de peças... Você trabalhar com similaridade de peças. Mais uma vez, isso parece bobagem, mas você precisa ter um PLM extremamente desenvolvido pra você conseguir comunizar peças em aviões porque a certificação, ela é pesada, né? Então, essa

questão de gestão da informação, né? De um VPM, um PLM é algo que também tem atraído muita atenção.”

Em geral, a indústria aeronáutica tem investido na aplicação de processos de gestão do conhecimento e, o setor encontra-se bastante evoluído quanto à adoção do conceito de virtualização em seus processos.

“A aeronáutica, eu ainda entendo ela como estado da arte, né? Por mais que, por exemplo, você disse que ela é um pouco atrasada, eu acho que tem coisas que ela é extremamente o oposto, é o estado da arte. Algo que hoje é uma realidade na indústria aeronáutica de ponta é que a gente tá na segunda fase do paper less, né? O paper less, ele começou em escritório, né? Onde as empresas deixaram de usar impressão, né? Mas, hoje a gente tá vivendo a segunda fase do paper less que o pessoal chama de MBD (model-based definition) onde, inclusive, na produção... Esse é o grande diferencial... O padrão hoje, que o mercado tá atingindo, cada estação de trabalho vai ter um terminal... Já tem, na verdade... Porque isso já tá acontecendo. Então essa é a segunda fase, né? Que nós entramos desse ambiente limpo, né? Que como eu disse, né? Isso aí contribui pro meio ambiente, também. Que seria essa gestão do conhecimento, não só mais na fase que projeto, mas inclusive, na manufatura.”

Para a viabilização de algumas das práticas circulares, as empresas também têm contado com a evolução da tecnologia aplicada aos processos. Assim, com maior precisão de alguns equipamentos, a indústria aeronáutica tem migrado de volta para processos mecânicos tradicionais, abandonando o uso de processos químicos, mais impactantes ambientalmente. É importante destacar que esta iniciativa é um exemplo onde o impulsionador principal da mudança é a conscientização dessa indústria sobre sustentabilidade ambiental, visto que, o custo de aplicação da solução mais sustentável é maior.

“Um exemplo também de peça, né? Que, hoje em dia, tem sido cada vez mais difícil de ser produzido e as pessoas tão mudando até o processo de fabricação, né? Skin de avião, sobretudo civil,

eles são... Eles têm usinagens que, antigamente, se fazia química, né? Você tinha os pockets onde você usina, né? Isso aí tem sido, com os anos, deixado de lado. Porque a usinagem química, ela tem uma... Ela gera muito resíduo de... Do processo, né? Então, tem sido mudado esse processo pra usinagem convencional, com fresa, né? Lembrando que a fresa veio antes da usinagem química né? Então, por que que surgiu a usinagem química? Por causa da tolerância, né? Das tolerâncias do processo, né? A usinagem mecânica, antigamente, a tolerância não atendia, né? Você tem um skin de 1.6 e em alguns lugares você quer reduzir pra 1.1... Se você tiver uma tolerância de 0.3, que é mais ou menos o que você acaba tendo da usinagem mecânica, isso não atende... Você não sabe direito se você tem um skin ou um papel laminado, né? Só que hoje, têm sido atingido os níveis de tolerância pra você ter esse processo que é mais... E foi uma mudança que foi toda ligada a meio ambiente, não é ligada a custo porque, ao que eu sempre escutei, usinagem mecânica sai mais caro em muitos casos que você fazer usinagem química.”

A evolução da tecnologia no viés de indústria 4.0, também tem favorecido a transição das empresas para um modelo de produção e consumo circular. Através das automações, simulações de fábricas e seus processos, é possível identificar possíveis impactos ambientais oriundos dos processos de edificação, produção, operação, antes mesmo na execução física dos processos. Assim, com o uso dessas tecnologias, é possível analisar com eficiência várias possibilidades de execução de um mesmo processo e adotar a solução mais sustentável.

“Você sabe que a gente tá vivendo uma nova fase, né? Da indústria, né? Que é o porquê fala-se em 4.0, né? A quarta revolução industrial, quarto ciclo, né? Eu acho que isso é algo que vai mudar muito o mundo, né? A questão das automatizações, das simulações de fábrica, das... A fábrica, hoje em dia, ela vai se tornar cada vez mais um commodity flexível, né? Que você consegue, rapidamente, customizar uma fábrica pra um determinado produto ou passar pra outro produto, analisar

processos, antes de... De simular os processos antes deles existirem. Quer dizer, você faz a fábrica rodar antes dela existir. Isso aí tem uma série de ganhos, né? Você consegue prever todos os problemas de processo que vai acabar também afetando o meio ambiente, acaba afetando performance do produto, a durabilidade do produto que também tem a ver com descarte... Você... A indústria 4.0 não é só a industrialização, é você simular todo o life cycle do produto. Então, eu acho que, talvez, é algo interessante de você dar uma lida e também dar uma pincelada porque acaba afetando toda a vida do produto. Esse tema... Indústria 4.0 que tá bem na moda, aí... É algo que ainda as empresas tão engatinhando, ainda poucos têm conhecimento ou vivem uma situação dessa, mas é... É o que tá aí batendo na porta pros próximos anos.”

Outro ponto interessante discutido no segundo *workshop* é a questão das características específicas de cada um dos segmentos dentro da indústria aeronáutica. Produtos da aviação civil apresentam requisitos de custo/benefício que, muitas vezes, favorecem a adoção de soluções sustentáveis, por exemplo, redução de custo do *buy-to-fly*. Porém, quando falamos de aviação de defesa, a alta performance é o principal requisito e, muitas vezes, soluções que atendem esse critério não são soluções sustentáveis ambientalmente.

“Outra informação que você coloca... É que a aeronáutica, né? Ela tem uma pressão grande pra reduzir o custo do buy-to-fly, a massa de matéria-prima por componente de massa de produto acabado. Aí, eu diria pra você que existem dois ambientes dentro da aeronáutica... Existe a aviação civil e a aviação da defesa. A civil, realmente, ela cai dentro dessa pressão pra reduzir o desperdício, né? Agora, a defesa, é onde é colocada a performance muito em evidência, então, são... É a área onde você acaba utilizando muito material usinado, você usa pouca chapa. Então, depende de quais são os requisitos. Você não pode afirmar que a aeronáutica trabalha sempre pra maximizar o consumo de... Minimizar o consumo de matéria-prima por produto

acabado. Na defesa, em muitos casos, quase que na maioria das peças que a gente faz, a gente nem cogita o uso de soluções mais simples, simplesmente, por causa de performance. Você precisa do avião leve e com uma resistência absurdamente alta. Então, não tem espaço pra você ter produtos, peças montadas, peças de chapa montadas... Você acaba precisando ter usinados.”

A aviação de defesa, infelizmente, possui grandes restrições de projeto devido aos requisitos de alta performance, assim, nesse segmento de aviação, o desafio para desenvolver aeronaves aplicando um processo sustentável é ainda maior. Ainda existe, nesse cenário, grande desperdício de materiais durante o processo de fabricação, visto que, a geometria integrada da estrutura usinada não favorece a redução de geração de resíduos de forma eficiente, como na aviação comercial onde você tem um número maior de montagens e aplicação de chapas.

“Hoje, ele tem, de projeto, 35 anos de durabilidade... Então, por mais que o processo de fabricação dele seja poluidor, né? O caça multiuso sueco... A gente tem, em torno de 2 a 3% só do material utilizado na usinagem dele, vira avião... Porque ele é usinado, praticamente 100% usinado. Você pega um avião comercial, você chega a 80, 90%.”

Um aspecto importante é o fato de que alguns dos processos da indústria aeronáutica são necessários e obrigatórios, por questões de segurança. Algumas das vezes, esses processos fazem uso de substâncias não sustentáveis, porém, as empresas vêm trabalhando na mudança desses processos. Assim, mesmo que o desempenho técnico desses materiais seja superior ao encontrado nas atuais alternativas sustentáveis ou que os custos sejam mais elevados, bases regulatórias têm proibido o uso e forçado as empresas a buscarem novas soluções com aplicação de substâncias ambientalmente amigáveis, um exemplo disso, é a substituição do cromo no processo de tratamento do alumínio contra corrosão por outros químicos ambientalmente mais amigáveis.

“Eu tenho alguns exemplos, de... Que mostram um pouco o que eu tô falando, né? Por exemplo, no passado, a anodização crômica que era feita nas fuselagens, a anodização, provavelmente, você sabe... Ela é uma necessidade pra... Ela

afeta a fadiga, mas é uma necessidade pra proteger a fuselagem contra corrosão e outros problemas que, eventualmente, podem existir. No passado, os aviões usavam muito as anodizações por ácido bórico e ácido crômico. Esses ácidos, ao longo do tempo, foram proibidos em alguns países e reduzidos em outros. De onde vem a pressão disso aí, né? Isso aí não é uma escolha da aeronáutica, isso aí foi uma escolha do mercado, das pressões da população que normatizaram em alguns países a proibição, como é o caso do Brasil... É proibido usar esses ácidos e buscou-se outras soluções... Elas são menos eficientes, mas elas são environmentally friendly, né? Como o uso do ácido fosfórico e tartárico.”

Infelizmente, quando se trata de desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias e processos do desenvolvimento de produtos, algumas das possíveis soluções propostas pela literatura não se mostram eficientes quando aplicadas na indústria, de fato. Assim, dentre muitas possibilidades, poucas conseguem evoluir a nível de aplicação no desenvolvimento de produtos aeronáuticos. Na implantação de práticas sustentáveis, seja pela criação de novas soluções ou adaptação de soluções atuais, essa realidade não é diferente. Por exemplo, para a redução de emissão de GEEs e ruído, a aeronáutica tem buscado soluções mais eficientes, porém, muitas delas são na prática inviáveis.

“A aeronáutica tem buscado soluções pra melhorar a eficiência, redução de poluentes... Fala-se muito de hidrogênio, fala-se muito de outras soluções, mas, assim... Os estudos mais avançados, hoje, já indicam que essas outras soluções, elas não têm futuro, né? É muito difícil você conseguir viabilidade econômica e performance pra motivar um novo ciclo de desenvolvimento aeronáutico. O que espera-se hoje, dentro da indústria, o pessoal que tá mais ligado à concepção dentro das grandes fábricas, os grandes OEMs, hoje, olha-se com bons olhos as soluções com baterias em motores elétricos. Esse, provavelmente, é o próximo salto que a aeronáutica terá pra reduzir emissões, emissões eu não falo só de combustível, de

poluição, também sonora e se desligar um pouco do uso de combustível fóssil.”

Por fim, a indústria aeronáutica tem se preocupado não somente com o produto, mas com a infraestrutura necessária para a fabricação das aeronaves. Dessa forma, soluções para a redução do número de equipamentos de apoio necessários à fabricação e de espaço fabril ocupado também vêm sendo estudadas.

“Algo que vem sendo discutido nessa linha de compartilhamento e, na verdade, não vem sendo só discutido, né? Já existe várias iniciativas em andamento, como um grupo lá na Suécia, nós aqui na Empresa 02 já estamos trabalhando um pouco nisso também, que seriam os ferramentais flexíveis. Por exemplo, se você tem uma fuselagem, você tem que ter às vezes um ferramental com painel direito e um painel esquerdo. Isso pega no meio ambiente também, obviamente, né? Você tem que duplicar a fabricação de ferramentais e duplicar o uso do espaço. O espaço também tem os seus custos, né? Então, isso já tem começado a acontecer, de ser usado na aeronáutica... Tem empresa já trabalhando com esse tipo de solução... Isso faz parte do futuro da aeronáutica.”

Atualmente, para a construção de instalações, as empresas têm desenvolvido estudos ambientais prévios, com o objetivo de minimizar os impactos ambientais na edificação e operação das fábricas de aeronaves. Além disso, esses estudos preveem restrições regulamentares e técnicas quanto à execução de qualquer processo/produto no local da instalação. Esse processo é um processo longo e, mais uma vez, o grande direcionador para a adoção de iniciativas sustentáveis ambientalmente como essa é a base regulamentar vigente.

“Recentemente... Há 2, 3 anos. A gente começou o projeto da fábrica de uma empresa sueca criadora de sistemas de defesa e segurança aeroespacial, em São Bernardo do Campo e o primeiro projeto que nós fizemos foi realmente um framework sobre análises de requisitos de meio ambiente, saúde e segurança. Por que, né? Pra abrir uma fábrica, a primeira coisa que você tem que pensar são as restrições tanto de legislação

municipal, estadual e federal, né? Essa é a primeira análise que você faz pra saber se você pode instalar uma fábrica... Quais são as restrições de processo... Então foi um processo longo, né? E feita, realmente, uma avaliação de todos os órgãos... Não só bombeiro, mas CETESB, a ANA, né? Agência Nacional das Águas... Você acaba vendo tudo, né? É... Pra começar a elencar como é que você vai tratar de todo o processo, né? E esse processo, ele parte também de uma análise do meio ambiente, né? Quais são as restrições locais, como é que você tem que... Como é que você vai tratar com os químicos... Os requisitos de uso de químicos... Você pega uma cidade, uma cidade você não pode colocar alguns processos químicos em qualquer lugar... Você tem restrição por questão de segurança, contaminação dos solos... Então, é um processo longo, né? Depois foi feito um outro framework pra fazer a análise de... Da cidade, em si, né? Onde você faz a análise, não só olhando as restrições, porque existem restrições locais, elas são geográficas, tá? Tal lugar pode fazer isso, tal lugar não pode fazer aquilo... A contaminação do solo... Você tem um mapeamento da contaminação do solo...”

4.3.3 Empresa 03

No terceiro *workshop* também foram relatadas iniciativas de EC na indústria aeronáutica, sendo que, resultaram dessa entrevista 46 iniciativas visando a transição de um modelo de produção e consumo linear para circular. Essas iniciativas estão apresentadas no quadro 13 e, no quadro 12, são somadas aos momentos da entrevista onde cada uma delas é citada. O Participante C iniciou seus relatos abordando as transformações pelas quais a indústria aeronáutica tem passado, orientadas pelo mercado, ou seja, pelas tendências de consumo.

“É... A primeira questão, assim... Por exemplo, interiores... Tudo era plate. Então, tinha muita coisa que precisava ser dourado ou que precisava ser prateado, precisava ser metálico e aí você tinha peso, você tinha material metálico, né? Envolvido no processo, é... Você tinha uma cafeteira, ali... Que era algo que se via valor...”

É... Isso mudou muito rápido. Começaram a sair interiores aonde se valorizava menos plate e mais outros, outros materiais. E a gente começou a já perceber um monte de mudanças.”

Com isso, conforme o mercado mudava, as empresas do setor passaram a adotar estratégias circulares que possibilitassem o acompanhamento das tendências de mercado com maior aproveitamento de seus produtos, visto que, o PDP aeronáutico é um processo caro e longo. Da mesma forma, esses produtos são projetados para um longo ciclo de vida, passando por diversas mudanças de tendência ao longo da vida.

“E o reaproveitamento pra fazer essas mudanças, ele começou a ser algo comum, também. É... Isso a gente foi vendo que tinha um apelo de transformação, de atualizar aviões, né? Com relação à aviónica, com relação a interiores, com relação, é... À performance, entrega de tecnologia... Essa transformação foi adquirindo quebra de paradigma de mudança de material também, né? Então a gente, assim, percebe mudanças que o mercado foi demandando e, pra fazer essas mudanças, a indústria começou a analisar novos materiais e, enfim, ganhar com isso, né? De uma maneira geral.”

A aviação voltada a operações de prestação de serviços é uma das áreas onde a adaptação e transformação de aeronaves tem crescido rapidamente. O Participante C destacou o quanto a migração de uma tecnologia para a outra tem acontecido de maneira rápida. Ou seja, nos últimos 5 anos, período de interesse dessa pesquisa, diversas soluções alternativas têm sido adotadas pela indústria aeronáutica sobre uma mesma questão. Um exemplo disso, é o interesse pela mudança de combustíveis fósseis para combustíveis mais sustentáveis, seguida por mudanças de sistemas de propulsão.

“Outras mudanças que a gente foi percebendo, principalmente, é... Na aviação voltada pra prestação de serviço, né? Um avião que atende uma operação executiva pro agronegócio, é... Um avião que atende um MEDEVAC, né? Um aeromédico... Começaram-se a avaliar possibilidades de mudanças de motorização e de combustível. Se você pensar, quando se discutia

aviação motor a álcool, é... Pra aviação agrícola, né? E se tinha uma frota enorme aí, todos com AVIGÁS e nem tinha turbo hélice na aviação agrícola... De repente, aviação agrícola com turbo hélice é uma realidade, né? A crescente da frota já vem pra turbo hélice, já uma queima de querosene... Já muda combustível, já muda performance de avião, já muda realidade de estrutura de ambiente de aplicação, né? Quantidade de aplicação e aquele que sai pistão já sai com etanol. Isso foi muito rápido. Isso aconteceu muito rápido. E de repente a gente começa a discutir assim “Ah, avião elétrico...”. Então, de repente a gente tava discutindo queimar... Muito rápido, né? Tamo falando de um ciclo aí, sei lá... De uns 4, 5 anos. A gente tava discutindo não queimar AVIGÁS pra queimar etanol. Aí, passou a ter a opção de etanol e a opção de turbo hélice queimando querosene. Essa mesma aviação, pra essa mesma prestação de serviço, hoje tá voando motor elétrico. Então, um ciclo... Num espaço muito curto de tempo, você vê inovação pela necessidade do mercado, alinhada a custo/benefício por conta de ser avião pra prestar serviço...”

Existe, dentro desse cenário, a questão de quebra de paradigmas sobre as mudanças quanto aos conceitos de *design* aplicados no PDP aeronáutico. Assim, a sustentabilidade tem sido incorporada a projetos da indústria aeronáutica com a adoção de novas soluções que não aquelas tradicionais.

“E aí, questão ambiental, né? Questão de quebrar paradigma mesmo, e... Ah, se é avião, eu tenho que ser tão tradicional quanto só fazer, é... Alumínio aeronáutico, só usar AVIGÁS, ou só usar querosene se a aviação é maior... Hoje, hoje você não desenvolve mais projeto baseado nisso. Você desenvolve projeto baseado em análise de custo/benefício, que que eu posso reaproveitar, o que que polui menos, o que que é mais alinhado com estratégia de sustentabilidade, e... Como que eu dou o suporte, como que eu dou manutenção nisso, né?”

Porém, hoje, a aplicação de soluções sustentáveis em projetos aeronáuticos ainda tem como principal direcionador o fator custo/benefício.

“Olha... Sendo muito sincero... Eu acho que sempre a primeira análise tá voltada pra custo/benefício, mas quando a consequência da análise do custo/benefício mostra que ela pode ser viável, mudando... Mudando material, quebrando paradigma, fazendo coisa nova, começa-se ter um apelo de custo/benefício, mas uma história bonita pra contar. E aí, as pessoas começam a ver valor, não só no custo/benefício, mas na história. Fala assim... “Olha, eu tenho o melhor custo/benefício quando eu uso um etanol, mas eu também estou poluindo menos, eu também...” Então, aí começa naquela... Aquela questão de cartilha de sustentabilidade, né? Que as empresas adicionam hoje no marketing, adicionam na maneira que elas se posicionam pro mercado, elas começam a não levar só um discurso de custo/benefício, mas também levar um discurso de sustentabilidade.”

Felizmente, a indústria parece estar passando por um período de transição para uma nova fase onde a sustentabilidade deixará de ser um fator de projeto consequente e passa a ser considerado requisito.

“Isso é uma fase de transição que a gente tá passando, né? A gente tá numa geração que começa a dar mais valor pra sustentabilidade e não só pro custo/benefício. Eu acho que as próximas gerações já vão ter como prioridade a sustentabilidade e o custo/benefício vai ser algo a mais ali, né? A gente ainda não tomava uma decisão por priorizar sustentabilidade, tomava uma decisão por priorizar custo/benefício. Por consequência, adicionava sustentabilidade e contava uma história bonita... E agora isso tá mudando, né? Agora, é... Enfim, a humanidade tá mudando com relação a isso, né? As pessoas não querem, é... Não querem mais alimento que não seja produzido com

sustentabilidade, não querem mais vestir algo que não seja feito com responsabilidade e sustentabilidade, não querem mais carro assim... Avião não vai ser diferente, né? Então, isso, devagarzinho vai sendo valor, né? E, daqui a pouco, vai ser por opção mesmo, acho, né? Não vai ser por, simplesmente, grana.”

O Participante C acredita que a indústria aeronáutica irá mudar sua visão sobre a sustentabilidade e adotá-la como fator essencial de projeto daqui a mais uma geração, ou seja, quando os atuais engenheiros júniores e plenos se tornarem responsáveis por comandarem a execução de projetos.

“O daqui a pouco pra mim é quando os engenheiros que estão se formando, é... Ou recém-formados... Vão estar no mercado como responsáveis por desenvolvimento de novos projetos, né? A gente tá numa transição aonde a gente pega a turma que, é... Formou a referência, né? As literaturas e fez os cálculos e viu viabilidade... Transformou o projeto em produto e colocou no mercado. Essa turma tá recebendo, aí, a turma que tá formando hoje, que tem essa pegada, que se preocupa com isso, e essa transição vai acontecendo. A hora que essa turma, que tem essa pegada, assumir e começar a contratar os estagiários deles, esses estagiários vão vir e falar assim... “Nós estamos falando de sustentabilidade? Então deixa comigo o projeto.”. Então, vai ser... Eu acho que mais uma geração de... E aí, o ciclo da geração não é o ciclo de formação, né? De cinco anos, seis anos, sete anos... Não esse ciclo... Mas, o ciclo da geração, a tua geração, por exemplo, quando a tua geração for cabeça, tomador de decisão, é... De um projeto, desenvolvimento de projetos, né? Pesquisador, você vai desenvolver um projeto do zero, a partir de hoje, você é a engenheira responsável por esse projeto... Você vai olhar pra isso, né? O estagiário que você trouxe, os outros engenheiros que você trouxe do mercado, novos, pra falar de inovação, essa galera vai olhar pra isso. Eu acho que é rápido. Pensando em aviação é rápido porque a gente ainda faz na

*aviação coisa da década de sessenta, cinquenta, vai... É...
Inclusive, em base de certificação, tudo mais...”*

Os atuais gerentes de programas têm uma visão tradicional sobre o PDP aeronáutico. A inovação, por exemplo, quanto ao uso de materiais alternativos, ainda é vista como um processo de tentativas e erros que, na maioria das vezes, não é adotado por esses gerentes que tendem a optar por soluções que já deram certo no mercado, tem a confiança dele. Assim, a tomada de decisões voltadas ao uso exclusivo de materiais tradicionais e a falta de incentivo à busca por novos materiais podem ser uma barreira para a evolução da adoção de práticas sustentáveis no desenvolvimento de aeronaves.

“Mas, eu acho que essa geração nova... Porque quando você fala de materiais, é... Pra geração que desenvolveu lá atrás, eles não querem fazer tentativa e erro e eles não querem, muitas vezes, inovar se a inovação não tiver diretamente relacionada a custo/benefício, né? Porque eles querem... Eles sabem o que já deu certo no mercado, eles confiam naquilo... Eles querem confiabilidade, e segue o fluxo assim... Não vamos sair muito do campo, né? É... Você pega a nova geração, eles querem desafio de, justamente, falar assim... “Deixa eu ver... Por que que a gente não usa uma liga diferente?”. Ela é questionadora, né? E ela quer provar que essa liga diferente pode ser um negócio interessante. Ela quer provar que um material alternativo pode ser um negócio interessante. Ela quer provar que, é... Você não precisa depender de uma única indústria, né? De repente um único fabricante, é... Que tá muito voltado pro mercado norte-americano ou pro mercado canadense... Pra ficar dependente, refém, daquele cara ali pra cadeia produtiva, pra prestador de serviço, qualquer coisa assim. Então, essa provocação que essa galera faz, esse questionamento, o porquê assim? Por que ser tradicional? Por que não inovar? Agora ela é questionamento, daqui a pouco ela vai ser decisão. Vocês tão vivendo a geração de questionar isso... Da galera mais, é... Mais madura, digamos assim, né? Mais experiente. Daqui a pouco vai ter uma outra

galera nova questionando coisas que vocês questionaram e não fizeram ainda. Então acho que vai ter... Vai ter muita mudança.”

Apesar de certo conservadorismo por parte dos gestores do PDP da indústria aeronáutica no que diz respeito à adoção de inovação, as tendências de mercado apontam que o consumidor tem optado por produtos que adotam soluções mais tecnológicas. Assim, o interesse pelas ações circulares de otimização e virtualização se mostra em grande ascensão.

“Agora os caras já querem... Eu quero um carro que eu só entro, sento, abro o aplicativo... E tá rolando, né? E você vê isso acontecendo na Europa, você vê isso acontecendo nos EUA... Daqui a pouco vira realidade, daqui a pouco a hora que isso tornar popular, acabou... Essa indústria vai ter que se transformar, e... E aí, qual que é a preocupação hoje dessa indústria? Aí ela tem que se preocupar em segurança pra isso... Aí, base de certificação pra isso muda... E aí quando você coloca tudo isso num contexto, o cara já não faz mais o carro que ele faria, né? E não... Acho que não vai ser diferente na aviação.”

O uso de novas tecnologias, drones, em substituição ao uso de aeronaves na prestação de alguns serviços que demandam operações aéreas são uma realidade na indústria aeronáutica. A adoção desse tipo de solução tem se mostrado mais eficiente em diversos aspectos, também no quesito sustentabilidade ambiental. Assim, para o Participante C, esse tipo de iniciativa está validado pelo mercado e não retorna ao *status* anterior.

“Um caminho sem volta eu vejo, né? Assim, primeiro, tudo que diz respeito a serviços de imagem, de comunicação, tá cada vez mais relacionado à ambiente virtual, né? A compactar, aquilo que traz, que gera a informação, a fonte geradora daquilo... Seja de dados, seja de imagem, né? Então, tá cada vez mais compacto. É... Então, cada vez mais, a tecnologia busca aumentar a resolução e compactar o hardware que entrega aquilo, depois, é... Uma análise de viabilidade de custo daquilo, né? De fazer a operação daquilo... Você decolar um avião pra fazer imagem fotográfica é algo caro demais, né? E, depois, à medida que as

tecnologias nascem, e começa lá com drone brinquedo, aí de repente bota uma câmera nesse drone brinquedo, aí de repente evoluem a qualidade dessa câmera, de repente começa a fazer algo que consegue comunicar com satélite, aí avança em antena, avança em comunicação, avança em bateria, avança em autonomia, cria-se ambiente de software que aprende, né? Sozinho, né? Vai começando a ter inteligência artificial em cima disso... É um caminho sem volta porque começa a entregar melhor qualidade, eficiência de tempo maior, custo/benefício maior e começa minimizar outros riscos também, né? Se você pensar na atuação de um drone numa lavoura, se você tem um problema técnico e acontece um incidente ou um acidente, é da proporção que o tamanho de um drone pode causar. Se você pensar, pra mesma coisa, num avião ou um VANT, o impacto certamente seria maior, e...”

A aviação agrícola é um dos setores da indústria aeronáutica que tem se modernizado rapidamente. A cada dia, aumentam as soluções voltadas a otimização dos processos e virtualização do controle das operações, sendo que, o mercado consumidor já se adaptou ao uso de facilidades trazidas pela aplicação dessas iniciativas de EC.

“Se você quiser fazer um arremate utilizando drone ou aplicar em área que é difícil acesso pra aeronave já se faz com drone. Então, o mercado consumidor já se adaptou? Já consome isso. Consome e cada ano que passa só aumenta o nível de tecnologia. O agronegócio hoje, o agronegócio antes era extremamente tradicional, é... Hoje, é uma indústria a céu aberto que tem muito processo, melhoria contínua e muita tecnologia, muita tecnologia, né?”

Quanto à adoção de novas tecnologias que favoreçam a implantação de práticas sustentáveis no processo de desenvolvimento de aeronaves, ainda existe uma grande barreira: a certificação dessas soluções. Hoje, a evolução das tecnologias aplicadas tem acontecido

rapidamente e a certificação desses produtos/processos ainda tem seus requisitos baseados em antigas plataformas.

“O que eu acho que falta é conseguir, como a gente tá numa transição, você tem... Você tem conceito base de certificação e ambiente de auditoria disso ainda numa plataforma antiga. Feito e voltado pra o que foi desenvolvido no passado, então, precisa nascer essa nova base de certificação e essa nova forma de auditar pra atualizar. Pra você conseguir olhar pro que tem, que foi feito pra trás, né? Tecnologias anteriores... Conseguir monitorar as atuais e pensar que o futuro é, amanheceu o dia é futuro, então... Todo dia coisa nova acontecendo, né?”

Outro ponto interessante destacado pelo Participante C é a questão da relação entre o conceito de segurança que a indústria aeronáutica tem como maior diretriz e a inovação, adoção de mudanças. O conceito de segurança mesmo que ainda seja adotado como direcionador nos projetos de aeronaves, também tem sofrido mudanças quanto à sua definição e percepção por parte dos usuários desse meio de transporte.

“Nesse confronto de segurança e de mudança. Mudança de materiais, mudança de combustíveis... Eu acho que é uma questão cultural. É... Tem uma máxima no ambiente corporativo, aí, que fala que a cultura come a estratégia no café da manhã, né? É... Não adianta você ter uma excelente estratégia se você não conseguir aculturar aquilo... Sua estratégia vai por água abaixo. E eu acho que é uma questão cultural. Segurança, há pouco tempo atrás, em veículo automotivo, era cinto de segurança... Hoje é airbag, ABS e câmeras... É um contexto, já não é mais uma coisa que te prende e te segura... É um conjunto de fatores, é... E que tem inovação no meio, né? No sistema de segurança. Segurança hoje é um conjunto não é mais uma coisa só. Eu acho que na aviação não vai ser diferente...”

No cenário de implantação de mudanças nos produtos, uma das iniciativas de EC bastante praticada pela indústria aeronáutica é a revitalização. Aeronaves com mais de 50 anos de uso sendo atualizadas para que tenham seu ciclo de vida expandido e eficiência melhorada.

“Eu vejo muito, assim, revitalização... Então, você tinha um avião antigo, hoje você consegue atualizar motorização, você consegue atualizar painel, você consegue atualizar interiores, você consegue agregar até algumas carenagens que melhoram a eficiência, e... Isso tem lá o Black Hawk lá pro King Air, teve revitalização dos aviões brasileiros turboélices, da década de 70, da Força Aérea...”

Já sobre o fim do ciclo de vida dos produtos, o Participante C apontou iniciativas de EC entre a indústria aeronáutica e indústria de outros setores, bem como, a participação de consumidores finais no processo de descarte desses produtos através da aquisição direta de partes e componentes para fins pessoais.

“E outros reaproveitamentos... Reaproveitamento mais óbvio como pegar uma sucata com alumínio aeronáutico, derreter e fazer qualquer outra coisa de alumínio, considerando a mesma liga... Até um ambiente de design, onde as pessoas hoje acham superlegal ter uma hélice em casa como enfeite, ter uma mesa com uma poltrona que é poltrona de avião, enfim, tem... Tem ambiente de design tanto voltado pra escritório quanto voltado pra casa, quem tem hobby, no segmento de aproveitar.”

A indústria aeronáutica enfrenta ainda uma barreira para a adoção de soluções circulares na fase de fim de vida das aeronaves, o baixo volume.

“Quebra uma carenagem, você vai trocar a carenagem inteira, só que é muito pouco a sobra do material de uma determinada carenagem pra você ir lá, colocar aquilo dentro de uma indústria e reciclar. Então, ele acaba entrando dentro de uma reciclagem geral, né? O cara tem ali, se é fibra a questão, ele tem outras fibras. Ele tem desde o negocinho lá antigo do telefone, a

máquina de lavar, uma peça de carro, uma peça de avião... Tudo mais ou menos no mesmo balaio ali pra moer e reciclar. Não... Você não consegue, hoje você não tem volume, pra você criar um ambiente de reciclagem específico de aviação, que só trata itens de aviação. Não tem volume que justifica isso. Mas já é reciclado, né? Já acontece bastante.”

No cenário de aviação brasileira, isso se torna ainda mais grave. O volume de aeronaves, se comparado com aquele presente em outros países até menores, é muito pequeno. Assim, iniciativas como reaproveitamento e reciclagem individual e qualificada de materiais são prejudicadas pela falta de resíduos em grandes quantidades.

“A viabilidade dessas coisas tá sempre baseada em volume, né? Se você pegar, fizer uma análise de frota, os EUA têm 200mil aeronaves operando, o Brasil tem 20, né? Então, nós temos 10% da frota de um país que, se você olhar, analisar do ponto de vista territorial, a gente deveria estar muito melhor atendido em número de aviões, né? Ter um volume maior... Aí, você pega a Europa, por exemplo, por uma questão territorial, tem uma frota que já tá, é... Supri, né? Tá sobrando. Então, o que acontece é que, por ter volume, você justifica investimentos pra reaproveitamento daquilo, né? E você tem sempre oportunidade de inovação dessa frota, né? No Brasil, você pega... Tem avião que, sei lá, da década de 50, 60, aí que começou uma operação executiva, se transformou em táxi aéreo, que se transformou... Foi sucateando, né? Se transformou em garimpo, foi se transformando, foi se transformando e, de repente, esses avião tão na mão de um aeroclube hoje dando instrução, de repente, esses aviões tão na mão de alguém que tem hobby e preferiu comprar um avião antigo por saudosismo mesmo, é... Tá na mão de pequenas coleções, né? Museus... Então, eu acho que é uma questão de oportunidade. Fora é muito mais viável por uma questão de volume, volume e oportunidade. Você tem oportunidade fora porque você tem volume, né? Você trabalhar

ambiente de investimento pra reciclar... Um ambiente em que você tem 200mil aeronaves é diferente do ambiente em que você tem 20mil. Acho que isso vai mudar no Brasil... A tendência da frota brasileira é aumentar muito. É... Eu acho que o Brasil, o Brasil tem a terceira frota, é EUA, Canadá e depois Brasil... O Brasil deverá chegar na segunda frota rápido... É... Por pouca estabilidade econômica, o Brasil já aumenta consumo de várias coisas, no avião não é diferente e eu acho que o Brasil tem lutado muito.”

Além disso, a frota brasileira é antiga se comparada àquela operante em outros países. Dessa maneira, sem a entrada de novos produtos no mercado, essas aeronaves não saem de operação e faltam oportunidades para reciclar.

“No Brasil, você tem aviação antiga muito operando, ainda. Você tem pouco volume de descarte e de sucatear pra viabilizar reciclar tanto. Então, eu acho que isso está diretamente ligado a volume, é o volume que faz a oportunidade. O Brasil tem muita habilidade com aviação, tem muito know how e tem lutado muito pra colocar coisas novas no mercado. Quando isso se tornar realidade, eu acho que a aviação cresce aqui, bastante, e aí daqui algum tempo a gente vai ter a oportunidade de reciclar mais porque vai ter volume que justifica.”

A questão de oferta também é importante no processo de transição das empresas de um processo linear para um processo circular. A adoção de iniciativas de EC é facilitada quando o ambiente favorece práticas sustentáveis, por exemplo, através de financiamentos para a investigação e aplicação deste tipo de solução. O acesso facilitado ao uso desse transporte também populariza os produtos aeronáuticos, fazendo com que esse mercado se expanda e tenha seu volume aumentado de forma a viabilizar a adoção de alguns dos processos circulares. Nesses dois quesitos, a indústria brasileira também enfrenta maiores barreiras que aquelas localizadas e operantes no exterior.

“E a questão da oferta e o uso, né? EUA você tem... Uma questão de juros diferente, você tem uma questão de acesso a crédito

diferente, você tem uma questão de acesso à formação diferente, com custo diferente... Toda família tem um piloto, então, é fácil o cara ter um avião de hobby que seja, ou ter um avião que atenda à família ou, enfim, se precisar de um táxi aéreo, eventualmente, na... Se não, no bairro dele tem uma pista, uma operação, tem na cidade dele. No Brasil, isso não é uma realidade.”

A questão cultural tem grande influência sobre as mudanças aplicadas ao processo de desenvolvimento de produtos. A forma como os consumidores veem a importância de práticas sustentáveis, como o reaproveitamento, aplicadas aos produtos e processos faz com que a indústria caminhe em um sentido favorável à transição de um processo de produção e consumo linear para circular.

“O reaproveitamento é uma questão cultural, também, né? Porque as sobras que são matérias, elas passam a ser reaproveitadas não só na indústria, mas em casa, né? As pessoas tão reciclando, é... É moda, agora, você comprar usado, usar usado... Brechó, enfim... Então, as pessoas estão entendendo que, desperdiçar é falta de inteligência de uma maneira geral, né? De inteligência de negócio, de necessidade e tudo. Então, eu acho que isso, principalmente essa geração nova, que vem... Já vem com cabeça de Lean, o cara sai da faculdade com cabeça de Lean... Vai ver o Lean na prática ali, a hora que ele entra no primeiro emprego, no primeiro estágio, tudo... Mas ele sai com referência disso, né? Tende a diminuir consumo, sempre... Tende a aumentar produtividade, sempre... Tende a pegar qualquer coisa que sobrou e transformar em valor agregado, seja naquele produto, seja em qualquer outra coisa na cadeia produtiva... Eu acho que isso é... Nós estamos vivendo isso, né? A tendência é só melhorar.”

O preconceito sobre algumas das práticas pode impactar de forma negativa a transição para a circularidade. Assim, a evolução pode ser retardada devido à não aceitação, por parte do

mercado, de uso de alguns processos, tecnologias e materiais alternativos àqueles já conhecidos na indústria aeronáutica.

“Muitas coisas que eram feitas... Métodos tradicionais antigos pra ensaio e vários tipos de ensaios... Muitas coisas que demandavam horas de túnel de vento pra se chegar à conclusão, tomar a decisão, hoje estão tudo em ambiente de software, né? Também já é uma realidade e tem só evoluído nesse sentido. Você consegue chegar com um software em resultados muito próximos de reais, se não, até resultados reais ou melhores do que praticado por métodos tradicionais e mitigar um monte de riscos, pular um monte de etapa, né? Há muita eficiência em projeto, em desenvolvimento de projeto... Algumas coisas ainda se mantêm tradicional porque o mercado tem preconceito e quer ver, não que fosse uma necessidade real do ponto de vista de engenharia, né? A engenharia tem tranquilidade de tomar decisões, hoje, baseada em dados, baseada em software, ambiente virtual, mas nem sempre ela toma essa decisão só com isso, ela acaba fazendo uma redundância com ensaios tradicionais por conta de preconceito do mercado mesmo... Mas isso vai acabar. Em pouco tempo, eu acho que vai acabar.”

Por outro lado, a adoção de práticas de EC pode ser vinculada ao aumento de segurança nas operações, assim, sendo vista como facilitadora pelo mercado consumidor.

“Pro ambiente operacional, que se tinha muita coisa analógica, é tudo digital... Hoje, já é uma realidade... Então, o cara faz o plano de voo pelo iPad, consegue fazer uma análise de rota pelo iPad, a melhor opção... Tudo isso ele faz pré voo, ele nem tá dentro do avião e tá acontecendo tudo isso, né? E na hora que ele tá no avião, ele tá preocupado... Ele não tá preocupado com preparar o voo... Ele tá preocupado com homem-máquina, né? Muda um pouco.”

A maneira como a informação é transmitida também impacta, diretamente, a percepção do mercado quanto à aplicação de novas tecnologias e adoção de soluções inovadoras. Para iniciativas vinculadas a ações circulares, isso não é diferente. A impressão 3D, o uso desta tecnologia da indústria aeronáutica, é um exemplo disso.

“A questão da impressora 3D, assim... Eu acho que é questão de tempo e cultura, também, né? Eu acho que, à medida que... Se você chamar de impressora 3D e as pessoas têm aquela imagem daquela impressorinha fazendo, lá, uma bolinha, um bonequinho, um aviãozinho, vai ter preconceito. Mas se você entrar... Você não chama de impressora 3D, mas entra num ambiente industrial e fala assim, ó... Essa daqui... Esse é o robô ou, essa é a máquina que desenvolve esse componente a partir dessa liga ou, a partir desse composto... E esse componente segue nessa linha, e é ensaiado aqui com um carregamento tal, assim, assim, assado... Se a maneira de contar a história muda, o preconceito diminui. Não deixa de ser uma impressora 3D... Eu acho que o preconceito tá mais relacionado à forma que é apresentada e não a o que que tá fazendo, né? Se é um robô, se é uma impressora 3D que tá fazendo. Se você conta a mesma história e chama aquilo de robô, o cara vai falar assim... “Nossa, super tecnológico, esse negócio é TOP demais, eu acredito e confio.”. Se você chamar a mesma coisa de impressora 3D, ele vai falar... “Deixa eu ver melhor isso...”. Eu acho que é só a maneira como é contada a história.”

Existe ainda as questões de custo e validação por parte das agências regulatórias. A adoção de ações de otimização e virtualização podem trazer maior economia quando comparados os processos com aqueles realizados usando produtos e operações físicos. Novos processos fazem com que seja necessária adaptação das bases regulatórias para avaliação desses novos parâmetros.

“Eu, o que eu vejo hoje é que, cada vez mais, um ensaio, um resultado, um cálculo, uma análise de viabilidade, sendo feito no ambiente virtual. Menos... Ganhando eficiência, né? De tempo

pro desenvolvimento, eventualmente, até custando menos e trazendo dados mais precisos. Eu acho que você consegue, pra algumas questões, apurar resultados bem, bem melhores, do que métodos tradicionais. Eu acho que isso não volta. A tendência é... A hora que mudar, a hora que aculturar isso daí, acho que as bases de certificações vão estar muito relacionadas a entregar dados que comprovam. Você vê isso hoje no ambiente, na estrutura bancária, por exemplo, né? Você vê ambiente de... Quando que um fundo, por exemplo, toma uma decisão de validar que o processo de uma determinada empresa lá pra uma valuation, pra ele entrar como investidor, é viável? Quando tem Lean, quando tem SAP, quando tem as ISOs da vida... Só que tudo isso, hoje, tá baseado em que? Prática de que? Ambiente virtual... Processo... Não tá mais baseado em o cara testar pra ver se quebra botando peso em cima, então, isso é um caminho sem volta. E já tá muito avançado, né? Acho que só vai... Só vai melhorar. Acho que vai virtualizar cada vez mais.”

Outra característica particular da indústria aeronáutica é o fato de que ela possui requisitos e adota critérios bastante distintos de desenvolvimento de seus produtos, de acordo com a categoria regulatória da qual as aeronaves fazem parte, por exemplo, aviação certificada ou experimental. Assim, algumas das iniciativas de EC são mais aplicáveis à aviação experimental que possui requisitos menos complexos a serem cumpridos sobre fabricação, teste e operação dos produtos para que seja inserido no mercado. São exemplos disso os reaproveitamentos diversos que ocorrem dentro da própria indústria aeronáutica e entre essa e outras indústrias, ainda não passíveis de certificação, porém operando na aviação experimental.

“E outros reaproveitamentos... E, até, até as traquitanas que voam por aí, né? Que pega peça de uma coisa com peça de outra e faz um experimental puro e opera, né? Ou coisas que não são aeronáuticas e transformam em aeronáutica, né? O cara pega um motor Volkswagen, lá... Pega um motor Honda... E faz algumas modificações e transforma num motor aeronáutico, acontece... Na aviação experimental tem um leque muito grande disso, de

acontecer. É... Na aviação certificada já não. Então, tem bastante, né? Reaproveitamento é uma prática.”

Além das mudanças no que diz respeito ao produto, o terceiro *workshop* mostrou que na indústria aeronáutica, assim como em outras indústrias, o mercado tem adotado uma nova tendência de consumo: servitização. Ou seja, o desejo do consumidor tem mudado de querer possuir para querer ter o direito de uso.

“A gente vê... A indústria automobilística, por exemplo, vivendo uma grande, acho que crise existencial, até. Porque as pessoas não querem ter mais carro, elas querem ter o direito de uso. Isso é uma mudança De modelo de consumo, né? Hoje, as pessoas não querem... Elas querem ter o direito de uso das coisas, elas não querem necessariamente ter as coisas, né? Então, assim, alguém pode comprar um avião por realização pessoal, mas alguém pode precisar ter o uso de uma aeronave de forma que não é... Que exige uma frequência, uma regularidade pra atender determinada demanda, seja de serviço, é... Ou de lazer, enfim, que ela não queira utilizar de linha aérea, de fretamento, né? Pra isso. Então, já existe, né? Compra compartilhada, você compra a cota de um avião e tem empresas especializadas administrando isso... E você utiliza ali baseado na sua cota, qual que... O que que ela te oferece de disponibilidade, com custo diferencial, isso acontece demais. É... E eu acho que só vai aumentar, né? A tendência é aumentar, principalmente, a questão do uso. Eu acho que, principalmente a aviação executiva e a aviação de prestação de serviços, quando não se tratar de uma realidade de realização pessoal pra pessoa adquirir, ela não vai querer o produto inteiro, ela vai querer o direito de uso daquilo. Porque você tem um avião com o potencial de operar 100 horas/mês e você tem uma demanda pra 30 horas/mês, você tá jogando tempo, dinheiro, espaço, tudo isso no lixo, né? Então, isso é... Acho que uma realidade já presente e que só vai melhorar.”

O PDP da indústria aeronáutica também tem sofrido modificações ao longo do tempo. Essa indústria tem buscado otimizar seus processos e produtos visando a redução de desperdícios. Uma característica importante apontada pelo Participante C é a definição de desperdício relacionada não só a fatores materiais, mas a tempo de execução e à falta de aplicação de soluções mais inovadoras em seus produtos, desperdício de oportunidade de mercado. Dessa forma, a adoção de estratégias circulares voltadas à otimização mostra-se de grande importância.

“O que eu vejo é o seguinte... A manufatura, hoje, ela não aceita e não tem mais espaço pra desperdício. Não tem espaço mais pra desperdício e desperdício, antigamente, era só aquilo que você joga fora... Hoje, desperdício é tempo... Hoje, desperdício é qualidade de vida, é sustentabilidade, é inovação... Se você não está inovando, você está desperdiçando. Você tem um projeto que não é inovador, a chance de risco de mercado, dele nascer morto, é grande... É... Aquilo que você tá produzindo hoje já tá obsoleto com relação ao que você tá entregando pro mercado versus a expectativa que o mercado tem de receber, então, não tem mais espaço pra isso. A gente vai sempre estar eliminando desperdício em todas as frentes.

Por fim, a velocidade com que a indústria adota algumas das iniciativas de EC em seus processos está diretamente relacionada ao posicionamento do mercado consumidor. A indústria aeronáutica adota práticas circulares em seu PDP, atualmente. À medida que o mercado consumidor percebe valor nesse tipo de iniciativa, esse cenário evolui.

“Tudo isso já é, já é... Aspecto de sustentabilidade rolando na aviação. Então, vai acontecer, né? E a indústria, ela... Ela observa comportamento de consumo do mercado, oportunidade de produzir com custo/benefício melhor, eliminando desperdício, né? Tem toda essa melhoria contínua... E ela tá sempre atenta à inovação. Que que eu vou aplicar? O que que tá sendo aplicado em outros segmentos que eu posso aproveitar pro meu, que vai agregar valor, que o cliente percebe valor? Hoje, as pessoas

percebem valor naquilo que está relacionado a custo/benefício, mas já se agrega custo/benefício com saúde, com qualidade de vida, é... Com conceito de bem-estar, de cuidar do outro, de cuidar das coisas... À medida que esses valores vão sendo mais percebidos pelas pessoas, vão se tornando cultura, eles passam a se tornar pessoas dispostas a pagarem por ter aquilo quando adquire um serviço ou produto. Então, ninguém quer mais só um serviço de transporte, né? Ninguém quer mais só sair de um ponto e ir pra outro. As pessoas querem aquilo com qualidade, querem aquilo com experiência, querem aquilo com outros valores, né? Então, é levado em consideração praticidade, é levado em consideração saúde, é levado em consideração N fatores que não eram... Que, antigamente, era só relação custo/benefício. Então, assim, não vejo a aviação desvinculada de sustentabilidade e nem tão distante. Na verdade, já tá acontecendo... Eu só acho que vai evoluir bastante, especialmente, quando for uma mudança de geração, aí... Que a próxima geração for a geração que tá desenvolvendo o que o mercado vai estar consumindo.”

4.4 Elaboração do Framework

Após reunir as informações necessárias, o *framework* teórico foi revisitado e ajustado de acordo com o novo cenário. Para composição do *framework* final, as 128 iniciativas comentadas durante a realização dos *workshops* foram agrupadas por equivalência e/ou similaridade, resultando em 91 conjuntos de práticas adotadas pela indústria aeronáutica.

Dessa forma, as iniciativas foram distribuídas nas 9 fases do PDP, de acordo com o momento proposto para sua execução, como mostrado no *framework* apresentado no Quadro 14. Também, com o objetivo de facilitar o entendimento e a visualização do *framework*, este foi apresentado de maneira ilustrativa no Apêndice 4 deste trabalho.

Quadro 14. *Framework* de iniciativas de EC após análise empírica.

PRÉ Fase 1: Planejamento Estratégico dos Produtos	Regenerar	Necessidade de realização de parcerias de P&D para o desenvolvimento de combustíveis alternativos.
	Regenerar/Trocar	Necessidade de realização de parcerias de P&D para o desenvolvimento de UAVs elétricos.
		Necessidade de realização de parcerias de P&D para o desenvolvimento de produtos com fibras de fontes renováveis.
	Compartilhar/Otimizar/Ciclar	Certificação de construção sustentável (LEED) das fábricas de aeronaves e edifícios administrativos.
		Pré-projeto de construção ambientalmente sustentável para fábricas de aeronaves.
PRÉ Fase 2: Planejamento Projeto	Compartilhar	Avaliação de todo o ciclo de vida da aeronave.
	Compartilhar/Otimizar	Sistema de gestão de produtos, comunização e rastreabilidade de partes e componentes da aeronave.
		Reaproveitamento de plataformas de produtos para o desenvolvimento de novos produtos.
	Compartilhar/Ciclar	Alocação de fornecedores dentro ou próxima da empresa fabricante de aeronaves.
	Compartilhar/Ciclar/Trocar	Criação de <i>pull</i> de peças (estoques) em pontos estratégicos para entrega e troca de peças com transporte otimizado.
	Compartilhar/Trocar	Criação de grupo DFX para análise de todos os <i>design for...</i>
DESENVOLVIMENTO Fase 3: Projeto Informacional	Compartilhar/Otimizar/Virtualizar	Necessidade de desenvolvimento de indústria 4.0: projeto e construção de fábricas flexíveis/customizáveis de aeronaves.
	Regenerar/Trocar	Pesquisas sobre células de combustível.
	Compartilhar/Trocar	Introdução de análise de ciclo de vida completo da aeronave e aplicação de conceitos de <i>design</i> ainda em fase de projeto.
		Parceria com fornecedores para identificação do uso de substâncias perigosas e substituição por produtos alternativos.
	Trocar	Uso de impressão 3D em pequenos protótipos de validação pré-projeto de <i>design</i> .

DESENVOLVIMENTO Fase 4: Projeto Conceitual	Regenerar	Aviões operando com substituição completa de combustíveis fósseis por combustíveis alternativos e mais sustentáveis (etanol/ biocombustíveis).
		Desenvolvimento de biocombustível à base de cana-de-açúcar.
	Regenerar/Trocar	Projeto Avião Mais Elétrico, uso de motores elétricos como motorização auxiliar e primária em aeronaves.
		Uso de motores elétricos como motorização primária em UAVs e drones tripulados.
		Projeto Aeronave Silenciosa, troca de motorização para outros mais eficientes quanto a emissão de ruídos.
	Regenerar/Otimizar/Trocar	Motores modificados de outras indústrias, uso de combustíveis alternativos e maior eficiência na razão peso/potência.
	Compartilhar/Otimizar	Projeto de aeronaves, partes e componentes otimizados e mais duráveis.
		Criação de PNs alternativos, <i>design</i> de aeronaves para similaridade de peças no projeto para redução do número de PNs e compatibilidade entre diferentes produtos e/ou áreas do avião.
	Compartilhar/Ciclar	Reforma e transformação de produtos de outras indústrias para uso aeronáutico na aviação experimental.
	Ciclar/Trocar	Projeto de aeronaves e seleção de materiais para reciclagem.
	Otimizar/Trocar	Uso de novas tecnologias de manufatura e materiais compósitos em carenagens e partes aerodinâmicas da aeronave.
	Trocar	<i>Design</i> de interior de aeronaves p/ desmontagem e modularidade e uso de materiais alternativos.
		Desenvolvimento de aviões com fuselagem 100% em material compósito.
		Substituição de materiais não renováveis antigos por outros mais avançados e sustentáveis.

DESENVOLVIMENTO Fase 5: Projeto Detalhado	Compartilhar/Ciclar	Mapeamento detalhado de itens e substâncias críticas ambientalmente presentes no projeto da aeronave.
	Compartilhar/Otimizar/Virtualizar	Necessidade de desenvolvimento de indústria 4.0: simulação fabril e análise de processos em ambiente virtual.
	Otimizar	Uso de cadeia de simulações computacionais para redução de fator de segurança em cálculo estrutural de projeto.
		Uso de <i>software</i> para cálculo de aproveitamento máximo de blocos de alumínio.
		Projeto de otimização de cablagem e componentes elétricos de aeronaves.
	Otimizar/Virtualizar	Uso de <i>software</i> de análise prévia de desmontagem e simulação de manufatura, processos de manutenção de aeronaves e ergonomia de operadores.
		Uso de realidade virtual por óculos para análise do projeto total da aeronave, instalação de sistemas, processos de fabricação e manutenção.
	Otimizar/Trocar	Eliminação de partes em montagens e redução de densidade por troca de materiais.
		Uso de <i>software</i> para identificação/mapeamento da aplicação de substâncias químicas perigosas nas aeronaves.
		Uso de simulações computacionais para otimização da fabricação e redução de massa por troca de materiais.
	Otimizar/Virtualizar/Trocar	Substituição de aparelhos analógicos por aparelhos digitais no painel das aeronaves e inserção de novas práticas digitais como o plano de voo por iPad.

DESENVOLVIMENTO Fase 6: Preparação Produção	Compartilhar/Otimizar/Trocar	Uso de novas tecnologias em ferramentais como os ferramentais flexíveis e reconfiguráveis.
	Compartilhar/Otimizar/Virtualizar	Necessidade de desenvolvimento de indústria 4.0: automação de fábricas de aeronaves.
		Uso de ambiente de controle técnico de manutenção de aeronaves em parque fabril automatizado genérico.
	Otimizar/Trocar	Uso de novas tecnologias de manufatura e materiais como troca de peças metálicas rebitadas por peças termoplásticas.
		Substituição de processos convencionais por novas tecnologias para redução como <i>friction stir welding environmental</i> .
		Pintura robotizada de aeronaves e redução de produtos químicos.
		Substituição de processos convencionais por novas tecnologias de tratamento superficial.
		Substituição de processo de usinagem química por processo de usinagem convencional com fresa
		Substituição de processos convencionais por novas tecnologias de montagem para redução de peças e ferramentais: <i>robot snake</i> .
	Otimizar/Virtualizar	Substituição do <i>mockup</i> físico por (<i>digital mockup unit</i> (DMU)).
		Uso de <i>softwares</i> de simulação computacional em substituição à realização de ensaios em voo.
		Substituição de roteiros de produção/manutenção em papel por roteiros digitais e uso de <i>tablets</i> e estações de computadores na execução de atividades em ambientes de produção e manutenção de aeronaves.
	Otimizar/Virtualizar/Trocar	Uso de robôs para movimentação de partes que compõem e suportam uma montagem.
	Trocar	Uso de impressão 3D em partes e componentes secundários da aeronave.
		Uso de impressão 3D para a construção de <i>mockups</i> .
DESENVOLVIMENTO Fase 7: Lançamento do Produto	Otimizar	Otimização de espaço e uso de modelagem matemática para cálculo avançado de problema de transporte.
	Otimizar/Trocar	Projetos de redução de embalagens – otimização de espaço físico e troca de material de madeira para metal; eliminação de descarte múltiplo e troca de materiais diversos para PVC; troca de embalagem descartável por equipamento permanente de fixação e movimentação de peças.
	Otimizar/Virtualizar	Substituição da documentação da aeronave em papel por documentação digital.

PÓS Fase 8: Acompanhar Produto/Processo	Regenerar/Trocar	Troca de motorização de aeronaves para motores mais eficientes quanto à emissão de GEE.
		Melhorias aerodinâmicas no projeto da aeronave para menor emissão de GEE e redução de consumo.
		Reprojeto/modificação de aeronaves atuais para redução de ruído
		Uso de drones elétricos para atividades de entrega de mercadorias, atividades de mapeamento de área, georreferenciamento e telemetria, geração de fotografias de alta resolução e atividades aéreas de aplicação agrícola.
	Compartilhar	<i>Leasing</i> de aeronaves e acompanhamento do ciclo de vida para trocas, manutenções e descarte.
		Compartilhamento de uso de aeronaves executivas entre diferentes pessoas.
		Compartilhamento de uma operação de aeronave comercial para diferentes fins e serviços.
	Compartilhar/Otimizar	Aluguel de componentes e acompanhamento do ciclo de vida para trocas, manutenções e descarte.
	Compartilhar/Trocar	Revitalização, atualização, manutenção e reparo de aeronaves e partes.
	Compartilhar/Ciclar	Revenda de aeronaves para diversos setores/operações da aviação e para outros mercados durante todo o ciclo de vida.
	Compartilhar/Ciclar/Trocar	Modificação de aeronaves antigas e transformação de aeronave para diversas configurações de operação.
	Otimizar/Virtualizar	Uso de <i>software</i> para <i>scanner</i> e análise de avarias em aeronaves para análise de engenharia.
		Acompanhamento remoto de operações aéreas feitas por passageiros através de relógios/computadores de pulso digitais.
	Otimizar/Virtualizar/Trocar	Substituição de <i>tickets</i> , documentos operacionais e processos de <i>check-in</i> para digitais.
		Mapeamento de dados, direcionamento e controle de operações aéreas gerais de aplicação agrícola e visualização de estatísticas remotamente.

PÓS Fase 9: Descontinuar Produto (fim de vida, descarte, reciclagem)	Compartilhar/Ciclar	Desmontagem de protótipos e aeronaves recebidas de clientes na troca conforme guia para desmontagem adequada de aeronaves e componentes.
		Desmanche da fuselagem com fio diamantado ao invés de tesouras de corte.
		Reciclagem de alumínio e compósito à plasma.
		Reuso de compósitos da manufatura de aeronaves e aproveitamento de sobras para a fabricação de partes de ferramentais.
		Recertificação e revenda de partes, peças de desmontagem de aeronaves e componentes como portas, trem de pouso, APU, motor e aviônica.
		Venda de peças de reuso dos protótipos para mercado aeronáutico de segunda mão.
		Venda de partes, peças e componentes de desmontagem de aeronaves para uso em outros mercados: lanchas, mobiliário, uso doméstico e de decoração.
		Reciclagem e venda de retalhos/resíduos de alumínio e material composto para uso não aeronáutico como em construção civil e automobilística.
		Concessão de aeronaves sucateadas para uso em treinamento técnico.
		Venda peças e componentes de desmontagem de aeronaves para uso em aeronaves experimentais, não certificadas.
		Esgotamento e separação de fluidos da aeronave em manutenção e fim de vida para uso em ambientes não certificados.
		Uso de aviônicos em desuso como ambientes de treinamento e bancadas de teste.
		Venda de pneus aeronáuticos para a confecção de calçados.
		Compartilhamento e reaproveitamento/reuso de mão-de-obra qualificada e suas experiências entre subáreas da aviação.
	Otimizar	Descarte de resíduos de produção como panos de aplicação de selante, cola e outros produtos químicos para incineração e geração de energia.
	Otimizar/Ciclar	Descarte de resíduos oriundos de processos de anodização de fuselagem e tratamentos superficiais.
		Reaproveitamento de ligas de alumínio aeronáutico com separação de ligas por tipo para reciclagem/reuso.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados obtidos nos *workshops* (2019).

4.5 Discussões

As 25 iniciativas de EC adotadas pela indústria aeronáutica, segundo a literatura, foram analisadas e tiveram seus resultados somados aos *workshops* nas três empresas. Durante os *workshops*, os participantes tiveram acessos e puderam comentar sobre a viabilidade das práticas identificadas na literatura no que se refere a execução no ambiente corporativo, as barreiras e os direcionados para a adoção dessas iniciativas e sobre o posicionamento da indústria aeronáutica.

Nos resultados das buscas realizadas durante a fase teórica desse trabalho foi possível observar que a energia renovável é, atualmente, um dos temas mais explorados pela literatura (BESSA et al., 2019; YAZAR, 2019; HENKE et al., 2018). O uso de novas tecnologias de propulsão foi confirmado como uma iniciativa presente na realidade das três empresas. A propulsão elétrica foi mencionada nos *workshops* como sendo alvo de muitas pesquisas, tanto como motorização auxiliar em grandes aeronaves como usada de motorização principal em aeronaves de pequeno porte, UAVs e drones. Essa tecnologia alternativa mostrou-se o futuro da aviação como solução sustentável na transformação do fornecimento de energia de energia fóssil para energia renovável. Além disso, as empresas apresentaram, durante os *workshops*, iniciativas sobre projeto ou melhoria dos sistemas de produção de energia, incluindo motorizações convencionais mais eficientes e motores avançados. Este tema já havia sido abordado na literatura (AYGUN; TURAN, 2019) e foi reforçado como uma das práticas adotadas pela indústria aeronáutica. Afinal, aeronaves em operação têm seus motores substituídos por motores mais eficientes ambientalmente ou passam por transformações para atender a requisitos de sustentabilidade.

Nesse sentido, a literatura também mostrou que esforços estão sendo feitos para melhorar o combustível de aviação que está sendo usado, o que tem o efeito de reduzir as emissões. Novos combustíveis alternativos, como aqueles produzidos a partir de materiais biológicos, podem reduzir drasticamente as emissões de CO₂ da aviação, por isso, é tema amplamente investigado na área (BWAPWA; ANANDRAJ; TROIS, 2018; BESSA et al., 2019; BESSETTE et al., 2018; DINIZ; SARGEANT; MILLAR, 2018; DODD; ORLITZKY; NELSON, 2018). Por exemplo, ao adaptar a qualidade do combustível ao *design* do motor, as aeronaves poderão produzir menos emissões por voo. Isso foi reforçado nos *workshops*, uma vez que aeronaves movidas à etanol, biodiesel e outros combustíveis alternativos já tiveram

seus motores adaptados e estão em operação. Inclusive, em alguns segmentos como na aviação experimental, por exemplo, motores não aeronáuticos também foram adaptados para esse fim e instalados em aeronaves operantes.

Assim como encontrado na literatura (MICHAILOS, 2018; RAJIANI; KOT, 2018; RASSOULINEJAD-MOUSAVID; MAO; ZHANG, 2018; CAVALETT; CHERUBINI, 2018; CHEN; REN, 2018; SÖĞÜT, 2018), o uso de combustíveis alternativos também foi apresentado nos *workshops* como sendo uma solução bastante praticada na aviação. Diversos projetos foram mencionados como a parceria com outras empresas para o desenvolvimento desses combustíveis, modificações e adaptações em sistemas de aeronaves operantes e motores para o uso dessa solução, projeto de novas aeronaves tendo essa iniciativa como requisito de pré-projeto, dentro outros. Vale a pena destacar que essa familiarização da indústria está mais ligada ao desenvolvimento e uso de biocombustíveis. Algumas outras alternativas como o uso de hidrogênio liquefeito foram descartadas pelas empresas por razões de inviabilidade econômica quando efetuada análise de custo/benefício de aplicação desta solução.

O desenvolvimento de tecnologias avançadas de combustível de aviação permite o desenvolvimento da indústria de aviação carbono-natural. Geralmente, existem vários combustíveis alternativos para aviação que podem ser selecionados como o poder das aeronaves. O relatório do MIT PARTNER Center (2009), por exemplo, demonstrou que o refinamento de algumas novas matérias-primas para alguns combustíveis de aviação alternativos produz emissões de ciclo de vida semelhantes ou levemente mais altas em comparação com o refinamento do petróleo bruto convencional. Assim, a decisão de *trade-off* entre o desempenho tecnológico, os custos, a disponibilidade, a segurança e a sustentabilidade devem ser feitos ao selecionar os combustíveis alternativos adequados para a aviação (CHEN; REN, 2018).

Como discutido, os diversos combustíveis para aviação têm desempenhos diferentes em aspectos ambientais, econômicos, sociais e funcionais. Embora os novos combustíveis de aviação alternativos possam ter desempenhos ambientais relativamente melhores, eles também podem ter um desempenho pior em alguns outros aspectos em comparação com os combustíveis de aviação tradicionais. Portanto, é difícil para as empresas aeronáuticas selecionarem o melhor ou o combustível de aviação mais adequado ao enfrentar múltiplos objetivos/critérios de

conflito, porque é um problema típico de análise de decisão de vários atributos (CHEN; REN, 2018).

Outras iniciativas que visam a redução de CO₂ encontradas na literatura (GIALOS et al., 2018; YIN et al., 2018) foram confirmadas nos *workshops*. Mudanças nas operações de aeronaves tem sido realizadas pelas empresas de várias maneiras, por exemplo, operações de prestação de serviços agrícolas agora realizadas com turbohélices ou drones ao invés de aeronaves tradicionais. Melhorias de infraestruturas também foram relatadas pelas empresas. Por exemplo, a construção das instalações sustentáveis ambientalmente, sendo realizados estudos detalhados de impactos ambientais desde o pré-projeto e preparação para obtenção de certificado LEED de sustentabilidade para as edificações, com base em conceitos como o reaproveitamento. A melhora de eficiência mediante a aquisição de tecnologia também foi confirmada pelas empresas como sendo praticada pela indústria aeronáutica. Nesse caso, a robotização foi mencionada como solução de aumento da eficiência em vários processos como pintura de aeronaves e montagem estrutural de conjuntos em regiões de difícil acesso (*robot snake*).

O uso de tecnologias para aumento de eficiência durante a fase de operação também foi elemento destacado pelos participantes nos *workshops*. Na revisão de literatura, havia sido encontrado um exemplo de iniciativa, o uso de drones comerciais elétricos para atividades como geração de fotografias de alta resolução em tempo real (PARK; LEE; CHON, 2019). Nos *workshops*, outros exemplos semelhantes foram comentados como sendo praticados pela indústria aeronáutica, tais como: uso de drones para prestação de serviços na aviação agrícola, telemetria, georreferenciamento, realização de entregas, desenvolvimento e operação de UAVs elétricos tripulados, dentre outras iniciativas. Dessa maneira, o tema se mostrou muito relevante na aviação, hoje, durante várias fases do PDP.

A mudança comportamental, explorada na literatura como tema relacionado à redução de emissões de CO₂ (YIN et al., 2018), foi apresentada nos *workshops* como uma barreira. A adoção da cultura verde e a conscientização sobre a importância de aplicação de conceitos circulares no PDP aeronáutico também foram abordadas como barreira no processo de transição de um modelo de produção e consumo linear para circular. Destacou-se que profissionais atuantes no processo de PDP aeronáutico e *stakeholders* ainda não têm adotam o tema como requisito em suas atividades e escolhas de soluções/consumo.

Outro tema relevante notado durante a execução da fase teórica dessa pesquisa foi a remanufatura de produtos e componentes somada à reciclagem de materiais, práticas que têm crescido na indústria aeroespacial (ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013; DE SOUZA et al., 2017-2018; PILLAIN et al., 2019). Nesse contexto, o uso de compósitos recebeu destaque durante os *workshops*. A indústria aeronáutica se mostrou usuária desta tecnologia como solução em diversos de seus projetos. A aplicação desses materiais está relacionada a diversas das práticas circulares encontradas na literatura, tais como: utilização de fibras naturais leves na fabricação, utilização de material sustentável para interiores de aeronaves, uso de compósitos reciclados em estruturas não-críticas de aeronaves e reciclagem de fibra de carbono de compósitos. Sobre as fibras naturais, os *workshops* mostraram que as empresas conduzem processos de pesquisa para o desenvolvimento de materiais desse tipo e que aplicações como o uso de fibra de coco em interiores de aeronaves são soluções já adotadas em projetos aeronáuticos.

A reciclagem desses materiais compósitos tem sido feita, porém, ainda não é realizada de maneira específica para partes oriundas dessa indústria, visto que, ainda não existe volume para isso. No Brasil, esse cenário é ainda mais agravado pela elevada idade da frota operante e quantidade reduzida de aeronaves disponíveis quando comparado com outros países como Canadá e EUA, os quais possuem o processo de reciclagem funcional bem definido e volume para realizá-lo de maneira eficiente. Iniciativas de reaproveitamento de resíduos compostos para uso fabril, como construção de ferramentais, foram relatadas como uma prática da indústria aeronáutica. Por outro lado, não foi confirmada nos *workshops* a iniciativa de uso de compósitos reciclados em estruturas não-críticas de aeronaves.

A literatura também tem destacado a desmontagem de aeronaves para reutilização de materiais e componentes como peças de reposição de alta qualidade (ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013). Nos *workshops* essa prática também foi observada. Métodos de desmontagem sustentável, reaproveitamento de partes e componentes através da recertificação, reutilização de fluidos oriundos do esgotamento em processos de manutenção/fim de vida em finalidades não certificáveis, venda de peças em desuso para mercado paralelo (segunda mão) e categorias como aviação experimental, dentre outras iniciativas foram mencionadas nas empresas visitadas.

Um outro resultado da literatura que foi confirmado e se mostrou ainda mais amplo nos *workshops* é a iniciativa de venda de peças de aeronaves para uso como mobiliário de escritório e para fins decorativos (ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013). Essa prática foi comentada como sendo uma realidade no mercado aeronáutico, porém, a venda de peças para outros mercados não se restringe apenas a esse uso, existindo muitos outros usos, tais como: uso de fuselagem como casco de lancha, uso de pneu de aeronaves como solado de calçados, uso de componentes como painéis e aviônicos como bancadas de treinamento, uso de aeronaves como casas e estabelecimentos comerciais (ex.: restaurantes). Dessa maneira, a indústria aeronáutica mostrou que existe extensiva interação com diversos outros mercados para o reaproveitamento de aeronaves, partes e componentes durante o PDP.

A preocupação com a redução de massa durante os projetos de aeronaves, mostrou-se um dos temas mais comuns, abordado pelos participantes como sendo dentro do processo de PDP aeronáutico um requisito já bastante difundido. No descrito nos *workshops*, “está no DNA” da indústria aeronáutica. A equipe do DIP, da Empresa 01, mostrou ter por responsabilidade avaliar soluções que levem ao cumprimento desse requisito, porém, esse requisito teve por origem o fator custo/benefício, sendo a sustentabilidade uma consequência dessa adoção, visto que, a versão leve de um avião consome menos combustível do que sua contraparte mais pesada na mesma distância, assim, reduzindo o consumo de combustível (FC) e as emissões de carbono resultantes. Uma das iniciativas relacionadas a essa é a redução da razão *buy-to-fly*, por exemplo, por meio da substituição de processos de fabricação convencionais por processos de aditivo inovadores. Processos de soldagem de conjuntos que adotam novas tecnologias e pintura robotizada de aeronaves foram processos comentados como sendo uma realidade da indústria aeronáutica voltados à redução de partes em uma montagem e espessura das camadas de tinta, respectivamente. Assim, proporcionando a redução de massa às aeronaves. A troca de materiais tradicionais por materiais avançados e mais leves também colabora para o cumprimento deste objetivo.

Um ponto abordado nos *workshops*, que não estava mencionado na literatura, trata dos critérios de projeto para diferentes tipos de aviação. A redução da razão *buy-to-fly* é uma das práticas que apresenta grande variação na forma como é avaliada como requisito durante o processo de PDP das aeronaves. Em um projeto para a aviação civil, este é um requisito bastante relacionado à aprovação das soluções que serão adotadas nos projetos, visto que, a razão *buy-to-fly* está diretamente relacionada aos custos de projeto. Na aviação de defesa, porém, um

requisito mais crítico que este é a performance, assim sendo, soluções como grandes conjuntos usinados ao invés de montagens de chapas, por exemplo, são escolhidas por serem muito superiores em performance, mesmo que, tenham uma razão muito menos eficiente. A diferente forma de avaliação deste critério durante o PDP de cada segmento da aviação fica clara por uma comparação feita durante os *workshops*: uma aeronave de defesa tendo em torno de 2 a 3% só do material utilizado na usinagem dele enquanto para um avião comercial, essa utilização de matéria-prima necessária por massa unitária do componente acabado chega a 80, 90%. Isso mostra que, para segmentos diferentes da aviação, a adoção das iniciativas no PDP caminha de maneira distinta.

Sobre a adoção de ações de otimização relacionadas ao uso de ferramentas computacionais, a literatura (SULLIVAN; LEWIS; KEOLEIAN, 2018; MULDER et al., 2015; ASMATULU; TWOMEY; OVERCASH, 2013) reportou as seguintes iniciativas de uso da modelagem computacional: (i) uso de algoritmo para simulação do impacto das reduções no desempenho das aeronaves; (ii) uso de algoritmo de automação do PDP (análise de *lead time*, custo de processo e custo de investimento) adotado durante o projeto conceitual de conjuntos estruturais da aeronave; (iii) e o uso de algoritmo sobre a estratégia de fabricação, montagem e desmontagem de peças mecânicas em aeronaves. Nos *workshops* notou-se que as empresas têm usado ferramentas computacionais para a simulação de ensaios aerodinâmicos e estruturais, substituindo alguns dos ensaios em túnel de vento e ensaios estruturais de carregamento. Outra aplicação que foi destacada é o uso de ferramentas computacionais, através de equipamentos de realidade virtual, para simulação da execução de procedimentos de manutenção e análise de soluções de projeto como a passagem de sistemas pela estrutura da aeronave.

De maneira geral, as ferramentas computacionais têm possibilitado a adoção de soluções circulares de virtualização. Enquanto a literatura abordou o TI verde de maneira mais genérica, através da sugestão da adoção de práticas como *e-commerce*, edifícios inteligentes, inteligência artificial e sistemas de transporte inteligentes (ZENG; FU; OUYANG, 2018); os *workshops* apresentaram exemplos de iniciativas que diretamente estão presentes no PDP como, por exemplo, substituição de roteiros de produção/manutenção em papel por roteiros digitais, uso de aplicativo para mapeamento/acompanhamento de operação agrícola de aplicação, uso de iPad para elaboração de plano de voo digital, digitalização de documentos da aeronave e criação de plataforma de acesso, construção de fábricas de aeronaves com certificação LEED de sustentabilidade, dentre outras.

Sobre a gestão de resíduos, a literatura (DE SOUZA et al., 2017-2018; PILLAIN et al., 2019; BAXTER; SRISAENG; WILD, 2018) tem abordado o tema sob dois aspectos: gestão (redução de resíduos, reutilização, reciclagem, recuperação e aterro) de resíduos compostos gerados durante a fabricação de peças compostas aeroespaciais e gestão de resíduos aeroportuários produzidos em escritórios, pontos de venda, restaurantes, banheiros e restaurantes de voo, de operações de carga aérea, instalações de manutenção e áreas e de projetos de paisagismo, construção e demolição realizados no aeroporto. Sobre os resíduos aeroportuários, nada foi comentado nos *workshops*, visto que, as empresas eram fabricantes, desenvolvedoras de projetos de aeronaves e gestoras de operações de prestação de serviços, como para a aviação agrícola. Assim, não foram consultadas empresas de administração aeroportuária ou companhias de linhas aéreas que operam diretamente nesses ambientes.

Já a respeito de resíduos de produção, a literatura foi bem específica tratando de uma iniciativa sobre resíduos compostos enquanto os *workshops* foram mais abrangentes. As empresas apresentaram iniciativas de gestão de diversos resíduos fabris visando a não destinação a aterros e, sim, à incineração (ex.: panos usados na produção para aplicação de colas e selantes). Sobre o uso desses resíduos compostos, os *workshops* não confirmaram o uso para a produção de outras peças aeronáuticas e seu uso nas aeronaves, porém, mostraram o uso desses resíduos para a produção de ferramentais de forma a economizar material virgem na fabricação dessas estruturas. O descarte de resíduos oriundos de processos químicos como anodização da fuselagem também foi abordado nos *workshops*. A anodização foi relatada como um dos processos que têm passado por alterações direcionadas por restrições ambientais definidas pelos governos. A substituição do cromo por ácidos ambientalmente amigáveis foi destacada nos *workshops* e abordada na literatura.

Algumas outras práticas relevantes apontadas nos *workshops* não haviam sido exploradas na literatura, dentre elas destacam-se: a adoção de soluções de projeto para a redução da emissão de ruídos, o desenvolvimento de ferramentais flexíveis para a redução de espaço fabril ocupado e partes, o projeto de peças visando a comunização e a similaridade, a adaptação de partes e componentes de outras indústrias para uso aeronáutico, a criação de *pull* de peças (estoques) multilocalizados para otimização logística, o compartilhamento de aeronaves como ativos e o compartilhamento de mão-de-obra entre diversas áreas da aviação.

5 CONCLUSÕES

A questão de pesquisa “Quais práticas de economia circular que empresas aeronáuticas poderiam utilizar no processo de desenvolvimento de novos produtos?” foi respondida pela soma de resultados das 25 iniciativas de contexto mais geral encontradas na literatura, através dos mais de cem artigos analisados, com os 128 exemplos práticos vivenciados pela indústria aeronáutica, citados nos *workshops* de maneira mais específica, tais como: relacionados a projetos, fabricação, operação e fim de vida de aeronaves. Os *workshops* trouxeram resultados mais detalhados sobre quais as iniciativas adotadas pela indústria aeronáutica na integração de práticas circulares em seu PDP e apresentaram os direcionadores e barreiras enfrentadas pelas empresas na tentativa de transição de uma modelo de produção e consumo linear para circular.

O objetivo deste trabalho consistiu em propor um *framework* integrando conceitos de EC no PDP aeronáutico. Através da revisão da literatura e da investigação em empresas aeronáuticas, a presente pesquisa gerou como resultado um *framework* composto por mais de 90 conjuntos de iniciativas de EC adotadas pela indústria aeronáutica em seu PDP. Dessa forma, tendo sido cumprido o objetivo inicialmente declarado. Respondendo à questão de pesquisa e cumprindo os objetivos propostos, este trabalho de pesquisa gerou, através de seus resultados, duas contribuições: uma lista de práticas de EC adotadas pela indústria aeronáutica através de suas iniciativas e um *framework* que integra tais práticas ao PDP aeronáutico.

O planejamento e a integração de ações estratégicas, processos de transformação de matéria-prima em produto acabado e iniciativas voltadas ao produto (desenvolvimento e operação) não são tarefas fáceis. Assim, elaborar um *framework* com esse objetivo se mostrou uma tarefa complexa e sujeita a limitações. A escolha das palavras-chave que compuseram a fase teórica do método de pesquisa deste trabalho é um exemplo de limitação constatado, visto que, outros conceitos que, assim como a EC, também remetem à sustentabilidade ambiental, não foram investigados. São exemplos: indústria ecológica – ecologia industrial, *design* regenerativo, economia de performance, *cradle to cradle* – do berço ao berço, biomimética, *blue economy* e biologia sintética.

Os resultados mostram que, em geral, uma consciência sobre a EC deve ser mais bem vista nas empresas, sociedade e pelos consumidores. A indústria aeronáutica se mostrou praticante de iniciativas de EC em seu processo de PDP, porém, ficou claro nos *workshops* que a conscientização sobre importância e necessidade do estabelecimento deste critério como

requisito crítico de projeto ainda está em fase de evolução, ou seja, tentativas de convencimento dos responsáveis pela aplicação de sustentabilidade no PDP aeronáutico para com as demais equipes sobre tal relevância. Esta é uma importante barreira que impede a implementação da EC e a ciência sobre o assunto pode ser uma importante fonte de informação aos gestores e decisores que estarão à frente do gerenciamento no novo PDP circular.

As análises feitas com base nas informações coletadas durante os *workshops* realizados nas empresas 01, 02 e 03, mostram que as empresas ainda estão mais preocupadas com os problemas de lucratividade, redução de custos e eficiência de produção/operação, em vez de aspectos ambientais; no entanto, eles já entendem a importância de novas oportunidades de mercado que enfocam aspectos ambientais e sociais e tentam implementar projetos nesse campo. Os resultados mostraram que a tendência é que a indústria aeronáutica deixe de enxergar a sustentabilidade como consequência de soluções previamente adotadas em projeto e passe a usá-la como critério de tomada de decisão quando a nova geração de engenheiros e administradores passe a ser responsável por gerenciar novos projetos de aeronaves.

Além disso, verificou-se pelos *workshops* que a legislação imposta pelos governos e órgãos reguladores da indústria aeronáutica tem sido o maior direcionador para as indústrias rumo à adoção da EC em situações onde o cenário custo-benefício aos olhos da gestão na empresa não é dado como viável, o que confirma a influência direcionadora dos governos na adoção de práticas sustentáveis por parte das indústrias constatada no trabalho de Jabbour et al. (2018). Assim, mesmo sob essas circunstâncias, para cumprimento da legislação vigente e anunciada para implantação em futuro próximo, as empresas têm se organizado em grupos de análise e viabilização de práticas que possibilitem tal cumprimento.

Outro direcionador à transição do modelo linear de produção e consumo para circular é a tendência do consumo. À medida que o mercado passa a enxergar valor nas soluções sustentáveis, a indústria começa a ter a necessidade de adotá-las para que seus produtos se tornem competitivos no mercado. Dessa forma, o consumidor tem influência direta sobre o mercado de aeronaves de pequeno porte por serem consumidores finais desse produto, sobre o mercado de aeronaves de grande porte por serem usuários do serviço de transporte oferecido por linhas aéreas e influência indireta por atuarem como pressionadores dos governos para que medidas legais sejam estabelecidas aos fabricantes e operadores que conduzam os projetos de aeronaves e a gestão de seu ciclo de vida à circularidade.

Os resultados empíricos também mostraram que algumas estratégias de superação quanto à confidencialidade da tecnologia e inovação em processos e produtos devem ser buscadas. A indústria aeronáutica ainda se mostrou bastante fechada quanto ao compartilhamento de avanços em seu processo de PDP, enfrentando restrições internas e, ainda mais, com outras empresas do mesmo segmento. Algumas iniciativas para a disseminação do conhecimento, como a criação de congressos internos e restritos às organizações mostraram-se presentes, porém, nenhuma iniciativa de compartilhamento de novos desenvolvimentos entre diferentes empresas foi identificada. Visto que, o desenvolvimento de redes eco industriais e a adoção do conceito de simbiose industrial são práticas propostas no modelo ReSOLVE e direcionadoras na transição de um modelo de produção e consumo linear para circular, a mudança de visão estratégica nesse aspecto é fundamental. Patentes e propriedade intelectual, assuntos também relacionados à proteção da informação/tecnologias, não foram temas destacados durante os *workshops*.

A comparação entre a indústria aeronáutica no cenário brasileiro e em outros países, com base nas informações obtidas nos *workshops*, mostrou que o Brasil está menos evoluído quanto a iniciativas que promovam a transição de um modelo de produção e consumo linear para circular. No contexto das seis ações circulares propostas pelo modelo ReSOLVE, muitas práticas são inviabilizadas no cenário brasileiro por questões de volume de frota e acesso à tecnologia e ao transporte aéreo. Dessa forma, uma mudança nesse cenário se faz necessária para que o país evolua com mais rapidez rumo à circularidade.

As implicações teóricas dessa pesquisa consistem em acrescentar à literatura novos exemplos de iniciativas da indústria aeronáutica para o desenvolvimento de produtos circulares e reportar os direcionadores e barreiras enfrentadas, contribuindo para novas pesquisas que ampliem o desenvolvimento deste tema. Na prática, outras empresas poderão usufruir dos resultados desta pesquisa para avaliarem-se quanto à intensidade com a qual aplicam práticas de EC ao seu PDP. Além disso, esse trabalho colabora para a divulgação dessas práticas, visto que, uma das barreiras discutidas foi a falta de divulgação e acesso à informação relativa a esse tema no ambiente corporativo, justamente. Empresas aeronáuticas e de outras indústrias podem se beneficiar com esses resultados que são aplicáveis ao desenvolvimento de produtos circulares de diversos tipos, sendo necessárias apenas algumas adequações às características específicas do PDP do segmento de interesse, porém, mantendo-se válido o contexto geral.

Além disso, essa pesquisa também traz implicações para a sociedade. A adoção de processos mais sustentáveis ambientalmente no desenvolvimento de novos produtos e a transformação/atualização de produtos já existentes beneficia a sociedade através de, por exemplo: menor extração e consumo de matéria-prima, menor degradação de ecossistemas, oferta de produtos mais duráveis e com capacidade de atualização, desenvolvimento de novas tecnologias e materiais, oferta de novos serviços e conceitos de consumo. Assim, este trabalho contribui para a orientação de empresas sobre como migrar de um modelo de produção e consumo linear para um modelo circular, atendendo às características de sustentabilidade ambiental a cada dia mais demandadas.

Como oportunidades de pesquisas futuras, propõe-se que o *framework* seja testado e investigado empiricamente por um maior período, dessa forma, características específicas do PDP aeronáutico, direcionadores e barreiras podem ser investigadas de forma mais detalhada. Além disso, deve ser feito um trabalho de gestão do conhecimento sobre o tema para a obtenção de melhores resultados sobre a aplicação de práticas circulares no desenvolvimento, operação e descarte de produtos aeronáuticos. Assim, os tomadores de decisão e os demais profissionais integrantes do PDP, poderão executar suas atividades e propor a adoção de soluções ambientalmente mais sustentáveis.

Um novo *framework* relacionando as práticas identificadas ao nível de maturidade exigido das empresas para sua implantação pode ser elaborado, identificando-se os setores envolvidos e suas responsabilidades. Da mesma forma, podem ser avaliados os custos envolvidos/ investimento necessário, o grau de dificuldade da implantação, o custo-benefício e o retorno esperado na adoção de cada uma das práticas. Pode ser avaliado ainda o retorno financeiro que as empresas têm tido ao adotarem práticas de EC e como a escolha pela implantação dessas iniciativas pode beneficiar as empresas não só financeiramente, mas estrategicamente, perante os *stakeholders*.

Também poderão ser realizadas pesquisas sobre avaliação do ciclo de vida do produto e elaborado um ecossistema completo que amplie o detalhamento de direcionadores e barreiras para a introdução de EC no PDP aeronáutico, considerando-se o conceito da tríplice hélice (universidades, indústrias e governos). Pode-se ainda investigar o processo de adoção de práticas de EC no PDP de diferentes setores (ex.: têxtil, eletrônico, automobilístico, agrícola, alimentício, cosméticos) avaliando-se as iniciativas, os direcionadores e barreiras encontrados

em cada cenário, bem como, gerando uma comparação de características desses ecossistemas e analisando o nível de implantação da EC em cada indústria, quanto a estar bem desenvolvido na trajetória de migração do modelo de produção e consumo linear para circular.

Por fim, uma última proposta de pesquisas futuras é que seja feita a avaliação da circularidade em diferentes empresas que compõem a cadeia de suprimentos de um setor e participam do ciclo de vida do produto em diferentes fases do PDP, podendo ser a investigação feita no setor aeronáutico e/ou em outros já propostos. Dessa forma, devem ser investigadas as empresas atuantes (i) na extração de matéria-prima; (ii) na transformação em produtos primários e componentes; (iii) no projeto, montagem e administração da infraestrutura; (iv) na fabricação, montagem, teste e venda de produtos finais; (v) na operação de produtos finais; (vi) na gestão do fim de vida, recertificação de componentes, descarte e reaproveitamento de resíduos. Ao término das investigações, apresentado um *framework* com os resultados de todo o ciclo economicamente circular e identificação da existência ou não de *clusters* aeronáuticos/ecossistemas que operem como facilitadores na adoção de um ciclo de produção e consumo circular.

6 BIBLIOGRAFIA

ABSON, David J., et al. Leverage points for sustainability transformation. *Ambio*, 2017, 46.1: 30-39.

AHI, Payman; SEARCY, Cory. An analysis of metrics used to measure performance in green and sustainable supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 86: 360-377.

ALAMEERI, Amal, et al. Sustainability practices in the aviation sector: a study of UAE-based airlines. *International Journal of Sustainable Society*, 2017, 9.2: 119-147.

ALLWOOD, Julian M., et al. Material efficiency: A white paper. *Resources, Conservation and Recycling*, 2011, 55.3: 362-381.

AMELI, Mariam; MANSOUR, Saeed; AHMADI-JAVID, Amir. A sustainable method for optimizing product design with trade-off between life cycle cost and environmental impact. *Environment, development and sustainability*, 2017, 19.6: 2443-2456.

ANDERSON, John David. Aircraft performance and design. *McGraw-Hill Science/Engineering/Math*, 1999.

ARAÚJO, Claudiano S.; CRUZ, José Luis. Integrated Product Development Practice at Embraer. *PRODUÇÃO*, 2000, 10:1, 87-106.

ARMSTRONG, Stephen. A new take on aircraft development. *Engineering Dimensions*, 1999, 28-31.

ASMATULU, Eylem; TWOMEY, Janet; OVERCASH, Michael. Evaluation of recycling efforts of aircraft companies in Wichita. *Resources, Conservation and Recycling*, 2013, 80: 36-45.

AYGUN, Hakan; TURAN, Onder. Entropy, Energy and Exergy for Measuring PW4000 Turbofan Sustainability. *International Journal of Turbo & Jet-Engines*, 2019.

BAI, Chunguang; SARKIS, Joseph. Green supplier development: analytical evaluation using rough set theory. *Journal of Cleaner Production*, 2010, 18.12: 1200-1210.

BAKKER, Conny, et al. Products that go round: exploring product life extension through design. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 69: 10-16.

BALLI, Ozgur. Exergy modeling for evaluating sustainability level of a high by-pass turbofan engine used on commercial aircrafts. *Applied Thermal Engineering*, 2017, 123: 138-155.

BALLI, Ozgur; SOHRET, Yasin; KARAKOC, Hikmet T. The effects of hydrogen fuel usage on the exergetic performance of a turbojet engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2018, 43.23: 10848-10858.

BASTEIN, A. G. T. M., et al. *Opportunities for a Circular Economy in the Netherlands*. Delft: TNO, 2013.

BATISTA, Luciano, et al. Circular supply chains in emerging economies—a comparative study of packaging recovery ecosystems in China and Brazil. *International Journal of Production Research*, 2018, 1-21.

BAUMEISTER, Stefan; ONKILA, Tiina. An eco-label for the airline industry?. *Journal of cleaner production*, 2017, 142: 1368-1376.

BAXTER, Glenn; SRISAENG, Panarat; WILD, Graham. An Assessment of Airport Sustainability, Part 1—Waste Management at Copenhagen Airport. *Resources*, 2018, 7.1: 21.

BEHERA, B. C., et al. Wear behavior of PVD TiN coated carbide inserts during machining of Nimonic 90 and Ti6Al4V superalloys under dry and MQL conditions. *Ceramics International*, 2016, 42.13: 14873-14885.

BERTONI, Marco; HALLSTEDT, Sophie; ISAKSSON, Ola. A model-based approach for sustainability and value assessment in the aerospace value chain. *Advances in Mechanical Engineering*, 2015, 7.6: 1687814015590215.

BESSA, Larissa Castello Branco Almeida, et al. (Solid+ liquid) equilibrium of binary mixtures containing ethyl esters and p-xylene by differential scanning calorimetry. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2019, 137.6: 2017-2028.

BESSETTE, Andrew P., et al. Life cycle impacts and techno-economic implications of flash hydrolysis in algae processing. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2018, 6.3: 3580-3588.

- BETANCOURTH, Nelson Javier Pedraza, et al. Design and Manufacture of a Solar-Powered Unmanned Aerial Vehicle for Civilian Surveillance Missions. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 2016, 8.4: 385-396.
- BICER, Yusuf; DINCER, Ibrahim. Life cycle evaluation of hydrogen and other potential fuels for aircrafts. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017, 42.16: 10722-10738.
- BOOTHROYD, Geoffrey. Product design for manufacture and assembly. *Computer-Aided Design*, 1994, 26.7: 505-520.
- BOUKHERROUB, Tasseda, et al. An integrated approach for sustainable supply chain planning. *Computers & Operations Research*, 2015, 54: 180-194.
- BOUZAROUR-AMOKRANE, Yasmina; TCHANGANI, Ayeley; PÉRÈS, François. Decision evaluation process in end-of-life systems management. *Journal of Manufacturing Systems*, 2015, 37: 715-728.
- BOVEA, María D.; PÉREZ-BELIS, Victoria. Identifying design guidelines to meet the circular economy principles: A case study on electric and electronic equipment. *Journal of environmental management*, 2018, 228: 483-494.
- BUDD, Thomas; BUDD, Lucy; ISON, Stephen G. Environmentally sustainable practices at UK airports. 2015.
- BWAPWA, Joseph K.; ANANDRAJ, Akash; TROIS, Cristina. Microalgae processing for jet fuel production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 2018, 12.4: 522-535.
- CAGGIANO, Alessandra; MARZANO, Adelaide; TETI, Roberto. Sustainability enhancement of a turbine vane manufacturing cell through digital simulation-based design. *Energies*, 2016, 9.10: 790.
- CAMPANA, Giampaolo; MELE, Mattia; CIMATTI, Barbara. An enhanced sustainable approach for design and manufacturing with an application to fuselages for mono-seat civil sailplanes. *International Journal of Sustainable Engineering*, 2017, 10.4-5: 215-225.
- CAVALETT, Otavio; CHERUBINI, Francesco. Contribution of jet fuel from forest residues to multiple Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability*, 2018, 1.12: 799.

- CETINKAYA, Balkan, et al. *Sustainable supply chain management: practical ideas for moving towards best practice*. Springer Science & Business Media, 2011.
- CHAN, Tak W., et al. Characterization of emissions from the use of alternative aviation fuels. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 2016, 138.1: 011506.
- CHEN, Lihong; REN, Jingzheng. Multi-attribute sustainability evaluation of alternative aviation fuels based on fuzzy ANP and fuzzy grey relational analysis. *Journal of Air Transport Management*, 2018, 68: 176-186.
- CHIARAMONTI, David, et al. Lignin-based advanced biofuels: a novel route towards aviation fuels. *Chemical Engineering Transactions*, 2016, 50: 109-114.
- CINTI, Giovanni, et al. Integration of Solid Oxide Electrolyzer and Fischer-Tropsch: A sustainable pathway for synthetic fuel. *Applied energy*, 2016, 162: 308-320.
- CLUZEL, François, et al. Eco-ideation and eco-selection of R&D projects portfolio in complex systems industries. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112: 4329-4343.
- COLLIER, Zachary A., et al. Value chain for next-generation biofuels: Resilience and sustainability of the product life cycle. *Environment Systems and Decisions*, 2017, 37.1: 22-33.
- CONNELLY, Elizabeth B., et al. Risk analysis of biofuels industry for aviation with scenario-based expert elicitation. *Systems Engineering*, 2015, 18.2: 178-191.
- CORTEZ, Luís AB, et al. Perspectives for sustainable aviation biofuels in Brazil. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2015, 2015.
- COWPER-SMITH, Allan; DE GROSOBOIS, Danuta. The adoption of corporate social responsibility practices in the airline industry. *Journal of Sustainable Tourism*, 2011, 19.1: 59-77.
- DARNALL, Nicole; JOLLEY, G. Jason; HANDFIELD, Robert. Environmental management systems and green supply chain management: complements for sustainability?. *Business strategy and the environment*, 2008, 17.1: 30-45.
- DE JESUS, Ana; MENDONÇA, Sandro. Lost in transition? Drivers and barriers in the eco-innovation road to the circular economy. *Ecological Economics*, 2018, 145: 75-89.

DE SOUZA, Christiane SR, et al. Morphological and mechanical analyses of laminates manufactured from randomly positioned carbon fibre/epoxy resin prepreg scraps. *Materials Research Express*, 2017, 4.10: 105601.

DE SOUZA, Christiane Sales Reis, et al. Reuse of Uncured Carbon Fiber/Epoxy Resin Prepreg Scraps: Mechanical Behavior and Environmental Response. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2018, 7.2: 2200-2206.

DINIZ, Ana Paula MM; SARGEANT, Richard; MILLAR, Graeme J. Stochastic techno-economic analysis of the production of aviation biofuel from oilseeds. *Biotechnology for biofuels*, 2018, 11.1: 161.

DODD, Tracey; ORLITZKY, Marc; NELSON, Tim. What stalls a renewable energy industry? Industry outlook of the aviation biofuels industry in Australia, Germany, and the USA. *Energy policy*, 2018, 123: 92-103.

DOS SANTOS, Celise Villa dos, et al. Materials selection for sustainable executive aircraft interiors. *Materials Research*, 2016, 19.2: 339-352.

EMBRAER. “*Technology*”. Apresentação elaborada pelo Vice Presidente Executivo Emilio K. Matsuo. 2010.

ENVIRONMENT, European Commission. Closing the Loop - An EU Action Plan for the Circular Economy (Communication From the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. No. COM (2015) 614 Final). European Commission, Directorate-General for the Environment, 2015a. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>. [Acesso em: 03 Abr. 2019].

EPPINGER, Steven; ULRICH, Karl. Product design and development. *McGraw-Hill Higher Education*, 2015.

EROL, Ismail; SENCER, Safiye; SARI, Ramazan. A new fuzzy multi-criteria framework for measuring sustainability performance of a supply chain. *Ecological Economics*, 2011, 70.6: 1088-1100.

FAA. Aviation Emissions, Impacts & Mitigation: A Primer, 2015. *FAA.gov* [online] Disponível em:

https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/media/primer_jan2015.pdf [Acesso em: 29 Mar. 2019].

FILIMONAU, Viachaslau; MIKA, Mirosław; PAWLUSIŃSKI, Robert. Public attitudes to biofuel use in aviation: Evidence from an emerging tourist market. *Journal of cleaner production*, 2018, 172: 3102-3110.

GEGG, Per; BUDD, Lucy; ISON, Stephen. Stakeholder views of the factors affecting the commercialization of aviation biofuels in Europe. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2015, 9.8: 542-550.

GENG, Yong, et al. Implementing China's circular economy concept at the regional level: A review of progress in Dalian, China. *Waste Management*, 2009, 29.2: 996-1002.

GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner production*, 2016, 114: 11-32.

GIALOS, Anastasios A., et al. Investigating the impact of sustainability in the production of aeronautical subscale components. *Journal of cleaner production*, 2018, 176: 785-799.

GIRDWOOD, Richard, et al. Investigating components affecting the resource efficiency of incorporating metal additive manufacturing in process chains. *Procedia Manufacturing*, 2017, 8: 52-58.

GOPALAKRISHNAN, Kavitha, et al. Sustainable supply chain management: A case study of British Aerospace (BAe) Systems. *International Journal of Production Economics*, 2012, 140.1: 193-203.

GOVINDAN, Kannan; HASANAGIC, Mia. A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. *International Journal of Production Research*, 2018, 56.1-2: 278-311.

GRAMPELLA, Mattia, et al. The factors affecting pollution and noise environmental costs of the current aircraft fleet: An econometric analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2016, 92: 310-325.

GREGSON, Nicky, et al. Interrogating the circular economy: the moral economy of resource recovery in the EU. *Economy and Society*, 2015, 44.2: 218-243.

GRI, Sustainability Reporting Standards. *G4 Sustainability Reporting Guidelines*, 2012-2013. Disponível em: <https://www2.globalreporting.org/standards/g4/Pages/default.aspx>. (Acesso em: 28 de Março de 2019).

GUTIÉRREZ-ANTONIO, Claudia, et al. Energy integration of a hydrotreatment process for sustainable biojet fuel production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2016, 55.29: 8165-8175.

HALLSTEDT, Sophie I.; BERTONI, Marco; ISAKSSON, Ola. Assessing sustainability and value of manufacturing processes: A case in the aerospace industry. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 108: 169-182.

HALLSTEDT, Sophie I.; ISAKSSON, Ola. Material criticality assessment in early phases of sustainable product development. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 161: 40-52.

HALLSTEDT, Sophie I. Sustainability criteria and sustainability compliance index for decision support in product development. *Journal of Cleaner production*, 2017, 140: 251-266.

HATCHER, G. D.; IJOMAH, W. L.; WINDMILL, J. F. C. Design for remanufacture: a literature review and future research needs. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19.17-18: 2004-2014.

HASSAN, Mohammed; PFAENDER, Holger; MAVRIS, Dimitri. Probabilistic assessment of aviation CO2 emission targets. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2018, 63: 362-376.

HENKE, Markus, et al. Challenges and opportunities of very light high-performance electric drives for aviation. *Energies*, 2018, 11.2: 344.

HUANG, Runze, et al. Energy and emissions saving potential of additive manufacturing: the case of lightweight aircraft components. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 135: 1559-1570.

IMMARIGEON, J. P., et al. Lightweight materials for aircraft applications. *Materials characterization*, 1995, 35.1: 41-67.

IRVINE, Daniel, et al. The environmental effects of peak hour air traffic congestion: The case of London Heathrow Airport. *Research in Transportation Economics*, 2016, 55: 67-73.

JABBOUR, Charbel Jose Chiappetta, et al. “There is no carnival without samba”: Revealing barriers hampering biodiversity-based R&D and eco-design in Brazil. *Journal of environmental management*, 2018, 206: 236-245.

JANKOVIC, P., et al. Environmental issues of modern production technologies. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 2017, 18.3: 1088-1099.

JAWAHIR, I. S.; BRADLEY, Ryan. Technological elements of circular economy and the principles of 6R-based closed-loop material flow in sustainable manufacturing. *Procedia Cirp*, 2016, 40: 103-108.

JENSEN, Jonas Pagh; REMMEN, Arne. Enabling circular economy through product stewardship. *Procedia Manufacturing*, 2017, 8: 377-384.

JI, Ping; MA, Xin; LI, Gang. Developing green purchasing relationships for the manufacturing industry: An evolutionary game theory perspective. *International Journal of Production Economics*, 2015, 166: 155-162.

JOSHI, Sunil C.; SHEIKH, Abdullah A. 3D printing in aerospace and its long-term sustainability. *Virtual and Physical Prototyping*, 2015, 10.4: 175-185.

JUGY, Camille, et al. Methodology for evaluating the sustainability of products and processes: application to alternative substitution techniques of chromium VI. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 2016, 10.3: 329-334.

KALMYKOVA, Yuliya; SADAGOPAN, Madumita; ROSADO, Leonardo. Circular economy—From review of theories and practices to development of implementation tools. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018, 135: 190-201.

KALVERKAMP, Matthias; RAABE, Thorsten. Automotive remanufacturing in the circular economy in Europe: marketing system challenges. *Journal of Macromarketing*, 2018, 38.1: 112-130.

KARMEE, Sanjib Kumar. Fuel not food—towards sustainable utilization of gutter oil. *Biofuels*, 2017, 8.3: 339-346.

KASULAITIS, Barbara V.; BABBITT, Callie W.; KROCK, Andrew K. Dematerialization and the circular economy: Comparing strategies to reduce material impacts of the consumer electronic product ecosystem. *Journal of Industrial Ecology*, 2019, 23.1: 119-132.

KAYA, Nevzet, et al. Exergetic sustainability improvement potentials of a hydrogen fuelled turbofan engine UAV by heating its fuel with exhaust gasses. *international journal of hydrogen energy*, 2016, 41.19: 8307-8322.

KAYA, Nevzet, et al. Parametric study of exergetic sustainability performances of a high altitude long endurance unmanned air vehicle using hydrogen fuel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2016, 41.19: 8323-8336.

KEIVANPOUR, S.; KADI, D. Ait. An integrated approach to analysis and modeling of End of Life phase of the complex products. *IFAC-PapersOnLine*, 2016, 49.12: 1892-1897.

KEIVANPOUR, Samira; AIT KADI, Daoud. Modelling end of life phase of the complex products: the case of end of life aircraft. *International Journal of Production Research*, 2017, 55.12: 3577-3595.

KEIVANPOUR, Samira; AIT KADI, Daoud; MASCLE, Christian. End of life aircrafts recovery and green supply chain (a conceptual framework for addressing opportunities and challenges). *Management Research Review*, 2015, 38.10: 1098-1124.

KEIVANPOUR, Samira; AIT KADI, Daoud; MASCLE, Christian. End-of-life aircraft treatment in the context of sustainable development, lean management, and global business. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2017, 11.5: 357-380.

KILKIŞ, Şan; KILKIŞ, Şiir. Benchmarking aircraft metabolism based on a sustainable airline index. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 167: 1068-1083.

KIRCHOFF, Jon F.; KOCH, Chris; SATINOVER NICHOLS, Bridget. Stakeholder perceptions of green marketing: the effect of demand and supply integration. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2011, 41.7: 684-696.

KOK, L.; WURPEL, G.; TEN WOLDE, A. Unleashing the power of the circular economy. *Report by IMSA Amsterdam for Circle Economy*, 2013.

KOKORIKOU, A., et al. Exploring the design of a lightweight, sustainable and comfortable aircraft seat. *Work*, 2016, 54.4: 941-954.

KPMG. The Aviation Industry Leaders Report 2018: Navigating the Cycle. *Airline Economics*, 2018.

KREBS, Florian, et al. Design of a multifunctional cell for aerospace CFRP production. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016, 85.1-4: 17-24.

KUHN, Holger; FALTER, Christoph; SIZMANN, Andreas. Renewable energy perspectives for aviation. In: *Proceedings of the 3rd CEAS Air & Space Conference and 21st AIDAA Congress, Venice, Italy, October*. 2011. p. 24-28.

KULMALA, M., et al. Pan-Evrazijskij ehksperiment (PEEX) v Rossii: perspektivy nauchnogo sotrudnichestva [Pan-Eurasian experiment (PEEX) in Russia: prospects for scientific cooperation], *Vestnik Moskovskogo universiteta*, Ser. 5. 2017.

KUMAR, Thanikasalam, et al. Concerns over use of leaded aviation gasoline (AVGAS) fuel. *Chemical Engineering Transactions*, 2018, 63: 181-186.

LEE, Joosung; MO, Jeonghoon. Analysis of technological innovation and environmental performance improvement in aviation sector. *International journal of environmental research and public health*, 2011, 8.9: 3777-3795.

LEONG, Christopher C.; BLAKEY, Simon; WILSON, Christopher W. Genetic Algorithm optimised Chemical Reactors network: A novel technique for alternative fuels emission prediction. *Swarm and Evolutionary Computation*, 2016, 27: 180-187.

LI, Mingzheng, et al. Pre-treatment of remanufacturing cleaning by use of supercritical CO₂ in comparison with thermal cleaning. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2015, 17.6: 1563-1572.

LIEDER, Michael; RASHID, Amir. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of cleaner production*, 2016, 115: 36-51.

LINTON, Jonathan D.; KLASSEN, Robert; JAYARAMAN, Vaidyanathan. Sustainable supply chains: An introduction. *Journal of operations management*, 2007, 25.6: 1075-1082.

LOBO, Prem, et al. Demonstration of a regulatory method for aircraft engine nonvolatile PM emissions measurements with conventional and isoparaffinic kerosene fuels. *Energy & Fuels*, 2016, 30.9: 7770-7777.

LOVINS, Amory et al. A new dynamic: effective business in a circular economy. *Cowes, Isle of Wight: Ellen MacArthur Foundation Publishing*, 2014.

LUNDBÄCK, Andreas; LINDGREN, Lars-Erik. Finite Element Simulation to Support Sustainable Production by Additive Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 2017, 7: 127-130.

LUTTE, Rebecca K.; BARTLE, John R. Sustainability in the Air: The Modernization of International Air Navigation. *Public Works Management & Policy*, 2017, 22.4: 322-334.

MACARTHUR, E. Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition—Executive summary (No. vol. 1). *Ellen MacArthur Foundation*, 2012.

MACARTHUR, E. Towards the Circular Economy: Opportunities for the Consumer Goods Sector —Executive summary (No. vol. 2). *Ellen MacArthur Foundation*, 2013.

MACARTHUR, E. **CE100** The world's leading circular economy network. *Ellen MacArthur Foundation*, 2014a. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-work/activities/ce100>. (Acesso em: 01 Março 2019).

MACARTHUR, E. Towards the Circular Economy: Accelerating the Scale-up Across Global Supply Chains—Executive summary (No. vol. 3). *World Economic Forum; McKinsey & Company*, 2014b.

MACARTHUR, E. Growth within: A Circular Economy Vision for a Competitive Europe. *Ellen MacArthur Foundation and McKinsey Center for Business and Environment*, 2015a.

MACARTHUR, E. Delivering the Circular Economy: A Toolkit for Policymakers. *Ellen MacArthur Foundation*, 2015b.

MACARTHUR, E. The Circular Economy Concept: Regenerative Economy. *Ellen MacArthur Foundation*, 2017.

MALIK, Kanika. Assessment of Energy Consumption Pattern and Energy Conservation Potential at Indian Airports. *Journal of Construction in Developing Countries*, 2017, 22: 97-119.

MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North point press, 2010.

MCGRATH, John F., et al. Aviation biofuel from integrated woody biomass in southern Australia. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 2017, 6.2: e221.

MCMANNERS, Peter John. Developing policy integrating sustainability: A case study into aviation. *Environmental Science & Policy*, 2016, 57: 86-92.

MCMANNERS, Peter. The action research case study approach: A methodology for complex challenges such as sustainability in aviation. *Action Research*, 2016, 14.2: 201-216.

MENÉNDEZ, J. L., et al. Implementation of the iDMU for an aerostructure industrialization in AIRBUS. *Procedia Engineering*, 2013, 63: 327-335.

MICHAILOS, Stavros. Process design, economic evaluation and life cycle assessment of jet fuel production from sugar cane residue. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 2018, 37.3: 1227-1235.

MOHSIN, Rahmat, et al. Assessment of biofuels in aviation industry for environmental sustainability. *Chemical Engineering Transactions*, 2017, 56: 1189-1194.

MOHSIN, R., et al. Assessment of usage of biofuel in aviation industry in Malaysia. *Chemical Engineering Transactions*, 2017, 56: 277-282.

MOREIRA, Natalia, et al. A conceptual framework to develop green textiles in the aeronautic completion industry: a case study in a large manufacturing company. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 105: 371-388.

MOUSAVI, Seyedesmaeil; BOSSINK, Bart AG. Firms' capabilities for sustainable innovation: The case of biofuel for aviation. *Journal of cleaner production*, 2017, 167: 1263-1275.

MULDER, Bram, et al. A methodological approach for the optimisation of the product development process by the application of design automation. In: *CEAS 2015: 5th CEAS Air*

and Space Conference" *Challenges in European Aerospace*", Delft, The Netherlands, 7-11 September 2015. CEAS, 2015.

MULGAN, Geoff. *The Locust and the Bee: Predators and Creators in Capitalism's Future-Updated Edition*. Princeton University Press, 2015.

MURMAN, Earll, et al. Lean enterprise value. *Insights From Mit's Lean*, 2002.

NALIANDA, Devaiah K., et al. Techno-economic viability assessments of greener propulsion technology under potential environmental regulatory policy scenarios. *Applied energy*, 2015, 157: 35-50.

NGUYEN, Hanh; STUCHTEY, Martin; ZILS, Markus. Remaking the industrial economy. *McKinsey Quarterly*, 2014, 1: 46-63.

NORMANN, Richard. *Reframing business: When the map changes the landscape*. John Wiley & Sons, 2001.

PARK, Samuel; LEE, Hemin; CHON, Jinhyung. Sustainable monitoring coverage of unmanned aerial vehicle photogrammetry according to wing type and image resolution. *Environmental Pollution*, 2019, 247: 340-348

PATRA, Jitendra, et al. Studies of combustion characteristics of kerosene ethanol blends in an axi-symmetric combustor. *Fuel*, 2015, 144: 205-213.

PENCIUC, Diana, et al. Product life cycle management approach for integration of engineering design and life cycle engineering. *AI EDAM*, 2016, 30.4: 379-389.

PEREZ-VALLS, Miguel; CESPEDES-LORENTE, Jose; MORENO-GARCIA, Juan. Green practices and organizational design as sources of strategic flexibility and performance. *Business Strategy and the Environment*, 2016, 25.8: 529-544.

PILLAIN, Baptiste, et al. Social life cycle assessment framework for evaluation of potential job creation with an application in the French carbon fiber aeronautical recycling sector. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2019, 1-14.

RAJ, Alok; SRIVASTAVA, Samir K. Sustainability performance assessment of an aircraft manufacturing firm. *Benchmarking: An International Journal*, 2018, 25.5: 1500-1527.

- RAJIANI, Ismi; KOT, Sebastian. The Prospective Consumers of the Indonesian Green Aviation Initiative for Sustainable Development in Air Transportation. *Sustainability*, 2018, 10.6: 1772.
- RASSOULINEJAD-MOUSAVID, Seyed Moein; MAO, Yijin; ZHANG, Yuwen. Reducing greenhouse gas emissions in Sandia methane-air flame by using a biofuel. *Renewable energy*, 2018, 128: 313-323.
- REEFKE, Hendrik; SUNDARAM, David. Key themes and research opportunities in sustainable supply chain management—identification and evaluation. *Omega*, 2017, 66: 195-211.
- RIBEIRO, Júnior Sousa; DE OLIVEIRA GOMES, Jefferson. Proposed framework for end-of-life aircraft recycling. *Procedia CIRP*, 2015, 26: 311-316.
- ROSA, Edison. Introdução ao Projeto Aeronáutico: uma contribuição à competição SAE AeroDesign. *UFSC Centro Tecnológico*. Santa Catarina, 2006.
- ROZENFELD, Henrique et al. Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo. 2006.
- ROZENFELD, Henrique. Curso de gestão do desenvolvimento de produtos. *VI Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produtos (VI CBGDP)*. Belo Horizonte, 2007.
- RSA, Great Recovery. Designing for a circular economy: Lessons from The Great Recovery 2012 – 2016. Action and Research Center. *RCA*, 2016. Disponível em: <https://www.thersa.org/globalassets/pdfs/reports/the-great-recovery---designing-for-a-circular-economy.pdf>. (Acesso em: 26 de Março de 2019)
- RUIZ-BENITEZ, Rocio; LÓPEZ, Cristina; REAL, Juan C. Achieving sustainability through the lean and resilient management of the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2019, 49.2: 122-155.
- SABAGHI, Mahdi; MASCLE, Christian; BAPTISTE, Pierre. Evaluation of products at design phase for an efficient disassembly at end-of-life. *Journal of cleaner production*, 2016, 116: 177-186.
- SABAGHI, Mahdi, et al. Sustainability assessment of dismantling strategies for end-of-life aircraft recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 2015, 102: 163-169.

- SARKER, Forkan, et al. High-Performance Graphene-Based Natural Fiber Composites. *ACS applied materials & interfaces*, 2018, 10.40: 34502-34512.
- SCHENKEL, Maren, et al. Understanding value creation in closed loop supply chains—Past findings and future directions. *Journal of Manufacturing Systems*, 2015, 37: 729-745.
- SIMONS, Emerald; SOLOIU, Valentin. Reduction of Aircraft Gas Turbine Noise with New Synthetic Fuels and Sound Insulation Materials. *Transportation Research Record*, 2017, 2603.1: 50-64.
- SLAYTON, Rebecca; SPINARDI, Graham. Radical innovation in scaling up: Boeing's Dreamliner and the challenge of socio-technical transitions. *Technovation*, 2016, 47: 47-58.
- SLIWINSKI, Jacob, et al. Hybrid-electric propulsion integration in unmanned aircraft. *Energy*, 2017, 140: 1407-1416.
- SMITH, Alan D.; OFFODILE, Onyebuchi F. Green and sustainability corporate initiatives: a case study of goods and services design. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 2016, 6.3: 273-299.
- SMOL, Marzena, et al. The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 95: 45-54.
- SÖĞÜT, M. Ziya. Exergetic irreversibility and sustainability performances for alternative fuels in the micro-turbojet engine. *International journal of green energy*, 2018, 15.3: 169-180.
- SOGUT, M. Ziya; ÖZKAYNAK, Süleyman. Assessment of thermodynamics performance with sustainable propulsion indicators of a seaplane engine for different temperatures in the same altitude. *International journal of green energy*, 2017, 14.13: 1130-1140.
- ŞÖHRET, Yasin. Ecologic performance and sustainability evaluation of a turbojet engine under on-design conditions. *Aviation*, 2018, 22.4: 166-173.
- ŞÖHRET, Yasin. Exergo-sustainability analysis and ecological function of a simple gas turbine aero-engine. *J. Therm. Eng*, 2018, 4: 2083-2095.
- SOMERVILLE, Alexander, et al. Understanding box wing aircraft: essential technology to improve sustainability in the aviation industry. *Aviation*, 2016, 20.3: 129-136.

SPRING, Martin; ARAUJO, Luis. Beyond the service factory: Service innovation in manufacturing supply networks. *Industrial marketing management*, 2013, 42.1: 59-70.

STAHEL, Walter R.; REDAY-MULVEY, Genevieve. Jobs for tomorrow: the potential for substituting manpower for energy. *Vantage Press*, 1981.

STEWART, Raphaëlle; NIERO, Monia. Circular economy in corporate sustainability strategies: A review of corporate sustainability reports in the fast-moving consumer goods sector. *Business Strategy and the Environment*, 2018, 27.7: 1005-1022.

SULLIVAN, John L.; LEWIS, Geoffrey M.; KEOLEIAN, Gregory A. Effect of mass on multimodal fuel consumption in moving people and freight in the US. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2018, 63: 786-808.

SUN, Huibin, et al. Configuring use-oriented aero-engine overhaul service with multi-objective optimization for environmental sustainability. *Journal of cleaner production*, 2017, 162: S94-S106.

TAKAHASHI, Sérgio; TAKAHASHI, Vânia Passarini. Gestão de inovação de produtos: estratégia, processo, organização e conhecimento. *Elsevier*. Rio de Janeiro, 2007.

TAN, B. S.; YAP, E. H. Sustainable Growth of the Commercial Aviation Industry in Malaysia Using a System Dynamics Approach. *Journal of Engineering, Science and Technology*, 2015, 10.9.

TANBAY, Tayfun; DURMAYAZ, Ahmet; SOGUT, Oguz Salim. Exergy-based ecological optimisation of a turbofan engine. *International Journal of Exergy*, 2015, 16.3: 358-381.

TEOH, Lay Eng; KHOO, Hooi Ling. Green air transport system: An overview of issues, strategies and challenges. *KSCE journal of civil engineering*, 2016, 20.3: 1040-1052.

TUKKER, Arnold. Product services for a resource-efficient and circular economy—a review. *Journal of cleaner production*, 2015, 97: 76-91.

TURAN, Onder. An exergy way to quantify sustainability metrics for a high bypass turbofan engine. *Energy*, 2015, 86: 722-736.

TURAN, Onder. Energy and Exergy (ENEX) Analyses of a MD-80 Aircraft. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 2016, 5.3.

URBINATI, Andrea; CHIARONI, Davide; CHIESA, Vittorio. Towards a new taxonomy of circular economy business models. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 168: 487-498.

VACHON, Stephan; KLASSEN, Robert D. Environmental management and manufacturing performance: The role of collaboration in the supply chain. *International journal of production economics*, 2008, 111.2: 299-315.

VARSEI, Mohsen; POLYAKOVSKIY, Sergey. Sustainable supply chain network design: A case of the wine industry in Australia. *Omega*, 2017, 66: 236-247.

VERMA, Anoop; RAI, Rahul. Sustainability-induced dual-level optimization of additive manufacturing process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2017, 88.5-8: 1945-1959.

VIDAL, Rosario, et al. Life Cycle Assessment of Novel Aircraft Interior Panels Made from Renewable or Recyclable Polymers with Natural Fiber Reinforcements and Non-Halogenated Flame Retardants. *Journal of Industrial Ecology*, 2018, 22.1: 132-144.

VIEIRA, Darli Rodrigues; VIEIRA, Raimundo Kennedy; CHAIN, Milena Chang. Elements of managerial integration for sustainable product lifecycle management. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 2016, 9.2: 87-107.

VINODH, Sekar; RATHOD, Gopinath. Integration of ECQFD and LCA for sustainable product design. *Journal of Cleaner Production*, 2010, 18.8: 833-842.

WAGNER, Vincent, et al. Relationship between cutting conditions and chips morphology during milling of aluminium Al-2050. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016, 82.9-12: 1881-1897.

WEBER, Nelson O. Product development teams and tools applied to the aircraft industry. *World Class Design to Manufacture*, 1994, 1.6: 20-26.

WHICHER, Anna, et al. Design for circular economy: Developing an action plan for Scotland. *Journal of cleaner production*, 2018, 172: 3237-3248.

WONG, Eugene YC; WONG, W. H. The development of reusable luggage tag with the internet of things for mobile tracking and environmental sustainability. *Sustainability*, 2017, 9.1: 58.

- XUE, Bing, et al. Survey of officials' awareness on circular economy development in China: Based on municipal and county level. *Resources, Conservation and Recycling*, 2010, 54.12: 1296-1302.
- YAZAR, I. Simulation of a High Fidelity Turboshaft Engine-Alternator Model for Turboelectric Propulsion System Design and Applications. *International Journal of Turbo & Jet-Engines*, 2019, 36.3: 271-281.
- YILMAZ, Nadir; ATMANLI, Alpaslan. Sustainable alternative fuels in aviation. *Energy*, 2017, 140: 1378-1386.
- YIN, Kwong-sang, et al. The cost of abatement options to reduce carbon emissions from Australian international flights. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2018, 12.3: 165-178.
- YIN, Kwong-sang; DARGUSCH, Paul; HALOG, Anthony. Study of the abatement options available to reduce carbon emissions from Australian international flights. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2016, 10.10: 935-946.
- YUAN, Zengwei; BI, Jun; MORIGUICHI, Yuichi. The circular economy: A new development strategy in China. *Journal of Industrial Ecology*, 2006, 10.1-2: 4-8.
- ZENG, Delin; FU, Xiangfei; OUYANG, Taohua. Implementing green IT transformation for sustainability: a case study in China. *Sustainability*, 2018, 10.7: 2160.
- ZHANG, Ning; XIE, Hualin. Toward green IT: Modeling sustainable production characteristics for Chinese electronic information industry, 1980–2012. *Technological Forecasting and Social Change*, 2015, 96: 62-70.
- ZHU, Qinghua; GENG, Yong; LAI, Kee-hung. Circular economy practices among Chinese manufacturers varying in environmental-oriented supply chain cooperation and the performance implications. *Journal of Environmental Management*, 2010, 91.6: 1324-1331.
- ZHU, Qinghua; SARKIS, Joseph. Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing enterprises. *Journal of operations management*, 2004, 22.3: 265-289.

APÊNDICE 1

Quadro 2. Lista de autores/artigos de revisão teórica.

Publicação	Ano	Título
Park S., Lee H., Chon J.	2019	Sustainable monitoring coverage of unmanned aerial vehicle photogrammetry according to wing type and image resolution
Ruiz-Benitez R., López C., Real J.C.	2019	Achieving sustainability through the lean and resilient management of the supply chain abstract
De Souza C.S.R., Opelt C.V., Cândido G.M., De Souza S.D.B., Botelho E.C., Fernandes Marlet J.M., Rezende M.C.	2019	Reuse of Uncured Carbon Fiber/Epoxy Resin Prepreg Scraps: Mechanical Behavior and Environmental Response
Bessa L.C.B.A., Robustillo M.D., Meirelles A.J.A., Pessoa Filho P.A.	2019	(Solid + liquid) equilibrium of binary mixtures containing ethyl esters and p-xylene by differential scanning calorimetry
Yazar I.	2019	Simulation of a High Fidelity Turboshift Engine-Alternator Model for Turboelectric Propulsion System Design and Applications
Aygun H., Turan O.	2019	Entropy, Energy and Exergy for Measuring PW4000 Turbofan Sustainability
Pillain B., Viana L.R., Lefevre A., Jacquemin L., Sonnemann G.	2019	Social life cycle assessment framework for evaluation of potential job creation with an application in the French carbon fiber aeronautical recycling sector
Dodd T., Orlitzky M., Nelson T.	2018	What stalls a renewable energy industry? Industry outlook of the aviation biofuels industry in Australia, Germany, and the USA
Rassoulinejad-Mousavi S.M., Mao Y., Zhang Y.	2018	Reducing greenhouse gas emissions in Sandia methane-air flame by using a biofuel
Cavalett O., Cherubini F.	2018	Contribution of jet fuel from forest residues to multiple Sustainable Development Goals
Sarker F., Karim N., Afroj S., Koncherry V., Novoselov K.S., Potluri P.	2018	High-Performance Graphene-Based Natural Fiber Composites
Hassan M., Pfaender H., Mavris D.	2018	Probabilistic assessment of aviation CO2 emission targets
Sullivan J.L., Lewis G.M., Keoleian G.A.	2018	Effect of mass on multimodal fuel consumption in moving people and freight in the U.S.
Raj A., Srivastava S.K.	2018	Sustainability performance assessment of an aircraft manufacturing firm
Bwapwa J.K., Anandraj A., Trois C.	2018	Microalgae processing for jet fuel production
Zeng D., Fu X., Ouyang T.	2018	Implementing Green IT transformation for sustainability: A case study in China
Diniz A.P.M.M., Sargeant R., Millar G.J.	2018	Stochastic techno-economic analysis of the production of aviation biofuel from oilseeds
Balli O., Sohret Y., Karakoc H.T.	2018	The effects of hydrogen fuel usage on the exergetic performance of a turbojet engine

Rajiani I., Kot S.	2018	The prospective consumers of the Indonesian green aviation initiative for sustainable development in air transportation
Chen L., Ren J.	2018	Multi-attribute sustainability evaluation of alternative aviation fuels based on fuzzy ANP and fuzzy grey relational analysis
Michailos S.	2018	Process design, economic evaluation and life cycle assessment of jet fuel production from sugar cane residue
Yin K.-S., Ward A., Dargusch P., Halog A.	2018	The cost of abatement options to reduce carbon emissions from Australian international flights
Bessette A.P., Teymouri A., Martin M.J., Stuart B.J., Resurreccion E.P., Kumar S.	2018	Life Cycle Impacts and Techno-economic Implications of Flash Hydrolysis in Algae Processing
Gialos A.A., Zeimpekis V., Alexopoulos N.D., Kashaev N., Riekehr S., Karanika A.	2018	Investigating the impact of sustainability in the production of aeronautical subscale components
Baxter G., Srisaeng P., Wild G.	2018	An assessment of airport sustainability, part 1-waste management at Copenhagen Airport
Sögüt M.Z.	2018	Exergetic Irreversibility and Sustainability Performances for Alternative Fuels in the Micro-Turbojet Engine
Henke M., Narjes G., Hoffmann J., Wohlers C., Urbanek S., Heister C., Steinbrink J., Canders W.-R., Ponick B.	2018	Challenges and opportunities of very light high-performance electric drives for aviation
Vidal R., Moliner E., Martin P.P., Fita S., Wonneberger M., Verdejo E., Vanfleteren F., Lapeña N., González A.	2018	Life Cycle Assessment of Novel Aircraft Interior Panels Made from Renewable or Recyclable Polymers with Natural Fiber Reinforcements and Non-Halogenated Flame Retardants
Şöhret Y.	2018	Exergo-sustainability analysis and ecological function of a simple gas turbine aero-engine
Şöhret Y.	2018	Ecologic performance and sustainability evaluation of a turbojet engine under on-design conditions
Kumar T., Mohsin R., Ghafir M.F.A., Kumar I., Wash A.M.	2018	Concerns over use of leaded aviation gasoline (AVGAS) fuel
Mousavi S., Bossink B.A.G.	2018	Firms' capabilities for sustainable innovation: The case of biofuel for aviation
Sliwinski J., Gardi A., Marino M., Sabatini R.	2017	Hybrid-electric propulsion integration in unmanned aircraft
Yilmaz N., Atmanli A.	2017	Sustainable alternative fuels in aviation
Ameli M., Mansour S., Ahmadi-Javid A.	2017	A sustainable method for optimizing product design with trade-off between life cycle cost and environmental impact
Kılış Ş., Kılış Ş.	2017	Benchmarking aircraft metabolism based on a Sustainable Airline Index
Sogut M.Z., Özkaynak S.	2017	Assessment of thermodynamics performance with sustainable propulsion indicators of a seaplane engine for different temperatures in the same altitude
Lutte R.K., Bartle J.R.	2017	Sustainability in the Air: The Modernization of International Air Navigation

De Souza C.S.R., Candido G.M., Alves W., Marlet J.M.F., Rezende M.C.	2017	Morphological and mechanical analyses of laminates manufactured from randomly positioned carbon fibre/epoxy resin prepreg scraps
Sun H., Liu Y., Sakao T., Wang Z.	2017	Configuring use-oriented aero-engine overhaul service with multi-objective optimization for environmental sustainability
Hallstedt S.I., Isaksson O.	2017	Material criticality assessment in early phases of sustainable product development
Campana G., Mele M., Cimatti B.	2017	An enhanced sustainable approach for design and manufacturing with an application to fuselages for mono-seat civil sailplanes
Keivanpour S., Ait Kadi D.	2017	Modelling end of life phase of the complex products: the case of end of life aircraft
Keivanpour S., Ait Kadi D., Mascle C.	2017	End-of-life aircraft treatment in the context of sustainable development, lean management, and global business
Karmee S.K.	2017	Fuel not food—towards sustainable utilization of gutter oil
Bicer Y., Dincer I.	2017	Life cycle evaluation of hydrogen and other potential fuels for aircrafts
Simons E., Soloiu V.	2017	Reduction of aircraft gas turbine noise with new synthetic fuels and sound insulation materials
McGrath J.F., Goss K.F., Brown M.W., Bartle J.R., Abadi A.	2017	Aviation biofuel from integrated woody biomass in southern Australia
Collier Z.A., Connelly E.B., Polmateer T.L., Lambert J.H.	2017	Value chain for next-generation biofuels: resilience and sustainability of the product life cycle
Verma A., Rai R.	2017	Sustainability-induced dual-level optimization of additive manufacturing process
Baumeister S., Onkila T.	2017	An eco-label for the airline industry?
Mohsin R., Kumar T., Majid Z.Abd., Nasria N.S., Sharer Z., Kumar I., Wash A.M.	2017	Assessment of biofuels in aviation industry for environmental sustainability
Sabaghi M., Cai Y., Mascle C., Baptiste P.	2017	Sustainability assessment of dismantling strategies for end-of-life aircraft recycling
Balli O.	2017	Exergy modeling for evaluating sustainability level of a high by-pass turbofan engine used on commercial aircrafts
Mohsin R., Kumar T., Majid Z.Abd., Kumar I., Wash A.M.	2017	Assessment of usage of biofuel in aviation industry in Malaysia
Alameeri A., Ajmal M.M., Hussain M., Helo P.T.	2017	Sustainability practices in the aviation sector: A study of UAE-based airlines
Wong E.Y.C., Wong W.H.	2017	The development of reusable luggage tag with the internet of things for mobile tracking and environmental sustainability
Hallstedt S.I.	2017	Sustainability criteria and sustainability compliance index for decision support in product development
Malik K.	2017	Assessment of energy consumption pattern and energy conservation potential at Indian airports
Jankovic P., Pesic V., Rancic S., Radosevic O.	2017	Environmental issues of modern production technologies
Jensen J.P., Remmen A.	2017	Enabling Circular Economy Through Product Stewardship

Lundbäck A., Lindgren L.-E.	2017	Finite Element Simulation to Support Sustainable Production by Additive Manufacturing
Girdwood R., Bezuidenhout M., Hugo P., Conradie P., Oosthuizen G., Dimitrov D.	2017	Investigating Components Affecting the Resource Efficiency of Incorporating Metal Additive Manufacturing in Process Chains
Kulmala M., Lappalainen H.K., Petäjä T., Kerminen V.M., Viisanen Y., Bondur V.G., Kasimov N.S., Kotlyakov V.M., Matvienko G.G., Baklanov A.A., Zilitinkevich S.S., Chubarova N.E., Konstantinov P.I., Tikunov V.S.	2017	Pan-eurasian experiment (peex) in Russia: Prospects of scientific cooperation
Perez-Valls M., Cespedes-Lorente J., Moreno-Garcia J.	2016	Green Practices and Organizational Design as Sources of Strategic Flexibility and Performance
Yin K.-S., Dargusch P., Halog A.	2016	Study of the abatement options available to reduce carbon emissions from Australian international flights
Penciuc D., Le Duigou J., Daaboul J., Vallet F., Eynard B.	2016	Product life cycle management approach for integration of engineering design and life cycle engineering
Filimonau V., Mika M., Pawlusiński R.	2016	Public attitudes to biofuel use in aviation: Evidence from an emerging tourist market
Grampella M., Martini G., Scotti D., Zambon G.	2016	The factors affecting pollution and noise environmental costs of the current aircraft fleet: An econometric analysis
Betancourth N.J.P., Villamarin J.E.P., Rios J.J.V., Bravo-Mosquera P.D., Cerón-Muñoz H.D.	2016	Design and manufacture of a solar-powered unmanned aerial vehicle for civilian surveillance missions
Chetan, Behera B.C., Ghosh S., Rao P.V.	2016	Wear behavior of PVD TiN coated carbide inserts during machining of Nimonic 90 and Ti6Al4V superalloys under dry and MQL conditions
Caggiano A., Marzano A., Teti R.	2016	Sustainability enhancement of a turbine vane manufacturing cell through digital simulation-based design
Lobo P., Condevaux J., Yu Z., Kuhlmann J., Hagen D.E., Miake-Lye R.C., Whitefield P.D., Raper D.W.	2016	Demonstration of a Regulatory Method for Aircraft Engine Nonvolatile PM Emissions Measurements with Conventional and Isoparaffinic Kerosene fuels
Kokorikou A., Vink P., De Pauw I.C., Braca A.	2016	Exploring the design of a lightweight, sustainable and comfortable aircraft seat
Jugy C., Jacquemin L., Villemur C., Delaire M., Garnier S.	2016	Methodology for evaluating the sustainability of products and processes: application to alternative substitution techniques of chromium VI
Gutiérrez-Antonio C., Romero-Izquierdo A.G., Israel Gómez-Castro F., Hernández S.	2016	Energy Integration of a Hydrotreatment Process for Sustainable Biojet Fuel Production
Somerville A., Marino M., Baxter G., Wild G.	2016	Understanding box wing aircraft: essential technology to improve sustainability in the aviation industry

Krebs F., Larsen L., Braun G., Dudenhausen W.	2016	Design of a multifunctional cell for aerospace CFRP production
Irvine D., Budd L., Ison S., Kitching G.	2016	The environmental effects of peak hour air traffic congestion: The case of London Heathrow Airport
McManners P.	2016	The action research case study approach: A methodology for complex challenges such as sustainability in aviation
Kaya N., Turan Ö., Midilli A., Karakoç T.H.	2016	Exergetic sustainability improvement potentials of a hydrogen fuelled turbofan engine UAV by heating its fuel with exhaust gasses
Kaya N., Turan Ö., Karakoç T.H., Midilli A.	2016	Parametric study of exergetic sustainability performances of a high altitude long endurance unmanned air vehicle using hydrogen fuel
Teoh L.E., Khoo H.L.	2016	Green air transport system: An overview of issues, strategies and challenges
Leong C.C., Blakey S., Wilson C.W.	2016	Genetic Algorithm optimised Chemical Reactors network: A novel technique for alternative fuels emission prediction
Dos Santos C.V., Leiva D.R., Costa F.R., Gregolin J.A.R.	2016	Materials Selection for Sustainable Executive Aircraft Interiors
McManners P.J.	2016	Developing policy integrating sustainability: A case study into aviation
Wagner V., Vissio A., Duc E., Pijolat M.	2016	Relationship between cutting conditions and chips morphology during milling of aluminium Al-2050
Cinti G., Baldinelli A., Di Michele A., Desideri U.	2016	Integration of Solid Oxide Electrolyzer and Fischer-Tropsch: A sustainable pathway for synthetic fuel
Turan O.	2016	Energy and exergy (ENEX) analyses of a MD-80 aircraft
Keivanpour S., Ait Kadi D.	2016	An integrated approach to analysis and modeling of End of Life phase of the complex products
Vieira D.R., Vieira R.K., Chain M.C.	2016	Elements of managerial integration for sustainable product lifecycle management
Chan T.W., Chishty W.A., Canteenwalla P., Buote D., Davison C.R.	2016	Characterization of Emissions from the Use of Alternative Aviation Fuels
Slayton R., Spinardi G.	2016	Radical innovation in scaling up: Boeing's Dreamliner and the challenge of socio-technical transitions
Chiaramonti D., Buffi M., Palmisano P., Redaelli S.	2016	Lignin-based advanced biofuels: A novel route towards aviation fuels
Nalianda D.K., Kyprianidis K.G., Sethi V., Singh R.	2015	Techno-economic viability assessments of greener propulsion technology under potential environmental regulatory policy scenarios
Joshi S.C., Sheikh A.A.	2015	3D printing in aerospace and its long-term sustainability
Tan B.S., Yap E.H.	2015	Sustainable growth of the commercial aviation industry in Malaysia using a system dynamics approach
Li M., Liu W., Short T., Qing X., Dong Y., He Y., Zhang H.-C.	2015	Pre-treatment of remanufacturing cleaning by use of supercritical CO ₂ in comparison with thermal cleaning
Turan O.	2015	An exergy way to quantify sustainability metrics for a high bypass turbofan engine

Patra J., Ghose P., Datta A., Das M., Ganguly R., Sen S., Chatterjee S.	2015	Studies of combustion characteristics of kerosene ethanol blends in an axi-symmetric combustor
Connelly E.B., Colosi L.M., Clarens A.F., Lambert J.H.	2015	Risk analysis of biofuels industry for aviation with scenario-based expert elicitation
Monsalud A., Ho D., Rakas J.	2015	Greenhouse gas emissions mitigation strategies within the airport sustainability evaluation process
Cortez L.A.B., Nigro F.E.B., Nogueira L.A.H., Nassar A.M., Cantarella H., Moraes M.A.F.D., Leal R.L.V., Franco T.T., Schuchardt U.F., Baldassin Junior R.	2015	Perspectives for sustainable aviation biofuels in Brazil
Hallstedt S.I., Bertoni M., Isaksson O.	2015	Assessing sustainability and value of manufacturing processes: A case in the aerospace industry
Gegg P., Budd L., Ison S.	2015	Stakeholder Views of the Factors Affecting the Commercialization of Aviation Biofuels in Europe
Bertoni M., Hallstedt S., Isaksson O.	2015	A model-based approach for sustainability and value assessment in the aerospace value chain
Tanbay T., Durmayaz A., Sogut O.S.	2015	Exergy-based ecological optimisation of a turbofan engine
Moreira N., De Santa-Eulalia L.A., Ait-Kadi D., Wood-Harper T., Wang Y.	2015	A conceptual framework to develop green textiles in the aeronautic completion industry: A case study in a large manufacturing company
Budd T., Budd L., Ison S.	2015	Environmentally sustainable practices at UK airports
Bouzarour-Amokrane Y., Tchangani A., Peres F.	2015	Decision evaluation process in end-of-life systems management

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

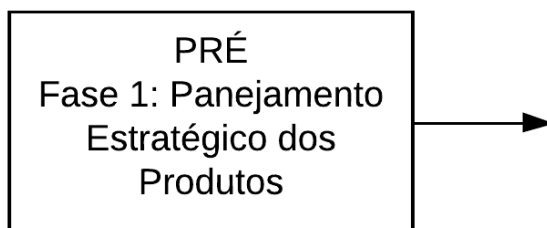
APÊNDICE 2

Figura 15. Fase 1: Planejamento Estratégico dos Produtos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

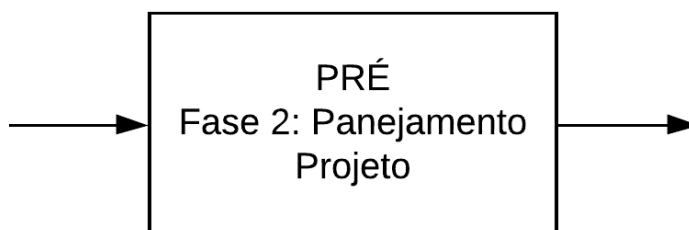


Figura 16. Fase 2: Planejamento Projeto.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

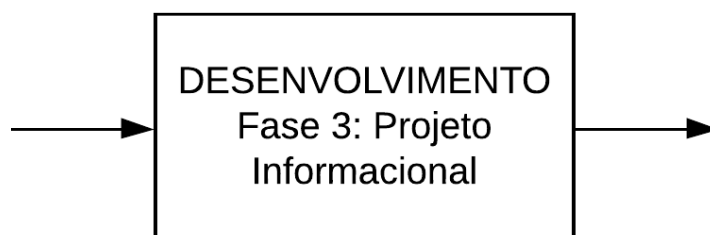


Figura 17. Fase 3: Projeto Informacional.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

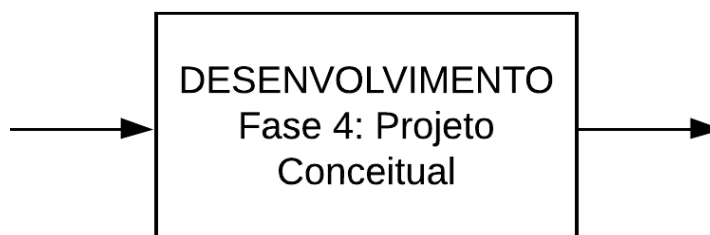


Figura 18. Fase 4: Projeto Conceitual.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

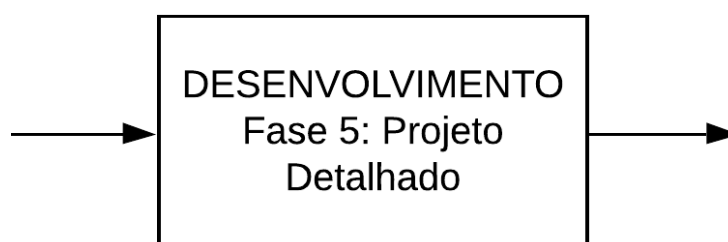


Figura 19. Fase 5: Projeto Detalhado.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

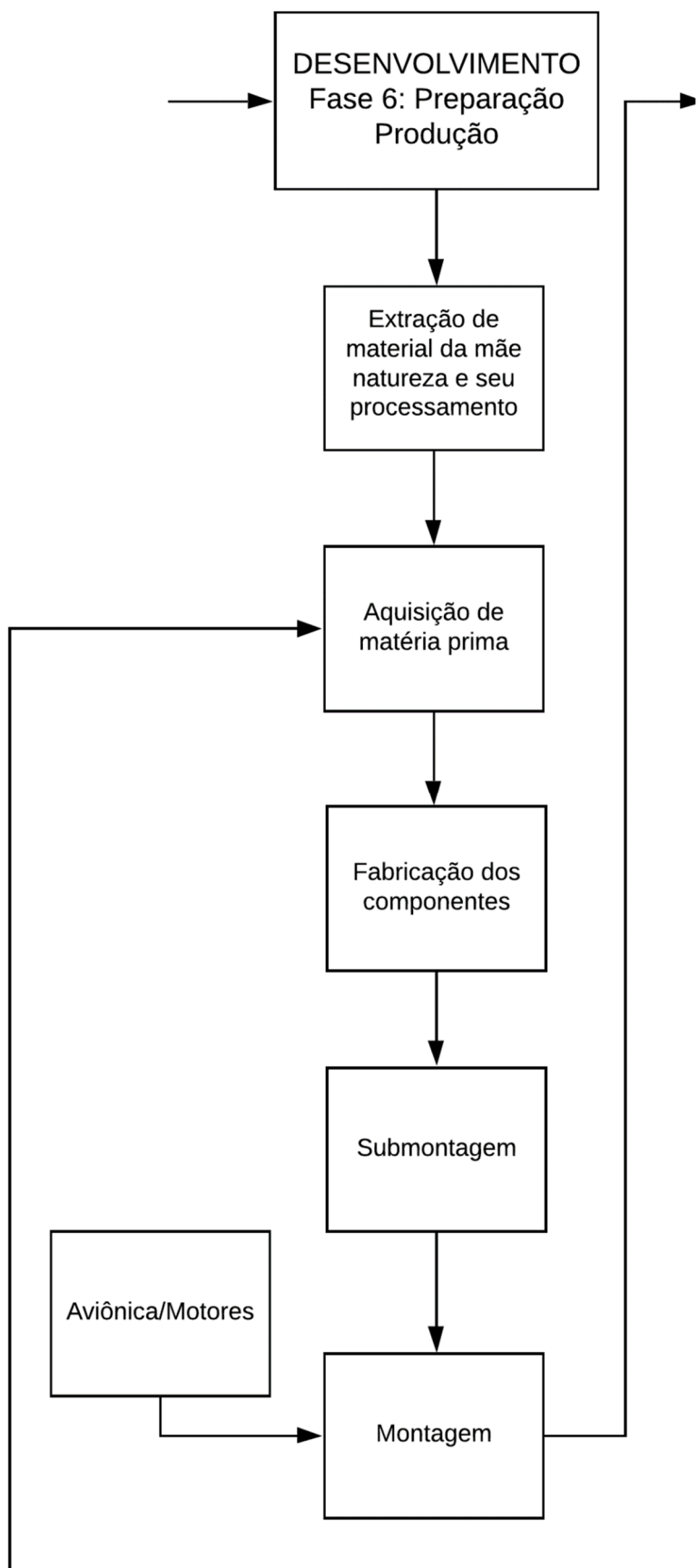


Figura 20. Fase 6: Preparação Produção.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

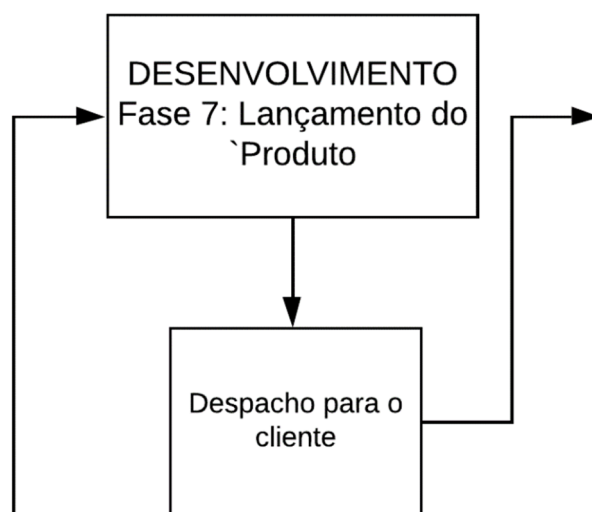


Figura 21. Fase 7: Lançamento do Produto.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

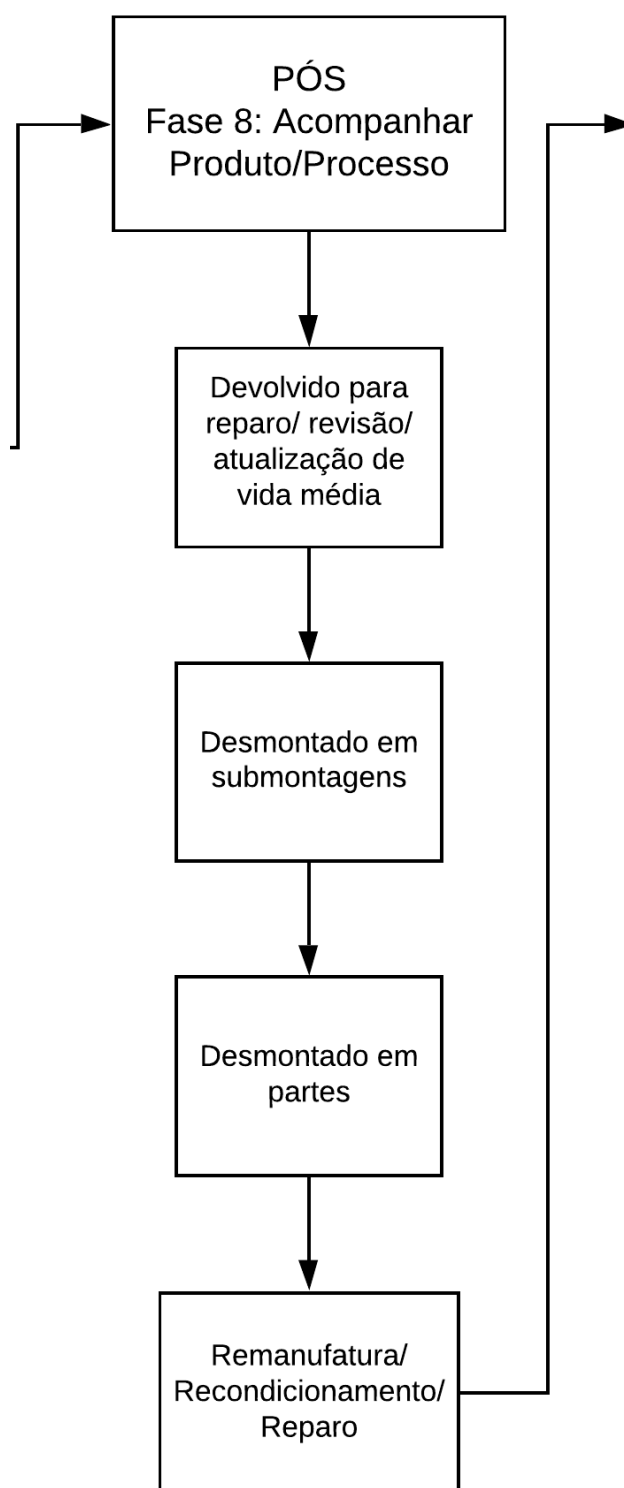


Figura 22. Fase 8: Acompanhar Produto/Processo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

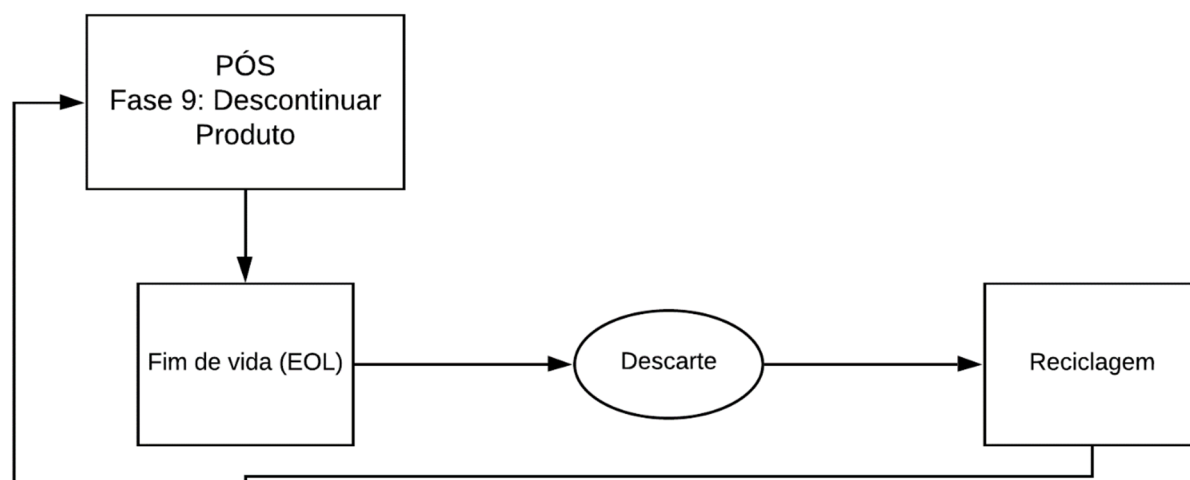


Figura 23. Fase 9: Descontinuar Produto.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

APÊNDICE 3

Workshop na Empresa 01

Pesquisador: Bom, gente... Meu nome é Pesquisador, eu sou engenheira aeroespacial, engenheira de materiais e bacharel em Ciência e Tecnologia, todos pela Federal do ABC. Depois eu fiz pós-graduação em gestão de projetos e pós-graduação em gestão de manutenção de aeronaves.

Pesquisador: Atualmente, eu estou finalizando a minha pesquisa de mestrado na UNESP, eu faço na UNESP Bauru que é o polo de engenharia da UNESP, eu pesquiso com meu orientador e a área de pesquisa é economia circular. Essa é a área de pesquisa dele e, juntamente com ele, eu desenvolvi a pesquisa onde nós aplicamos o conceito de economia circular no PDP (processo de desenvolvimento de produtos) que na minha pesquisa já considera o DIP, que é o processo utilizado na Aeronáutica em geral, já desde que isso migrou do ciclo tradicional de desenvolvimento. E a pesquisa, ela traz o DIP de forma que as práticas de economia circular possam ser integradas ao PDP, então, a ideia foi avaliar a forma com que as empresas vêm aplicando práticas de economia circular no PDP, no desenvolvimento de produtos aeronáuticos, e as dificuldades. Então, tentar identificar dificuldades e práticas que direcionam isso.

Pesquisador: A pesquisa, ela foi inicialmente teórica, então, foi feita uma revisão... Eu vou passar aqui pra vocês...

Participante A: Então, aí eu tenho uma pergunta... Teórica, você fez pela internet?

Pesquisador: Pela base chamada SCOPUS que é uma base acadêmica onde só existem artigos científicos publicados.

Participante A: Certo.

Pesquisador: Então, foi feita uma revisão teórica dos artigos publicados que envolviam conceitos de economia circular e PDP aeronáutico.

Participante A: Tá. Então, com base pela internet? Por essa base aí, só artigos...

Pesquisador: Isso.

Participante A: E agora, nas entrevistas, você vai para algumas empresas?

Pesquisador: Sim. Um gerente de programas, você aqui que trabalha com *design for environment* e um diretor comercial que trabalha com a questão de *marketing* sustentável, ele já trabalhou na Empresa 01 em setores de manutenção e hoje ele trabalha em empresas de menor porte como, por exemplo, a Empresa 03... Ele presta serviços para aeronaves do porte Cessna, Cirrus...

Participante A: Certo.

Pesquisador: Então, a ideia é avaliar os resultados encontrados na literatura com vocês que hoje participam da indústria.

Participante A: Tá.

Pesquisador: Para poder identificar o que está diferente, o que vocês têm aplicado que não aparece ainda na literatura e o que aparece na literatura como aplicação mundial que, talvez, no Brasil ainda não esteja sendo aplicado.

Pesquisador: A motivação da pesquisa... Basicamente, a gente sabe que o processo de produção sustentável ele vem sendo cobrado, hoje, pela própria sociedade...

Participante A: Sim.

Pesquisador: Então, o consumidor hoje busca saber se um produto é sustentável ou não. Anos atrás, a gente nem se preocupava com essa variável... Não era uma característica do mercado. Isso tem se tornado uma característica de mercado, então foi esse um dos motivadores.

Pesquisador: A gente sabe que na indústria, na prática, o maior motivador ainda é o governo... A legislação.

Participante A: Sim. Certo.

Pesquisador: Então, a cobrança através de uma ANAC, de um FAA... Mas, na literatura a gente já encontra cobranças por parte do mercado consumidor.

Pesquisador: A questão de desempenho econômico de uma empresa é muito vinculada ao PDP, que é o processo de desenvolvimento de produtos, que é quem transcreve, basicamente, a expectativa do mercado num produto final. Então, por isso, a pesquisa procurou vincular os dois assuntos.

Participante A: Certo.

Pesquisador: Então, aonde considerar práticas de economia circular, práticas de sustentabilidade, no processo de desenvolvimento de produtos? Quais são as aplicações em *design*? O que se pensa no projeto de uma aeronave? Que é, justamente, o que vai refletir a expectativa de um consumidor que aguarda um produto sustentável no mercado.

Pesquisador: A empresa aeronáutica, ela vem sendo estudada já na literatura, mas ainda de forma imatura. Na minha pesquisa, uma primeira busca trouxe apenas seis artigos científicos publicados desde 2005, quando tenta-se vincular diretamente o termo de economia circular, que é um termo novo, relativamente novo, desde 2015 ele vem crescendo academicamente, com a Indústria Aeronáutica. Então, mediante a essa restrição de somente seis artigos no mundo, né? A pesquisa, ela expandiu para o termo de sustentabilidade e, aí sim, você encontra um número bem maior de artigos, em torno de 400 artigos depois de filtrados, né? Com relevância, com o tema direto de sustentabilidade ambiental... E, então, eu consegui pensar na pesquisa de forma que fossem vinculados, através desses artigos que hoje são estudados, mas ainda estão soltos na literatura, vincular tudo isso num modelo de produção e consumo circular.

Pesquisador: Então, essa foi a base da pesquisa... Pegar um modelo de consumo e produção circular que foi proposto pela Fundação Ellen MacArthur e, pegar tudo isso que tinha de estudo científico vinculado apenas ainda à sustentabilidade ambiental e trazer isso para o modelo de forma que as empresas possam fazer uso do modelo do *framework* teórico vinculando essas atividades a um modelo de produção circular.

Participante A: Uhum.

Pesquisador: Então, pode-se dizer que aplicando essas práticas de sustentabilidade, a empresa é uma empresa que utiliza o modelo de economia circular. Então, essa foi a base da pesquisa.

Pesquisador: Aqui, alguns dados, né? Que foram relevantes para a escolha do tema... Então, a questão de que no Mercado Global, aí, a gente tem números onde o uso desse meio vai triplicar até 2050... Então, a expectativa é que o mercado cresça, em número de passageiros, que isso dobre novamente nos próximos 15 anos, assim como já aconteceu nos últimos 15... E o fim de vida, né? A gente sabe, aí, que a gente tem um número de aeronaves gigantesco passando por isso e a própria Airbus e a Boeing estimam mais 10.000, 15.000, aí, nos próximos 18 anos... Aeronaves parando.

Pesquisador: Então, isso mostra que a gente precisa reagir de alguma forma ao desenvolvimento de produtos sustentáveis.

Pesquisador: O modelo, eu vou apresentar ele... Ele foi desenvolvido por uma Fundação chamada Ellen MacArthur... Que eu não sei se vocês conhecem, mas é a base da economia circular...

Engenheiro A1: A gente conhece.

Participante A: A gente conhece. Sim.

Pesquisador: Então, eles foram um dos grandes impulsionadores...

Participante A: É... E pra gente...

Engenheiro A1: Na verdade, eles foram os impulsionadores... Eles foram o primeiro, né?

Pesquisador: Eles foram o primeiro a pegar o conceito de sustentabilidade, gerar um modelo circular...

Engenheiro A1: Antes de virar uma fundação, inclusive...

Participante A: Então, assim, eu acho que ela, ela conseguiu colocar isso porque ela trocou o nome, né? A gente tava analisando por que que ela faz sucesso? É porque ela botou a palavra economia no meio.

Pesquisador: Exatamente.

Participante A: Porque é que quando você fala de sustentabilidade, as pessoas pensam naquela parte, né? Mais das árvores e etc. E ela que convencia porque ela não fez nada de novo... Na verdade, ela só juntou o que existia e trocou o nome.

Pesquisador: Exatamente... Ela criou um modelo econômico.

Participante A: É. E quando ela apresentou isso lá, acho que foi em Davos que ela apresentou... Daí as comunidades começaram a abraçar, né? Inclusive a europeia, né? Que tem uma diretriz sobre isso.

Pesquisador: E, então, toda a pesquisa foi baseada no conceito da Fundação, né? E, inclusive, a própria Fundação transcreve isso no modelo ReSOLVE, que foi o modelo utilizado na pesquisa, diretamente no *framework*. Então, o que a Fundação Ellen MacArthur faz? Ela pega o conceito de economia circular e ela cria um modelo conhecido como modelo ReSOLVE onde ela, diretamente, descreve seis ações que os governos e as empresas devem aplicar no seu processo de desenvolvimento ou como legislação para que a economia circular funcione. Então, ela pega um conceito amplo e torna num modelo de seis ações diretas, ou seja, aplique essas seis ações que você se torna economicamente circular, tá?

Pesquisador: Então, essa foi a base do *framework*. Os três primeiros conceitos: regenerar, compartilhar e otimizar são vinculados àquelas ações, por exemplo, mudança de energia e materiais renováveis, recuperação de ecossistemas... Ali, a gente tem compartilhamento de ativo, reuso... Então, a pesquisa, ela foi olhando tópico por tópico, enxergando isso nos artigos, verificando quem estava aplicando, falando: “Olha, desde que você se preocupe com mudança de energia e material renovável, então você aplica conscientemente ou inconscientemente o conceito de regeneração proposto pela Fundação para que você tenha uma economia circular.”, tá?

Pesquisador: Então, isso foi feito tópico a tópico, em cada uma das seis ações, tá?

Participante A: Uhum.

Pesquisador: E ações já aplicadas por Boeing, Airbus e outros casos da Aeronáutica mundiais foram vinculadas aqui através de um quadro, de um *framework*, para que a gente veja a maturidade de cada tema, tá? Basicamente, um modelo econômico, né? Vocês já trabalham com

ele, então, a questão de preocupação com extensão de primeira vida, né? Depois, você pensar já de uma forma mais ampla em dar ao produto várias vidas úteis, tá? E você conseguir trazer isso através da remanufatura. Então, de forma bem resumida, são os três níveis de maturidade da economia circular, tá?

Pesquisador: A minha questão de pesquisa, voltada à aeronáutica: Quais são as práticas de economia circular que as empresas aeronáuticas poderiam utilizar no desenvolvimento de novos produtos? Então, foi em cima dessa dúvida de pesquisa que foi gerado o *framework*, tá?

Pesquisador: Aqui, como eu havia mencionado, o ciclo tradicional de desenvolvimento de produtos, que foi considerado como tradicional na aeronáutica, foi o DIP, tá? Aqui é uma, né? Uma figura bem famosa do Rozenfeld que mostra a integração do desenvolvimento de produto com o mercado em geral, né? Então, hoje, é o desenvolvimento de produto que transcreve as expectativas, como a gente havia falado no começo da entrevista.

Pesquisador: As etapas básicas de um projeto, né? Que a gente já utiliza há bastante tempo quando a gente vai desenvolver uma aeronave, então, questões de construção, teste, avaliação... Então, a pesquisa, ela buscou identificar práticas que se encaixassem em cada uma dessas etapas, tá?

Pesquisador: O modelo utilizado foi o modelo proposto por Armstrong, né? Que é um modelo de integração... Aqui, a gente vê que as fases, elas se sobrepõem, né? Uma pela outra... E a gente tem aquela questão de requisitos congelados, opção final de produto selecionada, né? Que são os passos de maturidade do modelo, até que a gente tenha aqui as condições dos requisitos de desempenho demonstradas, que são as campanhas de ensaio e etc., tá?

Pesquisador: Aqui, como eu falei, eu realizei acessos na base internacional chamada Scopus, que é uma base acadêmica, tá? Então, são artigos publicados em grandes revistas internacionais que são artigos publicados nesta plataforma para que a pesquisa tivesse um grau de confiabilidade maior. A metodologia, então, foi pegar essas pesquisas, pegar o modelo ReSOLVE proposto pela Fundação e transformar isso num *framework*, tá?

Pesquisador: Aqui, só em expectativa de crescimento, né? A gente vê que o tema é relevante... Pelo gráfico de crescimento de interesse acadêmico pelo tema. Basicamente, esse é o gráfico

que mostra o interesse acadêmico em publicações anuais pela economia circular, né? E a gente vê um *boom* desde 2015, aqui, que é basicamente o ano em que a Fundação começou, né?

Participante A: A divulgar, né?

Pesquisador: A também passar isso de forma mundial, os governos começaram a se interessar pelo tema... Então são coincidentes os anos, tanto de pesquisa sobre isso, quanto os anos de publicações, né? Pra todo mundo, tanto indústria quanto governo.

Pesquisador: Da mesma forma, se a gente observar, sobre sustentabilidade na aeronáutica e no mercado, na indústria aeroespacial, as pesquisas também cresceram muito desde 2015, né? Então, o que se percebe através disso? As empresas, elas têm feito, a gente tem vários artigos de estudo de casos que mostram ações sustentáveis, mas não estão vinculadas ao conceito de economia circular, sendo que os dois crescem ao mesmo tempo, né? O número de pesquisas tem sido relevante no mesmo período, só que ainda não estão relacionados, não estão conectados. Então, por isso, a origem da pesquisa, tá?

Pesquisador: O *framework*... O *framework* que eu gostaria que vocês comentassem é esse... Eu vou passar ele de maneira geral primeiro e depois a gente pode ir comentando tópico a tópico. Ele foi separado... Ele foi separado nas seis ações, tá? Conforme encontrado na literatura.

Pesquisador: Então, a gente observa aqui a primeira ação que é a ação de regeneração, tá? Aqui é a base descrita pela Fundação e por outros autores relevantes no tema, que transcreve o que é a ação regenerar, tá? Então, a Ellen, ela propõe a ação de regeneração falando sobre recuperação, mudança de energia... E alguns autores debatem isso falando que isso é transferido como: se preocupar com melhoria da qualidade do ar, eliminar resíduo, emissão de ruído... Então, os autores da transcrevem isso de uma forma mais clara para todo mundo, tá?

Pesquisador: E, a pesquisa, então, através dos artigos, encontra na literatura práticas de iniciativas já usuais na Aeronáutica, em geral, mundialmente, tá? Então, aqui, por exemplo, a gente já tem a preocupação com transformação de energia de energia fóssil para energia renovável, então, vários autores falam disso, né? Você mudar a tecnologia de propulsão para propulsão elétrica, por exemplo, tá? Aqui, por exemplo, uso de biocombustíveis... Muitos exemplos, inclusive usando materiais brasileiros, vamos falar assim, né? Como coco, tudo isso utilizado, esses resíduos já transformados em bioetanol, né? Uso de microalgas, uso de óleo de

cozinha... Então, muitas pesquisas já implantadas como combustível de aviação, álcool para jato... Então, pesquisas mundiais que trazem isso como soluções para aeronáutica, tá? Eu vou passar e depois a gente bate um a um.

Pesquisador: No compartilhar, o quadro tem a mesma ideia, né? Então, o que fazer? O que olhar sobre compartilhar? Quais são as práticas que a aeronáutica mundial utiliza? Da mesma forma, otimizar... Então, tópicos de otimização, tópicos de ciclo, que a gente fala sobre o ciclar... Então, você reciclar fibra de carbono, por exemplo, de compósitos, né? Você usar compósitos reciclados para estruturas não críticas, né? Que não exigem uma resistência estrutural comprovada... A questão de desmontagem de aeronaves para reutilizar materiais, que é até o que a gente estava comentando... O projeto Pamela... Então, são projetos inclusive citados na dissertação, e você vender peças de aeronaves para outras indústrias... Isso já vem sendo utilizado, então, para decoração, *design*, né? Fazer mesa... São alguns dos exemplos que já foram encontrados também na literatura.

Pesquisador: Aqui, a questão de virtualizar... A gente já trabalha muito, quem trabalha na aeronáutica com questão de DMU, então, práticas de TI verde, né? Não se desenvolve mais protótipo físico a cada momento, cada mudança... Então, a gente trabalha muito com análise computacional também...

Pesquisador: Então, o próprio elementos finitos veio para isso, né? Para que você diminua o número de testes práticos e consiga resolver grande parte, aí, por modelos, tá? Então, esse também é um conceito de economia circular, tá? É uma prática vinculada à Fundação, tá? No conceito de virtualizar...

Pesquisador: A questão de trocar que também é muito forte, então, você trocar materiais por materiais sustentáveis, você tirar materiais convencionais, né? Você tentar trazer, aí, materiais mais recicláveis... Uso de fibras naturais, por exemplo, em painéis, né? Eu participei de uma pesquisa onde estudava-se o uso de fibras de coco, por exemplo, para fazer painéis de interior de aeronaves... Então, fibras de coco em compósitos... Então, a gente tem aí, também, já alguns estudos nesse sentido, tá?

Pesquisador: E aí, os resultados teóricos da pesquisa... O que eu gostaria com vocês é de fazer justamente avaliação desse *framework* e que vocês comentassem de forma geral o que a

Empresa 01 tem utilizado, né? Quais são os conceitos mais fortes aqui na área de sustentabilidade? O que vocês veem como mais desenvolvido? E, em geral, como vocês enxergam isso na aviação hoje? Então, a aviação brasileira, a aviação mundial... O que a gente ainda tem a dever, vamos falar assim... E o que a gente já tem desenvolvido... Tá?

Pesquisador: Então a gente pode fazer da forma que vocês acharem melhor... Se vocês acharem melhor passar um por um... Ou, se vocês acharem melhor ler os quadros e depois comentar de uma maneira geral... Da forma que vocês se sentirem mais à vontade.

Pesquisador: Esse é o primeiro quadro... De regeneração, tá? Então a gente tem os combustíveis fósseis, eu até tinha comentado do uso de hidrogênio, que também é um tópico que apareceu, tá? Com a utilização, aí, das turbinas a gás... Células de combustíveis... Então, o uso de células elétricas... A questão de adoção de opções para redução de emissão de CO₂, então, muitas mudanças em infraestrutura de aeronaves, tudo buscando a redução de CO₂... Aumento de eficiência, tá? Também a questão de biocombustíveis, que eu falei... Muitas aeronaves já sendo testadas e fabricadas para que possam utilizar biocombustíveis... Trabalhos a respeito de verificação de eficiência de biomassa... Então, resíduo florestal, né? A parte de cavacos, bambu, carvão... Então, tudo isso sendo utilizado como biomassa para biocombustíveis. Também foram encontrados tópicos a respeito do uso de UAVs, né? Que é onde a gente já tem uso de drone, né? Onde a gente utilizava aeronaves maiores a gente já tem deixado de utilizar e utilizado, aí, os drones... Para fotografia, por exemplo, geoprocessamento... Que são mais econômicos, são elétricos, menos poluentes, tá? Então, também são algumas ações encontradas... E a questão de uso das fibras, né? Também já é uma, já é uma questão bastante estudada na fabricação de compósitos... Então...

Participante A: É, a gente pode ver um a um, lá... Podemos ir lá pra cima...

Pesquisador: Sim, claro.

Engenheiro A1: E na segunda... Eu tava vendo aqui, na segunda coluna, tem a estratégia, né?

Pesquisador: Isso... Aqui são as estratégias gerais, né? Sobre o que você deve pensar para gerar...

Engenheiro A1: Uso de materiais sustentáveis, restauração também conhecido como compostagem, redução de emissões de gases de efeito estufa, melhoria da qualidade do ar, eliminação de substâncias que empobrecem a camada de ozônio, redução da emissão de ruído, retirada do produto (aeronave) após o fim de vida.

Engenheiro A1: Essa... É que eu tava olhando... Esse eu não entendi... Retirada do produto após o fim de vida útil... Seria o quê, exatamente? Seria reformar ele no final? Refazer alguma coisa?

Participante A: A remanufatura.

Pesquisador: É o *end of life*... Então, você pensar em retirar isso de serviço, mas reaproveitá-lo de alguma maneira...

Engenheiro A1: Tirar de serviço, entendi... Tá.

Participante A: Reaproveitar.

Participante A: Agora, o que eu acho que é... Tá, vamos começar depois eu vou achar um que eu achei que não tem um exemplo de iniciativa que é a parte de ruído.

Engenheiro A1: É, não tem.

Participante A: A parte de, é, por exemplo... O que que a Empresa 01 pensa na parte de combustível... Continua usando querosene, só que a Empresa 01 é a única empresa no mundo que tem um avião certificado a álcool.

Participante A: É o único, né?

Engenheiro A1: É, inclusive, né? Aí, vamos dizer assim, entre aspas, né? Porque é claro que a Empresa 01 sempre vai incentivar as pessoas a usarem o álcool normal, mas reza a lenda que ele voa inclusive com álcool, qualquer álcool que o cara fizer na fazenda dele, inclusive, eles voam, né?

Participante A: Qualquer álcool.

Pesquisador: Tá, então que ele funciona...

Engenheiro A1: É, com qualquer coisa...

Pesquisador: Reza a lenda...

Engenheiro A1: Joga uma cachaça lá dentro...

Pesquisador: Uma pinga e liga o motor...

Participante A: Aí quando fala de combustível alternativo, a gente tem... A gente não tem ainda, assim, aplicado, mas a gente tem pesquisas na parte célula de combustível... Tem o avião mais elétrico, que você diminuiria a quantidade de combustível fóssil com menos geração de emissão de gases... É...

Engenheiro A1: E tem o voo mesmo, né? Com biocombustível.

Participante A: É... Em relação ao biocombustível, a Empresa 01, na verdade, ela não desenvolve nada em relação a isso, mas ela participa de...

Engenheiro A1: De desenvolvimento.

Participante A: De iniciativas que utilizam combustível alternativo. Como o combustível alternativo, a regra, né? Foi colocado pra aviação é que seria *drop-in*, quer dizer, então não tem que modificar a aeronave. O que que a Empresa 01 já fez em relação a isso? Nós participamos de um trabalho junto com uma fabricante do motor... Uma empresa que fabrica o biocombustível, que é uma empresa acho de Campinas, à base de cana-de-açúcar... Uma empresa nacional de linha aérea... E a gente fez um voo, até, de Campinas até o Rio na época, na ocasião do Rio+20. Então, a gente participa mais dando o suporte. Então, tem um grupo aqui dentro do desenvolvimento tecnológico que é uma área da empresa que tem em torno de 300 engenheiros e que só fazem pesquisa...

Engenheiro A1: Desenvolvimento.

Participante A: Só desenvolvimento tecnológico. E isso aí já entra, é, ali. Agora, pra colocar na aeronave...

Engenheiro A1: E uma coisa em relação a isso, Participante A... Só...

Participante A: Hum?

Engenheiro A1: Eu acho interessante falar que, é... O desempenho, né? É isso que o Participante A tá falando... Esse negócio de *drop-in* é realmente você... Não muda nada, você só voa... Só troca o combustível, né? Porque existem muitas, é... Biocombustíveis que você precisa fazer alterações no motor...

Participante A: Isso.

Engenheiro A1: E a gente pesquisou junto, né? Auxiliou na pesquisa junto com esses órgãos para que, é, não precisasse mudar nada.

Participante A: Inclusive, essas... Pra poder viabilizar o voo, teve que ter autorização da ANAC, então esse... Essa interação com a ANAC a Empresa 01 ajudou a fazer para possibilitar isso.

Participante A: Tanto... Tanto é que essa questão da facilidade de usar o biocombustível é que tem voos, por exemplo, que... Eu sei que na Europa que... Agora eles mudaram... Eles estão voando só biocombustível algumas rotas, mas antes era um lado, uma asa com um combustível e a outra com outro... É possível fazer isso também.

Pesquisador: Legal.

Participante A: Então, tem essa facilidade.

Participante A: Na questão de redução de CO₂, as iniciativas que a gente teve, já, foram, por exemplo, nossa mais atual aeronave comercial a jato bimotora de médio alcance, que é a versão nova de um modelo anterior, é... Trocamos o motor. Então, ao invés de usar o motor, um motor jato, a gente usou aquele, o... É jato também, mas é... É o motor da Pratt & Whitney, que ele reduz em torno de 18%... Na bancada do motor ele reduz até mais do que 20% do consumo de combustível, o que implica em redução de gases de efeito estufa. Eu acho que no avião mesmo, dá... Não sei... Dá em torno de 14 e 16, alguma coisa assim, em termo de redução.

Participante A: Outra coisa... Foram feitas melhorias aerodinâmicas, também, pra que você tenha uma menor, uma menor emissão de gases. Em um outro projeto atual da mesma família, em que não houve mudança do motor de um tipo pro outro, é... Foram feitas mudanças na asa, algumas mudanças aerodinâmicas da aeronave e também pequenas mudanças do motor, da GE,

no caso, em que a gente reduziu 6.4 a emissão de gases e a redução de consumo da versão normal pra uma versão que a gente chamou de plus (+).

Pesquisador: Sem troca de motor?

Participante A: Sem troca de motor... Só mudanças assim. E é o avião que a gente mais vende hoje, é esse avião. Não, exatamente, pela redução de combustível e, nesse caso, desse avião, ele não foi recertificado pra ruído, mas ele reduziu o ruído, também. Então, foram feitas mudanças pra redução de ruído.

Participante A: Em relação a ruído, também... Eu, na verdade, eu fiz pós-graduação em ruído, por isso que é minha área. É... A Empresa 01 tem um projeto que chama aeronave silenciosa, que ela fez com cinco universidades do Brasil, né? Que são pesquisas de partes da aeronave para você ter a redução de ruído, então, são iniciativas que a gente vai testando e vai aplicando algumas coisas.

Participante A: Só que, na aviação, de um modo geral, eu acho que a gente poderia dizer o seguinte... Que fazer *design for environment*, que é nossa área aqui, com essas pesquisas é uma coisa que demora, porque pra certificar um avião leva tempo. Para projetar e fazer ele voar e certificar é cinco anos ou mais, né? Nós que... Nós que fazemos muito rápido isso, é cinco anos... Então, leva tempo. Só que a gente tem feito melhorias nos produtos existentes e aplicações nos novos desenvolvimentos.

Participante A: A questão, é... Do CO₂... Hum, tá. Biocombustível se tem isso... UAV, a gente tem um projeto com a Uber de desenvolvimento. Estamos desenvolvendo um... Esse projeto pra utilizar motores elétricos, isso tá em fase de desenvolvimento. Então a gente tem várias iniciativas que são, que estão ainda na fase de pesquisa.

Participante A: A questão de fibras naturais... A gente, nós temos, nós fizemos um projeto de desenvolvimento tecnológico com uma empresa do Rio, é... Em que a gente desenvolveu 150 produtos de fontes renováveis. E, aí, tem várias aplicações.

Engenheiro A1: Até saiu na mídia...

Participante A: É, nós temos.

Participante A: E a gente fez até um trabalhinho junto com a Peugeot num carro que a Peugeot também comunicou, aí, como, é... Sustentável.

Engenheiro A1: No Salão do Automóvel, acho que eles tavam lançando.

Participante A: No Salão do Automóvel levou esse... E, hoje, a gente tem esse trabalho de desenvolvimento de produtos de fontes renováveis. Agora, qual é a dificuldade? Já que a sua pesquisa quer saber as dificuldades...

Pesquisador: Sim.

Participante A: Uma das dificuldades é que tudo que você coloca na aeronave tem que ser certificado. E pra você certificar um produto desse tem um custo, então, é... Essas iniciativas de você, desenvolver alguma solução e fazer ela se tornar prática, passa por a questão do custo.

Engenheiro A1: E tempo também, né? Porque, assim, por exemplo... Tudo que você coloca no interior do avião, você tem que certificar... Você tem que fazer ensaios de inflamabilidade, entre outros, né? Ensaios técnicos, né? E... E tem, também, uma outra questão porque... Nesse um ano de mestrado eu estudei um dos produtos e apliquei na aeronave. Mas, muitos desses produtos são fonte única... E você estar na mão de um só fornecedor é uma coisa muito complicada...

Pesquisador: Que a cadeia de suprimentos fica muito restrita.

Engenheiro A1: Então, é... Tem essa sensibilidade, também. Por exemplo, no caso do projeto que eu fiz de Mestrado, a gente fez... Fez os ensaios de certificação, tal. Ele era um material que seria possível usar, mas aí tem... Você tem que adaptar a manufatura a usar esse material, né? Tem um processo para ser trabalhado e essa questão do fornecedor. Se eu coloco isso na minha aeronave e, por algum motivo, o fornecedor deixa de fornecer é um grande risco econômico, né? De parar linha e tal... Então, assim, a gente ainda não tem tantos fornecedores fornecendo isso de uma forma, né? Escala industrial com confiabilidade que a gente precisaria.

Engenheiro A1: Existem pesquisas, assim... Grandes indústrias que começam a desenvolver... Daí, pra gente é melhor, por exemplo, a Basf tem um painel feito, é, de material sustentável... A 3M tem uma cola feita... Porque, aí, é... Existe uma confiabilidade maior de que aquele

fornecedor não vai deixar a gente na mão porque ele é um grande fornecedor, né? Já tem histórico.

Pesquisador: Não vai descontinuar.

Engenheiro A1: Então, a gente tem essas coisas que estão sensíveis, né? Do nosso processo.

Pesquisador: E vocês falaram bastante do custo de certificação, também.

Participante A: Isso.

Pesquisador: Vocês veem por parte da ANAC, do FAA, incentivos para isso?

Participante A: Não, não tem incentivo.

Engenheiro A1: Nenhum.

Participante A: Não porque na verdade o que a ANAC faz, ela só quer a demonstração de que...

Engenheiro A1: De aviação segura, né?

Participante A: É... De que você cumpriu com os requisitos e, então, todos os ensaios, tudo isso é por nossa conta.

Engenheiro A1: Na verdade, assim... O órgão homologador, ele nunca vai tá preocupado com outra coisa que não seja segurança. Então, assim... Inclusive, é... A gente tem alguns que, é... O pessoal chama de *Waver* pela aeronáutica, mas, na verdade não é bem essa questão, né? Como o nosso produto precisa ser seguro, existem algumas substâncias que são proibidas na grande maioria ou quase todas as indústrias, mas a gente ainda pode usar essas substâncias por questão de segurança. Então, é... Apesar dela ser tóxica a gente precisa continuar usando porque os requisitos de segurança da aeronave nos exigem isso. Não existe nada tão bom quanto aquele elemento que é tóxico. Então...

Pesquisador: Tão bom no sentido requisito, né?

Engenheiro A1: Técnico. Tão bom tecnicamente. Ele não cumpre, por exemplo, o cádmio... Ninguém cumpre um anticorrosão quanto o cádmio e o cromo, então a gente continua usando.

Pesquisador: Tá. Então, hoje, basicamente, as autoridades, os certificadores preocupam-se...

Engenheiro A1: Com a segurança.

Pesquisador: Com o cumprimento de requisitos, mas no sentido de segurança...

Engenheiro A1: É.

Participante A: É.

Pesquisador: Vamos falar assim... De vida em fadiga, de corrosão...

Engenheiro A1: Isso.

Pesquisador: E ainda não no sentido de segurança ambiental.

Engenheiro A1: Não.

Engenheiro A1: Existem, né? Existem trabalhos, aí, mais puxado Europa, tal. Que acredito que o Participante A vá falar disso também, mas, assim... É que a gente tem que pensar que a ANAC, o FAA e a EASA, eles estão preocupados com: o avião carrega pessoas e essas pessoas não podem cair... Então, assim, a preocupação deles é com a segurança, a aeronavegabilidade da, né? Da aeronave. Então, se você aparece com uma solução... Porque, assim... A gente tem um histórico de anos, né? A aviação é o transporte, tirando o elevador, o transporte mais seguro. Então, você não... Você não pode gerar nas pessoas um medo de voar porque toda hora tá caindo avião porque você passou a trocar materiais que você sabia que eram completamente seguros pra alguns novos que, assim, você precisa de muito mais pesquisa... Você precisa de anos de pesquisa pra provar que aquele material realmente não vai, né? Causar uma falha e tal.

Participante A: É um exemplo desse material, não sei se você sabe, que é o chumbo, né? O chumbo é proibido. Então, na aeronave, eu falo nas soldas dos componentes eletrônicos. Então se você compra um computador, hoje, ele... Todas as soldas dele não tem chumbo. Então, olha o que tá acontecendo com a aviação... A gente não pode usar essa solda sem chumbo, por quê? Ela cria o que se chama de *whiskers* que são filetes bem fininhos...

Engenheiro A1: É... Eles cristalizam.

Participante A: Ele dá curto circuito. E isso foi aquele problema que a Toyota teve nos carros que, lembra? Que nos Estados Unidos disparava... E ele disparava e o cara não conseguia frear o carro... Foi isso. O *Hubble* que é aquele telescópio, foi solda sem chumbo que causou problema. Marca-passo, tem uma empresa que teve que fazer o *retrofit* de 25.000 marca-passos porque criava esses filetes que dava o curto. Então, a aviação... Então, olha o que acontece hoje que a Empresa 01 tá fazendo... Se um fabricante de um aviãoico, ele compra um processador da Intel, ele vem com solda sem chumbo. Que que o nosso fornecedor faz? Ele tira a solda sem chumbo e põe uma solda com chumbo porque nós não aceitamos solda sem chumbo. Isso é um assunto que a ANAC acompanha porque, aí, envolve diretamente a segurança.

Engenheiro A1: É.

Participante A: Então isso aí é uma das características da aviação, no caso.

Participante A: Você falou... Só uma coisa...

Pesquisador: Claro.

Participante A: Você falou que essa coluna aqui é de *papers* da literatura, os exemplos de iniciativas?

Pesquisador: Isso. São exemplos já vinculados à Airbus, Boeing através da literatura...

Participante A: É por isso que não aparece ruído aí, sabe por quê? Porque ninguém publica essas coisas. São... Normalmente são ações que as pessoas não falam muito.

Pesquisador: É... São práticas...

Participante A: Das empresas. Que elas mantêm por elas. Isso mesmo.

Pesquisador: Internas.

Participante A: O que eu te falei que a gente fez são coisas da Empresa 01, que ela fez mudanças na aeronave pra redução de ruído.

Pesquisador: Tá.

Engenheiro A1: É... Você vai achar isso até, vamos dizer, no site da Empresa 01 falando algo ou numa revista Aero Magazine, mas você não vai achar num artigo científico.

Participante A: É.

Participante A: Outra coisa sobre o ruído, que ali também fala, se tem mudanças na operação.

Entrada do Engenheiro A2 na sala de *workshop*. Membro da equipe de *design for environment* da Empresa 01.

Participante A: Então, é... O que que eu estava falando mesmo?

Pesquisador: Dos ruídos.

Participante A: Dos ruídos... Fugiu aqui o que eu queria falar.

Pesquisador: Outra questão sobre os ruídos você ia trazer.

Participante A: Ah, esqueci. A memória não está ajudando.

Engenheiro A1: Você ia falar alguma coisa que a gente tava falando que não é publicado...

Participante A: Ah, da parte operacional... Agora me voltou.

Pesquisador: Tá.

Participante A: A Empresa 01 tem um procedimento de decolagem, se o cliente quiser ele pode aplicar com redução de ruído. Então, ele decola de uma maneira diferente da que seria usual, é uma opção dele de redução de ruído. E na aviação, no caso da ICAO, que eu participo do grupo 1 da ICAO que é “ruído”, é... Existe um procedimento de descida que ao invés de fazer a aeronave descer por etapas, é uma descida contínua... Então, isso aí já foi homologado, então as empresas, o operador ao invés de descer as, né? O procedimento usual, desce um pouquinho e nivela, desce um pouquinho e nivela e desce de uma vez. Então ele vai mais lá à frente, então ele protege mais a comunidade, depois ele desce de uma vez.

Pesquisador: Tá.

Participante A: E outra coisa que a gente fez também, no caso de Londres, naquele aeroporto dentro da cidade que é o *London City*, é... Ele tem que, ele não pousa a 3 graus, é... Ele pousa a 5. Então, que que ele faz? Ele vai mais lá na frente possível, quer dizer, mais longe das casas e dos apartamentos e aí ele desce numa rampa muito maior. E pra isso você tem de certificar o avião para fazer essa descida, é... Que chama *strip approach*. E aí a gente fez os ensaios das aeronaves da nossa atual família de aeronaves comerciais, então hoje a gente opera, a *British Airways* opera aviões nossos lá nesse aeroporto porque o nosso avião é capaz de fazer isso.

Pesquisador: Então o avião já foi certificado com o objetivo de...

Participante A: De fazer essa descida mais...

Pesquisador: Pra diminuição dos ruídos e proteção...

Participante A: Pra impactar menos a comunidade. Porque lá no *City* eles têm, é... Microfones tanto no pouso quanto na decolagem e você tem que cumprir as regras de ruído pra poder operar lá, então, você tem que demonstrar...

Engenheiro A1: E a regra deles é mais...

Participante A: É mais restritiva do que a certificação, bem mais.

Pesquisador: Tá.

Participante A: Não basta certificar pra ruído, você tem que atender à regra do aeroporto.

Pesquisador: Então aí se torna, também, a questão do mercado?

Participante A: Isso.

Pesquisador: Que é o que a gente tava falando... Não vem sendo cobrado pela base governamental, mas, aí, você tem a cobrança do mercado consumidor. Se você quiser operar em Londres, você vai ter que...

Participante A: É... E tem outra característica de ruído também que, por exemplo, o aeroporto de *Frankfurt*, eles têm um acordo com a comunidade, né? Existe uma, o que seria uma taxa

diária de ruído, essa taxa não pode aumentar, então, se eles quiserem aumentar o número de voos, eles têm que diminuir o ruído das aeronaves.

Participante A, Então, tudo isso aí são... É... Os fabricantes têm que pensar em tudo isso porque se você consegue oferecer um produto mais silencioso, você tem chance, mais chance, naquele mercado.

Pesquisador: Maior chance de operar.

Participante A: É.

Pesquisador: Legal.

Pesquisador: Bom, então esses eram os conceitos da regeneração. O próximo quadro, ele envolve a ação de compartilhamento.

Participante A: Só pro Engenheiro A2 ficar sabendo, são as seis diretrizes, né? Da economia circular. Não é isso?

Pesquisador: Isso. São seis ações propostas pela Fundação da Ellen MacArthur para que os governos e as indústrias possam se considerar e possam praticar economia circular, então, possam se considerar praticantes de economia circular. Então, basicamente, a Fundação resumiu todo um modelo de produção e consumo circular em seis ações diretas que as empresas, praticando, estariam dentro do conceito de economia circular.

Engenheiro A2: Para certificação, como que fosse o... Como que avalia, avaliaria isso nas empresas? Elas mesmo se autodeclarariam como praticantes?

Pesquisador: Hoje não tem uma avaliação direta.

Participante A: Não, não tem.

Pesquisador: E é, justamente, a ideia da pesquisa, né?

Engenheiro A2: Ah, entendi.

Pesquisador: Então, hoje, você tem ações, ali, até mostrei que são ações espalhadas de sustentabilidade... Você vê uma Airbus reciclando, você vê, né? Artigos sobre reuso, o projeto Pamela, a AFRA...

Engenheiro A2: Certo.

Pesquisador: Então, a criação de Fundações, mas tudo isso ainda espalhado como ações de sustentabilidade., né? Então, assim... E aí, por outro lado a Fundação Ellen MacArthur criando o conceito de economia circular que, como a gente comentou, não é nada novo, né? Mas, aí, você usa a palavra economia, então, você passa a usar um modelo econômico... E a ideia da pesquisa foi, justamente, vincular as práticas... Então, tipo assim... Olha, pra indústria de aviação você praticando isso, você tendo exemplos de iniciativas como esses, você pode se considerar, né? Uma indústria que pratica a economia circular. Então, é justamente essa a base da pesquisa porque hoje não existe material que relacione as duas coisas, tá?

Participante A: Então... A gente poderia continuar nos exemplos, ali, né? Que que você acha?

Pesquisador: Sim, sim. Com certeza.

Participante A: Então, essa parte de reciclagem de compósito. A gente já fez, nós já fizemos um trabalho, porque esse assunto aqui, ó... O DFE, na Empresa 01, ele começou em final de setembro, outubro de 2009.

Pesquisador: Dez anos, uma década.

Participante A: Tá fazendo dez anos agora que a gente trabalha no assunto. E lá, há muitos anos atrás, é... Tem um engenheiro que é da área do desenvolvimento tecnológico que que gosta do assunto, ele é engenheiro químico, não, de materiais, né?

Engenheiro A1: É...

Participante A: Acho que é de materiais e ele é muito interessado na parte de reciclagem de alumínio... Que a gente queria fazer projetos pra reciclar, para utilizar o alumínio das aeronaves, depois que você descarta, voltando pra aeronave. E aí, então ele gostou do assunto e a gente resolveu fazer um trabalho de avaliação de um processo novo, com uma empresa de Rezende, que é uma de um pessoal do IPT que foi pra Rezende e tava fazendo reciclagem de alumínio à

plasma. Aí, teve a ideia de fazer compósito naquele processo. E aí, fez e, diferentemente dos outros processos que existiam na época, em que a fibra do material composto ela era picotada, então, você perdia a integridade da fibra. Esse projeto à plasma que eles, que ele desenvolveu junto com essa, ele mantém a fibra intacta. É uma patente da Empresa 01, isso.

Pesquisador: Legal.

Participante A: É... Então existe...

Pesquisador: Isso há 10 anos atrás?

Participante A: Não, não. Foi menos. Porque a gente tá há dez. Isso aí foi uns oito anos atrás que ele começou... É, eu não sei. A patente saiu bem depois porque demorou muito pra Empresa 01 decidir que ia fazer a patente porque custa, também, né? Só que, assim, infelizmente, isso não tá sendo aplicado porque tem que ter uma empresa que passe a fazer isso. Mas existe o processo e existe a patente da Empresa 01 em relação a esse processo.

Participante A: Então essa é uma coisa que a gente já faz, a outra coisa que a gente faz em termos de um outro exemplo... Quando nós fizemos reuniões de a gente chama de Kaizen, né? Aquela metodologia da Toyota, pro assunto... Quando nós começamos a desenvolver DFE na empresa, então, que que nós fizemos? Fizemos o Kaizen, chamamos pessoas de várias áreas e, uma engenheira da área de manufatura, desenvolvimento tecnológico da manufatura... Ela, eu falei assim, para ela, assim... Tenta ver uma possibilidade de fazer um projeto que reaproveitasse materiais que ela usava na manufatura. E ela era da área de compósito, e aí, que que ela percebeu? Que a gente jogava... Aí pega o compósito, que é aquele tecido, recorta as partes e, o resto, a Empresa 01 paga pra ser incinerado. Por que que a Empresa 01 tem que fazer isso? Porque esse material é controlado, ele, ele pode...

Engenheiro A1: Governo americano.

Participante A: Ele é controlado pelo governo americano. Então, pra você poder comprar de uma empresa americana você tem que dar o fim...

Pesquisador: Garantia até o...

Participante A: Você tem que garantir o uso. Aquele que você não usa, você tem que queimar. Então, a Empresa 01 queima. Paga para incinerar esse material. Aí, que que ela resolveu fazer? Reaproveitar isso, e aí ela fez, exatamente o que tá escrito ali. Peças não, não foi pra aeronave, mas foram peças de ferramentais da Empresa 01, que antes eram feitos com material virgem, inteiro, ela começou a fazer com os retalhos. Aí, ela fez uma análise, só para você ter uma ideia, uma redução de \$1.100.000,00 (dólares) por ano, em função da quantidade de material que a empresa, que a Empresa 01 usa. Então, esse foi um dos primeiros projetos que a gente fez, baseado no nosso grupo, assim... Na nossa metodologia. Então, essa parte de reciclar, tá no radar e a gente tem ideia, também, de tentar reciclar pra fazer peças não estruturais, né? Principalmente no interior, tem muita parte ali que é de material composto que não tem uma exigência estrutural.

Pesquisador: Mas isso ainda não é aplicado na aeronave em si?

Participante A: Não, não é aplicado. Na aeronave ainda não. A gente aplica pras coisas da fábrica.

Pesquisador: Tá. A questão...

Participante A: Desmontagem da aeronave. É isso que eu posso falar de reutilização. Que que a Empresa 01 faz? A gente participa da AFRA, né? Já há uns 5, 6 anos que nós somos membros da AFRA. Existe um guia pra você fazer a desmontagem adequada, né? Então, que que a gente conseguiu? É... Porque a Empresa 01 desmonta alguns aviões. Ela desmonta os protótipos, porque o protótipo ele é tão modificado que não justifica você adequar e vender como pra operar. Então, que que ela faz? Ela desmancha. Ela desmancha os protótipos e, também, ela faz o desmanche de aeronaves em que ela pega como parte de pagamento de uma aeronave maior, ela pega um usado e não vale a pena, não tem nada pra fazer com essa aeronave usada. Que que ela faz? Desmancha.

Participante A: Então, a gente conseguiu colocar nos contratos de desmanche, né? Ao contratar uma empresa pra desmanchar, ele tem que seguir o guia da AFRA. E que que, o que que é feito, então, com essa aeronave? É feito o desmanche, e Empresa 01 vende por um preço muito baixo. Só que, essa empresa que compra o avião, desmancha e ela dá o destino adequado de acordo com o guia da AFRA. E as partes que são reaproveitadas, trem de pouso, portas, é... APU,

motor, é... Coisas de avião que você tem uma... Ainda você tem uma vida útil porque no protótipo, às vezes, você vai mudando peça e daí a pouco ele já para. Então, pra você ver, você tem uma vida útil grande.

Pesquisador: Muito grande.

Participante A: Ele é recertificado e vendido. Quando essa empresa vende essa peça recertificada, parte do dinheiro vem pra Empresa 01. Então, esse é o negócio nosso pra desmanche de aeronave.

Pesquisador: Ok. E existem hoje, como que fica a questão dos fornecedores, né? Vamos falar assim, da cadeia de pessoas que te atendem sobre o desmanche, atendendo regras da AFRA, no Brasil, tem?

Participante A: Não. No Brasil, não tem.

Pesquisador: Não? Tudo fora?

Participante A: Porque a gente desmancha tudo, tudo, é... A Empresa 01 desmancha todos eles nos Estados Unidos.

Engenheiro A1: Só a FAB que desmancha avião aqui.

Participante A: A FAB desmancha aqui no Brasil.

Engenheiro A1: O avião dela.

Pesquisador: Mas não seguindo regras, eles?

Engenheiro A1: Ela tem que seguir, né? Eu acho, assim...

Engenheiro A1: a FAB chega, às vezes, eles contratam pessoas de fora pra fazer o desmanche porque as pessoas sabem.

Pesquisador: Aqui?

Engenheiro A1: É, aqui.

Engenheiro A2: Isso.

Participante A: É. E eles fizeram desmanche, também, de um Hércules que teve problema num pouso lá na Antártida.

Engenheiro A1: É.

Participante A: Só que ele... Esse pouso foi num território chileno e, é bem lá próximo da Antártida, da Antártica. E, aí, é... A regra desmanchar e tirar tudo de lá.

Engenheiro A1: É, não podia deixar um parafuso.

Participante A: É, e eu conheci a pessoa, a empresa que, uma vez eu tava visitando um aeroporto lá nos Estados Unidos que fazia o desmanche e eles falaram que eles tavam com esse contrato com a FAB pra desmanchar.

Engenheiro A1: Então, às vezes, a FAB contrata pessoas que vem de fora e fazem.

Participante A: É... Eu não sei se eles seguem a AFRA... Não tenho essa informação. Agora, a gente chamou uma empresa aqui que fez o desmanche pra, que faz o desmanche pra FAB e eles tem um processo de corte da fuselagem.

Engenheiro A1: Pra conhecer, né?

Participante A: É. Eles vieram aqui, fizeram a apresentação. Ao invés de pegar aquelas máquinas, aquelas tesouras enormes, lá, é um fio diamantado e que ele vai... Passa só o fio, então, você quase não danifica e aproveita mais, também, né?

Pesquisador: E eles cortam a fuselagem inteira?

Participante A: Corta. Corta a fuselagem com esse fio diamantado.

Pesquisador: Legal.

Participante A: Que é o procedimento daquela empresa.

Participante A: Vendas de peças e tal. A gente tem a venda, essa venda de peças de reuso dos protótipos e de... Por exemplo, nós...

Engenheiro A2: Mas essa aí é pra uso com mobiliário...

Participante A: Ah... De mobiliário.

Pesquisador: Esse é um exemplo que foi encontrado na literatura, mas a ideia, aqui, é verificar, por exemplo, se outros mercados também tem comprado...

Engenheiro A2: Ah, tá... Entendi.

Participante A: Não, esse é... Mas, a gente vende mais pro mercado mesmo aeronáutico.

Pesquisador: Então, hoje, o próprio mercado aeronáutico...

Participante A: De segunda mão que compra essas peças recertificada.

Engenheiro A1: É, os que são possíveis...

Engenheiro A2: Eu sei que não é tão simples adquirir, a aquisição e tratamento...

Engenheiro A1: Não, tem todo o processo de certificação...

Participante A: De recertificação pra venda.

Engenheiro A2: Não, não... Eu digo mesmo pra escritório, pra fins fora de aeronave. Não é tão simples você adquirir uma aeronave usada ou pós vida. Não é algo trivial... Eu não sei detalhes disso, mas é bem burocrático.

Engenheiro A1: Bem burocrático.

Participante A: Na verdade, tem que dar baixa na ANAC, né?! A matrícula da aeronave e tal. E tem uns que usam pra fazer restaurante, né?! Nos Estados Unidos que muitos que usam pra casa mesmo, né? O cara passa a morar dentro...

Engenheiro A2: Mas, aqui, não tem mais por conta dessa dificuldade.

Participante A: Dificuldade, né?

Engenheiro A2: Se não, teríamos muito mais restaurantes, hamburguerias temáticas, né?

Engenheiro A1: É... E é uma pena porque seria um bom uso, né?

Pesquisador: Sim! A gente teria outros mercados, né? Consumindo...

Engenheiro A2: Eu já vi, também, uso pra lancha... O pessoal transformou a fuselagem de uma aeronave numa lancha... Adaptou o motor... Se você pesquisar, você vai encontrar isso.

Pesquisador: Que legal.

Engenheiro A2: Tem uma empresa, MotoArt, que vende também pra mobiliários e ele vende inclusive a história daquela... Ah, isso aqui pertenceu a um Boeing da operadora italiana que transportou certa vez o papa, sei lá...Eles vendem algo assim... É... De história mesmo. Provavelmente, se procurar na internet deve encontrar isso.

Pesquisador: Legal.

Engenheiro A2: Eu já li... Já li coisas sobre isso...

Pesquisador: Mas, no Brasil, isso ainda...

Participante A: Não, é, tá... No Brasil, é... Quando a FAB desmanchou uma certa aeronave lá em Guarulhos, eu não fui, mas um colega que trabalhava no nosso grupo foi acompanhar. Sem cuidado nenhum... Diz que foi muito ruim... Porque tem que ter os cuidados, principalmente... E um dos cuidados que são importantes, e isso é uma coisa que nós estamos avaliando agora, como atender os clientes, é o cuidado que ele tem que ter com as substâncias perigosas da aeronave. Por exemplo, na hora que ele tem que tirar todos os fluidos hidráulicos...

Pesquisador: Tem que esgotar...

Participante A: Esgotar tudo isso... Na hora que ele vai desmanchar, se ele... Se ele, é... Tiver contato com alguma substância perigosa, na hora que ele tiver desmanchando alguma coisa... Então, nós já tivemos, tivemos já, clientes solicitando isso. Aonde que estão as substâncias perigosas da aeronave. Então, esse é o trabalho que a gente tá fazendo agora, de identificar,

porque a própria legislação ambiental tá nos levando a isso. A saber tudo que existe na aeronave e aonde que tá localizado e a quantidade. Então tá sendo um trabalho enorme que a gente tá fazendo agora... Não só a Empresa 01, tá? Nós temos um grupo que é a *International Aerospace Environmental* que foi criado exatamente pra atender as legislações ambientais de substâncias. Principalmente, o *REACH* que é uma legislação europeia e foi uma iniciativa da Boeing Airbus e aí a Empresa 01 entrou como membro fundadora, também, onze empresas começaram esse grupo... E lá, assim, essas coisas são tratadas porque a legislação tá vindo, né? Então, que que a indústria viu? Que uma empresa sozinha teria dificuldade de, de abraçar isso, entender e atender a legislação. Então a ideia foi fazer um grupo, que a gente participa... Inclusive, temos reunião agora, né? Em outubro.

Engenheiro A1: Uhum.

Participante A: E vários grupos que, de várias ações da indústria aeronáutica... E é bom que é uma ação em conjunto, né?

Engenheiro A1: É *Aerospace and Defense*, né? A gente tem... Cada vez aumenta mais a quantidade de fabricantes e fornecedores... Fabricantes de motor, né?

Participante A: Isso. Ok. Vamos lá. Tem várias outras questões...

Pesquisador: A questão de otimização, né? Então a gente identificou na literatura... Eu vou aproximar aqui pra ficar melhor pra ver... Várias iniciativas, por exemplo, redução de *buy-to-fly*, né? A questão de redução de massa... então, você se preocupar em criar aeronaves mais leves pra redução de combustível...

Participante A: Isso aí, tá no DNA de todo mundo aqui... Com certeza.

Engenheiro A2: É... Isso impacta diretamente o custo operacional da aeronave.

Participante A: É.

Engenheiro A2: Então, é uma preocupação nata do DIP.

Participante A: Constante.

Engenheiro A1: Quanto menor o peso, melhor.

Engenheiro A2: Porém, existem várias fases no DIP que...

Engenheiro A1: Alívio de peso...

Engenheiro A2: Chegou num ponto que, não! Não dá pra seguir em frente com esse peso aqui... Tem que fazer, justamente, a etapa de alívio de peso. E é cíclica muitas vezes, né? E é um processo iterativo, né? Porque você reduz ali e aí, eventualmente, você precisa reforçar porque você... Ah, mais aí reforçou...

Engenheiro A1: Alivia de um lado, reforça do outro...

Engenheiro A2: Enfim, é toda uma cadeia de simulações que são feitas pelo, principalmente nosso pessoal de, de cálculo estrutural que pode determinar ou pode, vamos dizer, diminuir um pouco o fator de segurança porque foi exagerado...

Engenheiro A1: É.

Engenheiro A2: Depois, num determinado momento, foi verificado que realmente o cálculo foi superestimado então há uma possibilidade de alívio, há possibilidade inclusive de, de diminuir a quantidade de materiais diferentes utilizados, né? Numa montagem, por exemplo...

Engenheiro A1: Diminuir densidade...

Engenheiro A2: É... Você fabricar um painel... Um revestimento acoplado... Já com os reforçadores, com os *stringers*... Se for em compósito, por exemplo, evitando o uso de prendedores, o que agrega massa. Isso tudo são iniciativas do DIP que dá pra fazer. Ou mesmo, usinar um, um... Ao invés de você usinar o painel, depois usinar os *stringers*, já usinar tudo junto. Usina já com os reforçadores... Claro que depois pra você conformar aerodinamicamente tem... O custo é muito maior que usinar tudo separado... Então isso, esse *trade off*, é feito na etapa do DIP. É que envolve custo, envolve peso e aí as tomadas de decisões são feitas pelo pessoal da, da alta gestão, né? Do DIP. Os detentores, os guardiões do DIP ali...

Pesquisador: Tá. A questão de melhorias, também, de sistemas de produção de energia, né? Então pensar em motorização fora da motorização convencional.

Participante A: Isso.

Pesquisador: Então, o uso de motores elétricos...

Participante A: É... Existe esse projeto do DT de aeronave mais elétrica que tá indo, então...

Pesquisador: Mas, hoje, a empresa, ela pensa no uso ainda dessa motorização como uma motorização auxiliar ou já existem projetos pra que essa se torne a motorização primária das aeronaves?

Participante A: Primária, em aeronaves grandes, não, né? Mas, no caso do UAV, sim. Porque daí é pequeno, né?

Pesquisador: UAV, então, 100% elétrico?

Participante A: 100% elétrico.

Pesquisador: Tá.

Participante A: Agora, na outra aeronave seria mais elétrico só. Então, ao invés de você gastar, ao invés de ter uma APU lá, alguma coisa, teria a parte elétrica e não precisaria tirar do motor.

Engenheiro A2: É um assunto muito estudado. O mundo inteiro, hoje, é propulsão elétrica, né? Híbrida, elétrica... Ah, gente... Tem até uma empresa...

Engenheiro A1: A questão de bateria...

Engenheiro A2: Depois procura saber sobre isso... Tem uma empresa muito interessante que voou esses dias um... Como é que e diz? Um drone com passageiros... Eu não sei agora o nome... Mas, seria isso. Bacana, totalmente elétrico... Propulsão apenas elétrica, à bateria.

Participante A: No caso aí de simulação não é nesse tópico, é no outro?

Pesquisador: Virtualização.

Participante A: Virtualização.

Pesquisador: Aqui, também foram encontradas na literatura ainda nessa questão de redução de massa, acho que vocês já até falaram um pouco, mas, por exemplo, o uso de processos de soldadura a laser, né? Pra que você retire o uso de prendedores, por exemplo, do mercado.

Participante A: A gente tem vários projetos, inclusive, nós temos um Guia DFE e em um dos exemplos eram peças que eram rebitadas, né? Depois virou termoplástico, então, diminuiu a quantidade de peças, de prendedores...

Pesquisador: Então essas já são iniciativas usuais?

Engenheiro A1: E tem aquela solda que o DT desenvolveu também que, que eu acho que nossa atual família de aeronaves comerciais usa.

Engenheiro A2: *Friction stir welding environmental.*

Engenheiro A1: Isso.

Engenheiro A2: É, na nossa atual família de aeronaves comerciais usa isso já na produção, eu não sabia.

Engenheiro A1: Acho que sim. Pelo que eu tô entendendo...

Participante A: Então a gente já faz isso, também.

Engenheiro A1: Não que tudo seja com ela usada, mas que eu saiba eles já aplicam em algumas coisas.

Engenheiro A2: Sim, sim.

Pesquisador: Já para a redução de número de prendedores, número de peças...

Engenheiro A1: É.

Engenheiro A2: Exato, exato.

Pesquisador: Aqui, também, esse tópico, nesse tópico a Fundação traz um pouco a questão dos resíduos, né? Então, você diminuir, você trabalhar com instruções de trabalho e procedimentos que incentivem a gestão dos resíduos.

Participante A: Isso. É... A gente tem algumas iniciativas e uma que tá no nosso Guia, também, é um processo chamado *nesting* que é um programa... É, quer dizer, se você tem um bloco de alumínio, ele faz a melhor distribuição de peças, pequenas peças pra ter um aproveitamento máximo. Então, isso aí deu uma redução.

Pesquisador: Legal.

Participante A: É... Isso de resíduos... Você quer ver outro que a gente... Ah, eu acho que da pintura cabe aí... A gente mudou...

Engenheiro A1: Da pintura, da cablagem...

Participante A: Tem a da cablagem, a gente fez projetos de DFE do grupo de cablagem mesmo, que a gente jogava muito material fora e aí várias células fizeram um trabalho baseado na metodologia DFE pra redução. É... A pintura, a Empresa 01 usa robô pra pintar partes da aeronave e a redução é de 30% da quantidade de tinta e, evidentemente, na emissão dos gases voláteis durante o processo.

Pesquisador: Porque eles conseguem fazer uma camada mais uniforme, mais fina...

Participante A: Mais uniforme, é. E a gente usa na, na fuselagem, a gente usa esses robôs, inclusive a Empresa 01 não permite ninguém visitar e quando teve o pessoal da ICAO aqui a gente foi lá ver e eles fica impressionados porque eles também tão querendo... Eles não têm esse processo. Você pega o avião, assim... Imagina, tem lá o nariz faz isso, o robô vai acompanhando toda essa superfície do avião. Ele pinta sozinho o avião, o robô.

Pesquisador: E esse foi um processo desenvolvido na Empresa 01?

Participante A: Na Empresa 01. Uma empresa junto com a Empresa 01 desenvolveu...

Engenheiro A2: Junto com a empresa fornecedora do robô.

Participante A: Empresa fornecedora do robô... Então, a gente fez... Mas, só que daí, ela se baseia nas dimensões da aeronave e aí faz... Faz a pintura toda. É muito legal o processo de pintura. E teve essa redução muito grande de tinta.

Pesquisador: É... 30% é um valor muito expressivo.

Participante A: É alto.

Participante A: E a parte de resíduos, só pra ilustrar, já que tá falando de resíduo...

Pesquisador: Sim, claro.

Participante A: Os resíduos de alumínio, a Empresa 01 vende pra uma empresa de Itaquaquecetuba e aí eles reaproveitam pra outro uso, não pro uso aeronáutico. Porque o problema do... Inclusive eles usam mais pra peças de parte de casa, carro... É... Às vezes o pessoal fala de fazer panela, mas é... O alumínio do aeronáutico não dá pra fazer panela porque ele é muito contaminado com as ligas, né?

Pesquisador: Sim.

Participante A: Mas dá pra fazer, assim, esquadrias, dá pra fazer isso. Então a gente vende pra, pra essa empresa.

Pesquisador: E a questão de resíduos, aqui até eu trago um exemplo, né? De gestão de resíduos aeroportuários... Mas a questão de resíduos fabris, também...

Engenheiro A1: Uhum.

Pesquisador: Então, existem iniciativas sustentáveis dentro da fábrica?

Participante A: Ah, sim... Não tem nada pra aterro é tudo reaproveitado.

Pesquisador: Tá.

Participante A: Inclusive, as fábricas de, de Portugal... Aqui, aqui nós temos um problema de reaproveitar porque as, as ligas são misturadas. Em Portugal, não. Eles já fizeram uma coisa separada pra poder reaproveitar o alumínio por liga... Não, não misturado.

Pesquisador: Então, já existem trabalhos também pensando na fábrica?

Participante A: Na fábrica, só que isso não é uma atividade nossa. Porque o nosso é só o produto.

Engenheiro A1: Nosso time, né?

Participante A: A gente pode influenciar processos de fabricação da aeronave agora essa parte dos resíduos é o... A área de saúde, segurança e meio ambiente da fábrica.

Engenheiro A2: É, a gente tá falando de cavaco de processo de produção.

Participante A: De fabricação.

Engenheiro A2: Agora... Panos que, todo dia, tem pessoas que usam 5, 10 panos, né? O pessoal da produção... Porque aplica selante, aplica é... Cola, aplica adesivo, aplica calço líquido... Ele precisa limpar ali o excesso. Isso, um pano contaminado... Isso aí, eventualmente vai pra aterro, não sei... Se é incinerado...

Participante A: Não, pro aterro não vai. A Empresa 01 não tem mais nada pra aterro, tudo incinerado.

Engenheiro A2: Tudo bem, pode até ser... Mas isso não tem como se reaproveitar.

Participante A: É, não tem.

Engenheiro A2: Deve ser incinerado por alguma outra empresa.

Engenheiro A1: Não, é... Vende pra incineração.

Participante A: É, vende pra incineração, isso.

Engenheiro A1: E faz energia.

Engenheiro A2: E que muitas... E outros resíduos que são, que são gerados.

Pesquisador: Mas todos esses hoje são geridos...

Engenheiro A1: Sim.

Engenheiro A2: São incinerados.

Pesquisador: E são destinados...

Engenheiro A1: 100%.

Pesquisador: Ou pra uma incineração ou pra algo que...

Participante A: É.

Engenheiro A2: Eu não sabia dessa informação do aterro.

Participante A: 100%... Não, não, isso aí a gente tem. É porque a gente tem, a gente tem as auditorias da ISO 14000 por isso que eu sei.

Engenheiro A2: Certo.

Participante A: Que eu participo lá com esse pessoal da saúde, segurança e meio ambiente.

Engenheiro A1: Eles olham pra fábrica...

Participante A: Eles que são a fabricados, né?

Engenheiro A1: Pro resíduo fabril.

Pesquisador: É... Eles olham pra infraestrutura, pra tal...

Participante A: É.

Pesquisador: Legal.

Pesquisador: Hum... Algumas outras práticas, aqui, são vinculadas à questão de algoritmos, né? Você até mencionou o algoritmo que estuda o melhor encaixe das peças, né?

Engenheiro A1: Sim.

Participante A: Sim.

Pesquisador: E a gente tem algumas outras práticas no sentido de análise de desmontagem, então eu não sei se vocês trabalham com algum *software* de manufatura...

Engenheiro A1: Isso tem, sim.

Participante A: Sim.

Engenheiro A1: Sim, tem, é... Tem aquelas coisas. Porque assim, ó... Eu tenho alguns amigos que já trabalharam na manufatura... Tem muito, é... Aquela coisa de ergonomia, simulação da manufatura.

Participante A: É, então... Mas isso aí...

Engenheiro A2: É, a gente faz análise, né? Pra dar montagem... Tem toda uma...

Engenheiro A1: Isso.

Participante A: Não, eu lembro...

Engenheiro A2: Existe...

Participante A: É, a gente faz a parte de ergonomia e que também de manutenção há muitos anos...

Engenheiro A1: É.

Participante A: Porque eu lembro quando eu era da GSA ainda... Vixi, faz mais que uns 15 anos... Que a gente comprou aquele software chamado “Jack”. Ele, ele você simulava a parte toda de ergonomia e, também, de manutenção.

Engenheiro A2: Exato.

Engenheiro A1: E tem, também, todo um projeto de, é, trabalho com a aeronave que é de diminuir os roteiros em papel, então, o pessoal usa... Algumas aeronaves, não sei se todas... Aí, talvez, vocês saibam melhor que eu... É... É tudo com *tablet*.

Participante A: Ah é, é isso.

Engenheiro A1: Tanto na manutenção, eu sei que tem... Tem uma questão toda de você ter os dados da aeronave, e o trabalho pra fazer manutenção e saber qual que é a parte da aeronave que tá... Tudo inteligente, né? E tem toda uma questão de redução de papel na... Nos roteiros, né? Então os, o pessoal do processo eles recebem isso em *tablets*. E aí eles fazem tudo, né? Conforme...

Pesquisador: Os roteiros.

Engenheiro A1: Conforme mostra e aí ali você pode ver vídeos, né? Não só ter um desenho. Então eu sei que tem várias coisas desse tipo.

Engenheiro A2: Não é uniforme, mas existem... Existem lugares...

Engenheiro A1: É não é em todos os lugares, mas já existe. É.

Engenheiro A2: Às vezes não precisa nem de *tablet*, se a montagem é pequena...

Engenheiro A1: Sim.

Engenheiro A2: Não requer locomoção, assim, é...

Engenheiro A1: Tá perto.

Engenheiro A2: Por muito tempo a pessoa fica perto ali da montagem e tem uma estação de computador ali perto, pode ser que ele use o computador.

Engenheiro A1: É.

Engenheiro A2: Mas a base é a mesma do *tablet*.

Engenheiro A1: Isso, é a mesma coisa, usar menos papel.

Engenheiro A2: Então, o operador sabe naquela montagem, ele tem que usar tantos prendedores e tem que usar a peça tal junto com a tal, né? Então, ele separa aquele “kitzinho” que ele vai fazer naquele momento, seja pelo *tablet*, seja pelo computador, ele já sabe... Leva até a estação de trabalho dele, efetua aquele... Aquele passo do roteiro que ele já previamente leu e que antigamente tinha que assinar, falar que deu baixa pra passar, eventualmente, pro segundo turno

e tal pra continuar aquilo mas hoje tudo eletrônico, ele entra com o *login* dele, ele afirma que terminou e a etapa dá como concluída, tem o registro da hora, quem fez e tudo mais. Se a qualidade quiser auditar e tal...

Pesquisador. Tá. Então, a questão já de virtualização, né? Vou até...

Participante A: É, um outro exemplo...

Pesquisador: Depois a gente volta no ciclar...

Participante A: Os manuais, também, da aeronave... É tudo digital agora, não tem mais papel no avião...

Pesquisador: Que até aqui, o que vocês estão falando se enquadram aqui, como eu falei, na virtualização...

Participante A: Ah, sim.

Pesquisador: Que é a questão de você pensar no TI verde, né? Então...

Engenheiro A2: Hum.

Participante A: É, a gente tem muito disso, lá... O DMU a gente tem, a gente faz muito... Reduziu muito ensaios em solo fazendo virtual e a gente também teve uma campanha grande de redução de ensaio em voo. Quer dizer, muito mais coisas simuladas do que fazer ensaio em voo. Tivemos uma redução.

Pesquisador: Tá, então, hoje isso é aplicado tanto... Desde a parte da manufatura até a parte de ensaios...

Participante A: Sim.

Engenheiro A1: Vai gastar menos combustível, inclusive, né? Poluir menos, gerar menos CO2...

Participante A: É.

Engenheiro A2: Isso aí.

Engenheiro A1: Mas é claro que tem todo o... Vários voos que são imprescindíveis...

Participante A: É, não... Esses têm que fazer.

Engenheiro A1: E aí a gente tem que fazer, mas a questão foi reduzir, né? Mesmo... Eliminar é impossível.

Pesquisador: Certo.

Pesquisador: Aqui, o próximo tópico é ciclar, né? Que é um assunto aí...

Participante A: A gente já falou um pouco, né? Reciclagem de carbono...

Pesquisador: Isso... Falamos um pouco e ele é ali pela pesquisa, né? A gente viu que ele é bastante desenvolvido mundialmente, então, dos assuntos trazidos, ele é o que a gente acaba encontrando mais práticas...

Participante A: Aham.

Pesquisador: Então, a AFRA traz muito a questão da reciclagem, né? Você reaproveitar materiais, você reutilizar e a Boeing também, a Airbus, publicam sobre isso, né? Encontrei até algumas de outras empresas... A Empresa 01 tem... Tem publicações nessa parte de reciclagem de materiais, né? E, aí, acho que a gente já acabou comentando...

Participante A: Isso.

Pesquisador: Sobre a reutilização que hoje vocês utilizam isso, mas ainda não fazem transferência para outros mercados como na questão que a gente achou aqui do mobiliário... Trabalham mais dentro da própria aeronáutica, certo? Eu acho que esse, em geral, a gente já... Já falou.

Pesquisador: Esse tópico aqui, é um tópico que eu acho importante e que eu, eu não tenho visto, né? Em pesquisas... Até, se a gente olhar nessa coluna aqui, não foi nada encontrado, mas que alguns autores trazem como fundamentais pra que o conceito de ciclar possa ser operado, que é a formação de sistemas... Aí a gente até falou de fornecedores, né? A questão de sistemas de

devolução e troca... A parte de rede ecoindustrial regional, então essa localização de fornecedores, né? E eu queria ouvir um pouco de vocês como que vocês veem isso, hoje, no mercado, a dificuldade de você não ter fornecedores perto ali, seja pra... Igual, a gente até comentou do descarte, que o descarte, ou você consegue empresas mais eficientes lá nos EUA que aqui no Brasil a gente ainda não tem uma cadeia de fornecedores definida pra isso, tá? Então, eu queria que vocês comentassem um pouco dessa questão de formação de parques industriais... De empresas próximas que reaproveitem o material uma da outra...

Engenheiro A1: É... É como o Participante A falou, né? Portugal, por exemplo, ela foi fabricada... A fábrica foi fabricada pra que tudo fosse o máximo aproveitado ambientalmente, sustentável e tal... Então, as ligas já são separadas...

Participante A: Sim.

Engenheiro A1: É mais fácil utilizar, né? Reutilizar. E você vê, por exemplo, tem a Alcoa, né? A Alcoa ela não é brasileira, né? Eu acho que ela tem indústria tanto americana...

Engenheiro A2: Americana, né?

Participante A: Quem?

Engenheiro A1: A Alcoa. Tanto nos EUA mas acho que tem na Europa também, né? Digamos, a gente recebe o metal da Alcoa, processa, sobra. A gente pode devolver pra Alcoa.

Participante A: Então, essa foi uma tentativa... De devolver.

Engenheiro A1: Mas aqui, pra gente, devolver sai muito caro.

Participante A: O custo de transporte pra lá seria...

Engenheiro A2: Terrível.

Participante A: Porque não se fabrica a chapa aqui, né? Fabrica fora.

Engenheiro A2: É... O mundo aeronáutico ele não...

Entrada do Engenheiro A3 na sala de *workshop*. Membro da equipe de *design for environment* da Empresa 01.

Engenheiro A3: Oi!

Pesquisador: Olá.

Participante A: Engenheiro A3, também é do grupo...

Pesquisador: Mais uma... Bem-vinda. Pesquisador... Prazer, tudo bom?

Participante A: Pesquisador...

Engenheiro A3: Prazer, tudo bom?

Engenheiro A2: Ele não tem uma... A cadeia de suprimentos, a cadeia de fornecedores no mundo aeronáutico, a gente pode dizer que ele é relativamente restrito, né? Então, a gente acaba ficando muito... As opções... Ela falou de uma cadeia de fornecedores regionais, né? Ou seja, próxima aqui pra evitar custo de transporte, né? Imagino que seja algo assim.

Participante A: Então, mas é difícil isso... É diferente da indústria automobilística que facilita isso.

Engenheiro A2: É. Indústria automobilística eles colocam empresas dentro das próprias montadoras.

Engenheiro A1: Querem vender pra mim, venham aqui. É tipo isso.

Participante A: É, exatamente, é. Então eles têm mais força com os fornecedores.

Engenheiro A2: Pra gente...

Participante A: Agora, veja um exemplo nosso mesmo... A gente fabricava e montava aqui, por exemplo, os nossos jatos executivos, né? Que é um avião... Um jatinho pequeno. As partes, várias, muita coisa fabricada aqui e várias coisas de fora. Por exemplo, EUA... Motor é de lá. Aí a gente transferiu essa unidade pra Flórida. O que que acontece agora? As partes que eram de lá, ficou perto, só que as que eram fabricadas aqui ficaram longe. Então, o problema da

indústria aeronáutica é que os fornecedores, de um modo geral, estão espalhados no mundo. Você vê... Tem fornecedor do Japão, Coréia do Sul, Chile, Noruega, Inglaterra, EUA, Canadá, Brasil... Então, assim, não tem, por exemplo, trem de pouso... Faz aqui, a Empresa 01 tem uma fábrica de trem de pouso. Faz no Canadá... Acho que são três no mundo... Então, assim, não tem jeito de estar tudo próximo.

Engenheiro A2: É, e...

Participante A: E eu acho que ninguém pensa no ponto de vista ambiental. Eu acho que o *driver* sempre é custo.

Engenheiro A2: E a gente não pode esquecer que empresas aeronáuticas também são grandes clientes de subsídios públicos. E por tanto tem compromissos, né? Na geração de empregos em diferentes países os quais estão subsidiando. A gente tem um exemplo na Defesa, do nosso avião para transporte tático/logístico e reabastecimento em voo que pediu pro... Assim, o avião tem uma promessa de vender em Portugal, por exemplo, então eu preciso fazer tantas peças do avião, tantas estruturas lá em Portugal. É um compromisso que o governo fez, inclusive o governo subsidiou, o governo português, a fábrica de Portugal. Foi... E aí, portanto, você... É um espalhamento natural, político... Você não tem muito o que fazer... República Tcheca aconteceu isso também... Na Argentina tem estrutura do avião que é fabricada lá também por acordo entre, entre governos...

Engenheiro A1: Para que a aeronave seja comprada depois, você precisa gerar emprego no país.

Engenheiro A2: Então, eles precisam fabricar peças e aí são integradas, atualmente, em Gavião Peixoto, que é a montagem final do avião para transporte tático/logístico e reabastecimento em voo e pronto. Ou seja, a rede próxima de fornecedores acaba ficando algo utópico.

Engenheiro A1: Mas, com certeza, eu entendo isso, né? De que existe todo um... Algo que pode ser melhor aproveitado em relação a... Igual você falou, né? De fazer parcerias com o fornecedor. Claro que coisas muito simples são mais fáceis, por exemplo... Eu sei que a 3M ela tem todo um trabalho com aquelas esponjinhas lá, de cozinha mesmo, né? De reaproveitar todas elas, mas você tem que trazer de volta pra 3M, então... Porque é uma coisa que é descartada no lixo comum. Mas, eles desenvolveram um processo que, se você devolve pra eles a esponja, eles reutilizam ela totalmente.

Pesquisador: 100%.

Engenheiro A1: Mas tem que ter esse trabalho...

Engenheiro A2: Tem um custo.

Engenheiro A1: É a mesma coisa de coletar óleo de cozinha, por exemplo, né? Que mercados que coletam e depois, sei lá, fazem sabão, coisas do tipo.

Engenheiro A1: E agora uma coisa que a gente não falou, que eu acho legal, que tem a ver também, talvez, com essa questão de ciclar são os *leasings*, é... O nosso *pull* de peças...

Participante A: Ah, sim... É... A Empresa 01 tem, tem um *pull* de peças em pontos estratégicos em que ela garante lá a entrega de peças, por exemplo, em 24h. Então, ela...

Engenheiro A1: É, por exemplo, ao invés da pessoa comprar um, né? Ficar comprando a peça direto, ela compra o serviço da Empresa 01. Então, a Empresa 01 entrega pra ela a peça aonde ela estiver e é um pouco mais fácil isso, então, é... A gente tem um estoque, né?

Participante A: Isso.

Engenheiro A1: E, então, ela... Enfim, a gente presta um serviço, né? Não é simplesmente comprar peça. A gente presta um serviço pras empresas e várias empresas fazer parte desse *pull*. Porque, realmente, a aeronave no chão... A aeronave foi feita pra voar e não pra ficar no chão. Quanto mais tempo e solo, mais custo.

Participante A: E relacionado com fornecedor, tem um pouco a ver, é... A questão das, das embalagens. Então, a Empresa 01, nessa época que a gente começou com essas iniciativas de DFE, mesmo, entrou um pessoal também da fábrica, eles fizeram 95 projetos de redução de embalagem. E uma delas é pros EUA que, por exemplo, vem uma peça grande que vinha de madeira, então chegava aqui, desmanchava e a madeira jogava fora. Aí fizeram metálico e fizeram de uma maneira em que a desmontagem ficaria o menor espaço possível pra poder mandar de navio de volta. Aí, reduziria o custo do transporte da embalagem mesmo.

Pesquisador: Legal.

Participante A: Que esse que era um problema... Então, foi feito isso e feitos vários outros, assim. E, no nosso Guia, que a gente tem na intranet pros usuários, tem esse exemplo de embalagem. Por exemplo, tinha uma peça do nosso jato executivo que jogava quatro vezes fora essa embalagem porque a peça ia daqui pra um fornecedor, embalava, chagava lá jogava fora, ele fazia alguma coisa, embalava e mandava pra cá... Quadro vezes. Aí fizeram um tubo de PVC e agora põe dentro do tubo e esse tubo fica circulando. Então teve também essas iniciativas da fábrica, de consumo.

Engenheiro A1: E dentro também, né? Assim... Peças, por exemplo, que vão de uma área pra outra...

Participante A: Ah, sim.

Engenheiro A1: Ah, pintei, depois vou fazer não sei o que, depois vou... Processo, né? Se você... Como a gente tem que cuidar da peça pra que ela vá intacta, é.... Foi feito, vários lugares, foi feito carrinhos com rodinhas. Então, você coloca a peça em cima, né? Fixa ela, sei lá... Uma peça grande mesmo, né? E, aí, você empurra até o próximo lugar e vai empurrando, então, você não usa mais embalagem nenhuma.

Participante A: É... Teve uma redução grande de embalagem aqui dentro.

Engenheiro A1: E tem, também, essa questão do *leasing*, né? Que a Empresa 01, ela vende uma aeronave e aí, enfim, ela... É como se fosse um aluguel mesmo, né?

Participante A: Uhum.

Engenheiro A1: E vai trocando, então a aeronave na verdade é da Empresa 01. Tem toda uma questão. Também, que... Que é como se fosse um serviço e não mais, né? Pensar em serviço não só em entregar um produto.

Pesquisador: Passa a utilizar o PSS, basicamente...

Participante A: Isso, é.

Pesquisador: E esse volume de uso de, né? Troca, vamos falar assim, do que era produto pro que tá virando PSS... Isso vem crescendo?

Participante A: Vem.

Pesquisador: Em grande volume?

Participante A: Ah, não só a Empresa 01, todas as empresas. Tem fabricante de motor agora que tá com esse projeto aí... A Rolls-Royce é uma. De não vender mais o motor... Que o motor custa uma fortuna, né? Não vende mais e vende hora voada... É uma outra maneira de... De atuar.

Engenheiro A1: E, aí, eles fazem um motor que dure mais...

Participante A: Mais...

Pesquisador: É interesse deles, né?

Participante A: É interesse deles.

Engenheiro A1: Que use menos matéria-prima, que precise trocar menos peças, então, aí você entra com esse conceito de economia circular, né?

Pesquisador: Sim.

Engenheiro A1: Fazer para durar o máximo que tempo, pra trocar o mínimo de coisa, fazer, enfim, o fim de vida ser o mais longe possível.

Pesquisador: O virtualizar a gente já passou...

Participante A: Trocar.

Engenheiro A2: E isso diminui o custo de todo mundo, né? Se comprar um motor por hora, adquirir um motor pagando hora voada é muito mais fácil pra, pra companhia aérea sobreviver no mercado.

Pesquisador: E a questão do suporte... Você até falou, essas aeronaves são da Empresa 01... E aí vocês fazem toda a gestão da aeronave, desde a operação, enquanto ela opera, troca...

Engenheiro A1: É, eu não sei exatamente muitos detalhes porque não é bem nossa área, é a área de suporte ao cliente que cuida disso, né? Que hoje é a *Service Care*, né?

Participante A: É.

Engenheiro A1: Que poderia te dar mais detalhes... Acho até que você encontre na internet alguma coisa, né? Eu acho... *Service Care*, Empresa 01 e tal.

Pesquisador: Legal, eu vou pesquisar.

Engenheiro A1: Mas, assim, eu não sei muita informação, detalhes de como que funciona tudo, né? O processo deles...

Pesquisador: Tá.

Pesquisador: E aqui o conceito da troca...

Participante A: A gente falou um pouco... Do interior...

Pesquisador: A gente também já falou um pouco, dá pra ver que as coisas são bem interligadas, né? Então os conceitos, eles acabam se misturando um pouco, né? Como estratégias a gente aqui tem muito sobre o *design*, né? Então, você trabalhar com modularidade, você trabalhar com a questão do *design* pra desmontagem...

Engenheiro A1: Uhum...

Pesquisador: Então, lá desde a fase de projeto, enquanto você tá pensando na aeronave você já tá pensando como ela vai ser desmontada no fim da vida.

Participante A: Então, aí, é um ponto que, no caso, por exemplo, do interior... A desmontagem dele é muito pensada, bem pensada, mas não no fim de vida... Porque quando você faz um *check C*, por exemplo, você tira todo o interior pra fazer as inspeções.

Engenheiro A1: É, manutenção...

Participante A: Então, no caso de manutenção.

Engenheiro A1: Como você tem que facilitar a manutenção você já faz isso...

Participante A: Só que a gente, nós estamos tentando colocar na cabeça das pessoas do grupo que a gente chama de DAP que é a área de ante projeto essa conscientização, que se você na sua pesquisa está avaliando dificuldades, essa é uma grande dificuldade, é conscientizar as pessoas sobre esse assunto. Isso que leva tempo e é difícil, porque é uma mudança de... As pessoas têm uma tendência de não mudar o seu jeito de trabalhar. Quando você entra com uma coisa nova, é... Eu falo porque ruído, quando eu cheguei aqui, ninguém queria saber que, de reduzir o ruído do avião da parte interna porque ninguém ligava. É... E ninguém queria ouvir porque a gente só ia aumentar peso da aeronave e tal... Demorou anos e anos, aí quando os clientes começaram a cobrar, pronto! Agora, aí inverteu... Aí a área de ruído era chamada pra dar soluções...

Participante A: E esse assunto, eu vejo uma grande similaridade porque hoje é a mudança, a mudança no jeito de trabalhar... Por exemplo, até agora a Empresa 01 quando fabrica uma aeronave, tá começando a pensar, mas vamos dizer há algum tempinho atrás ela não pensava que vai acontecer na hora de desmontar. Eu tenho que me preocupar com isso? Eu tenho que facilitar a desmontagem? Eu tenho que evitar uma solda pra depois... Não, não se pensava nisso porque a empresa só... A empresa só pensava até o momento de certificar a aeronave. Certificou e eu vou fabricar tudo igual, então, não se pensa mais. Só que a gente introduziu o ciclo de vida do produto inteiro, nós temos até uma figurinha do ciclo todo do produto... Então, é essa a conscientização que a gente tá trabalhando agora em novas possibilidades aí de aeronaves... Se a gente for fazer um novo avião, a gente já tá convencendo as pessoas do DAP, né? Esse departamento, de que tem que pensar nisso. Mas há uma resistência... Isso aí, é... É difícil, mas a gente tem que mostrar...

Engenheiro A1: Mas a gente já evoluiu muito, né, Participante A? Muito.

Participante A: Ah, sim. É... Hoje já começam a olhar com outros olhos e veem a importância. Tanto é que o nosso, no nosso trabalho chegou um ponto que a gente... Nós fomos falar com a área de inteligência de mercado, nós vamos focar muito nisso ou vamos focar na parte que é legislação? Vale a pena continuar, né? Eles falaram, não, vale a pena e é importante ter isso no produto. Então, assim, é... Mas só que você tem que convencer as pessoas, tem que mostrar o benefício.

Pesquisador: Acho que isso envolve, inclusive, a questão do custo, né? Que é o que a gente tinha falado... Você falou... Esse processo do *laser*, né? Você até falou... Que estraga pouco a aeronave...

Participante A: Isso... Tudo é...

Engenheiro A1: É.

Pesquisador: Então, quanto menos você estragar pra desmontar, pra reaproveitar, mais retorno você vai ter, né?

Participante A: É.

Engenheiro A1: Sim.

Participante A: Quando a gente começou o DFE aqui, até por uma sugestão de uma colega da área, ela falou assim... Vamos identificar trabalhos, né? Fazer algum projeto de que dê retorno financeiro. Que daí você convence as pessoas.

Pesquisador: Sim.

Participante A: Então por isso que a gente viu essa questão do material composto, do compósito... Que a gente viu a da cablagem elétrica, então... A questão das embalagens, tudo redução de custo. Então, fazer DFE não é só, é... Complicar ou encarecer, as também é uma comum associada, né?

Pesquisador: É... Agregar retorno.

Participante A: E grande, muitas vezes, né?

Pesquisador: Então, hoje, a gente pode considerar que é uma atualidade, mas que a gente ainda tem muito... Isso não tá aplicado nos projetos atuais... Então, vocês tão numa fase de convencimento das equipes...

Participante A: Isso... É... Pra você... Eu tenho uma apresentação, não sei... Se der tempo eu passaria ela pra você depois...

Pesquisador: Tá.

Participante A: É do que a gente já fez pra atual família d aeronaves comerciais. O avião é o... É... O avião modificado, né? Esse que tem menos emissão de ruído e de... De gases. Então lá já foi feito esse trabalho de mais de cinco anos que a gente tá batendo lá na tecla sobre esse assunto. Só que a gente teve dificuldade de incorporar algumas coisas... A gente queria saber, por exemplo, o percentual de reciclabilidade desse avião. Tava dentro do plano só que não... A gente não conseguiu implementar do jeito que deveria... Então, a tendência agora, nos novos produtos, isso já sair de cara...

Pesquisador: Mapeado...

Participante A: Mapeado e garantido que vai acontecer.

Pesquisador: Legal.

Participante A: Por isso que eu falo... Uma das dificuldades de trabalhar na sustentabilidade é conscientização das pessoas da empresa. Isso é difícil... Não é fácil. E pra gente é mais complicado porque o ciclo do produto é muito longo, né? Quando você perde um, você só vai ter o outro daqui alguns anos, né?

Pesquisador: Sim.

Participante A: Por exemplo, em empresas de produtos pequenos, a gente trabalhou muito com a Natura, assim... A gente fez até trabalhou em conjunto com a Natura... Pra eles é fácil! É a embalagem de um... De um perfume. É, é uma coisa simples... Não tem que certificar, não tem que, né? Só modificar, né? Então é muito mais rápido. O nosso... A aplicação de DFE na indústria aeronáutica é muito mais complicada.

Engenheiro A1: É... Quanto mais complexo o produto, né?

Participante A: E o ciclo...

Engenheiro A1: Então... A indústria, processos, produtos complexos são...

Participante A: É... Mais difíceis. E o ciclo muito longo, né?

Engenheiro A1: É.

Pesquisador: A questão, aí, a gente já falou...

Participante A: Eu só queria falar uma coisinha já que você tá falando de *design* pra desmontagem...

Pesquisador: Claro!

Participante A: Tem um grupo que trabalha também com DFX e a gente trabalhou junto com eles colocando nosso tópico lá... Porque toda essa parte toda...

Engenheiro A1: Todos os *designs for*...

Participante A: Metodologia... É... *Design for* alguma coisa...

Engenheiro A1: *Disassembly*...

Participante A: É colocado...

Pesquisador: Ah, então tem um grupo específico que trabalha com *design* pra montagem...

Engenheiro A1: No DIP, né?

Participante A: No DIP tem um grupo que trata disso. E aí nós fomos chamados pra, pra colocar a nossa parte lá, de DFE.

Pesquisador: Legal.

Pesquisador: Aqui, as questões de *design*, né? Aplicação de novas tecnologias, também é um tema bastante importante...

Participante A: Sim.

Pesquisador: Então, agora eu queria que vocês também falassem um pouquinho sobre a aplicação das novas tecnologias, por exemplo, impressão 3D. Se vocês já têm feito isso nas aeronaves, né? Pensando na inovação de materiais...

Participante A: Tá começando a pensar nisso, mas eu acho que não é muito... Agora, nós temos fornecedores que já usam peças em 3D. Fabricante de motor que já usa...

Engenheiro A1: A gente tem, assim, em interiores a gente tem... A gente tem.

Participante A: Interiores tem bastante, já. Faz tempo que tem, já 3D.

Engenheiro A1: É... Tem o... Tem muito, assim... É... Há alguns anos, foi... Começou até com protótipo, pra fazer... É... *Mockup*, coisas desse tipo. E... Mas, assim, tem vamos dizer, conforme avança, né? Na... Nas pesquisas, avança aqui dentro também. Então, existe sim, áreas que trabalham com isso, mas não é assim... É... Acredito tão expressivo quanto, talvez, outras indústrias.

Pesquisador: Então, ainda é uma...

Engenheiro A1: Mas a gente faz. A gente tem impressoras 3D, a gente tem, é... Pesquisas com o ITA que tem... Eles têm várias impressoras 3D, também. A gente tem impressoras aqui dentro...

Participante A: Ah... Uma coisa que a gente não falou na parte de, é... É que a gente faz, é... Avaliação da aeronave toda com... Com... Como é que chama lá aquele... Nosso centro de... Virtual lá...

Engenheiro A2: “DVTrom”? Eu sei qual que é, mas... É aquele via virtual, né?

Participante A: É.

Engenheiro A1: Que usa os óculos?

Participante A: Isso.

Engenheiro A1: Realidade virtual?

Participante A: Realidade virtual... A gente usa já há muitos anos...

Pesquisador: Ah, legal... Virtualização, então.

Participante A: Isso.

Engenheiro A1: Inclusive, manutenção, né?

Participante A: É, pra manutenção... É muito utilizado.

Pesquisador: Isso já faz bastante tempo?

Participante A: Isso há muitos anos... Mais de 10 anos, eu diria... É, porque se eu estou há dez nesse assunto, era uma coisa que a gente já fazia antes de eu começar isso.

Pesquisador: E, é utilizado, hoje, pra manutenção e pra fabricação, também?

Participante A: É. E também... E, também, pra... Pro desenvolvimento. Quando a pessoa quer, por exemplo, ele vai... Vai instalar um sistema de ar condicionado, ele tem que ver aonde ele vai fazer a passagem dos dutos... Então, ele usa a realidade virtual pra isso. Ele vê o... Existe um *mockup* do avião tá lá já... Aí ele vê onde ele vai passar, as curvaturas, se ele pode... Como que ele vai fazer... Então ele é... É muito utilizado isso.

Pesquisador: Legal.

Pesquisador: Bom, do *framework*, em geral, eram essas as seis ações, tá? Então, aqui, dos resultados teóricos, é... Eu trouxe os mais expressivos, né? Que é, basicamente, vinculado à questão de motorização, combustível... Então, hoje, é o que mais se encontra materiais... Esse primeiro tópico, até pensando na redução de CO₂ de aviação, né? Então tudo que se encontra academicamente sobre cobrança na literatura... Hoje, ou tá vinculado à questão de redução de CO₂ e troca de combustível fóssil ou tá vinculado à questão de remanufatura e reciclagem de materiais. Então, o grande volume da pesquisa, o grande volume acadêmico dos artigos encontrados, estão vinculados a isso, né? Então a contribuição da pesquisa foi destacar justamente que, academicamente, de forma registrada mesmo como ciência, as iniciativas ainda são tímidas né? Então, até por isso, que eu quis trazer a pesquisa para a indústria, né? Aqui a gente viu uma série de trabalhos que vocês vêm fazendo dentro da indústria que vocês mencionaram e que não são publicados.

Participante A: É... E que não é publicado.

Pesquisador: Então, eu queria que vocês também falassem um pouco a respeito dessa distância, né? Entre a academia, vamos falar assim... Entre o meio científico e a indústria que também tem trabalhado já muito nisso e que essa comunicação não tem existido. Então, por que vocês veem que a comunicação não existe? Se é uma questão de restrição por patente, por exemplo... Ou por sigilo... Ou se é mais uma questão de afastamento mesmo... Que a universidade tá estudando lá no laboratório e a indústria tá desenvolvendo aqui.

Participante A: Não... Eu acho que não tá tão ruim assim. Eu acho que... Eu vou falar pela minha experiência. É... Eu vim lá de Santa Catarina, que a parte de ruído, né? Existe uma área específica de ruídos e vibrações lá... Aí quando eu cheguei aqui na Empresa 01, eu queria fazer um convênio tipo... Convênio com a universidade pra desenvolver um trabalho de pesquisa. Um trabalho em conjunto... Porque eu havia trabalhado em um grupo industrial e a gente tinha feito com a universidade uns projetos de ruído de usina siderúrgica. De fazer assim, por exemplo, quando você vai instalar um ventilador, antes de você comprar, em função das características você estima o ruído dele. A gente fez todo um trabalho com a universidade, é... Um trabalho de pesquisa que não é da indústria, aquilo é pra universidade. Aí quando eu cheguei aqui, eles falaram... A gente não faz convênio com nenhuma universidade. O primeiro trabalho que a gente fez um convênio fora do ITA foi esse do ruído com Santa Catarina e depois de algum tempo de convencimento. Isso foi o início. Aí depois, a gente criou o grupo, eram seis pessoas, que... Que de onde surgiu essa área de desenvolvimento tecnológico que hoje tem 300. Eram seis pessoas e eu era um dos seis, dessas seis pessoas que estavam ali... Porque eu gosto muito dessa interação com a universidade. E aí a gente começou esse grupo... Daí que... Partindo daí, a gente visitou algumas empresas, várias empresas... E viu como eles trabalhavam com as indústrias, com a... A indústria trabalhando com as universidades. E aí o... Esse departamento agora, a maior parte dos projetos dele é tudo com universidade, com institutos... Tem um instituto alemão, por exemplo, tem vários projetos com o grupo daqui... Eu te falei esse da aeronave silenciosa, teve o dos materiais, então, existe, é...

Engenheiro A1: São Carlos também, né? Em ergonomia...

Participante A: São Carlos tem muito... Na parte de ergonomia com São Carlos... o DFE mesmo, tudo que a gente... Tudo que eu vou te mostrar daqui a pouco, surgiu desse acordo com uma universidade pública de São Carlos... Então, eu diria que que não é tão grande, mas ele tá caminhado.

Engenheiro A1: É... E tem coisas, assim... Que a gente percebe, pelo menos na Empresa 01, né? A Empresa 01 tem muito essa cultura de não divulgar o que ela faz...

Participante A: É... Mas isso é um pouco da indústria aeronáutica.

Engenheiro A1: É... Mas, assim... No sentido de proteger mesmo, eu vejo... Não no sentido assim, nossa, não quero compartilhar com a academia... Mas no sentido, assim, de segredo, de sigilo, de ter uma patente...

Engenheiro A3: A Empresa 01 tem um seminário que acontece todos os anos também, que a gente acaba...

Engenheiro A1: Divulgando internamente.

Engenheiro A3: Divulgando internamente todos os trabalhos que estão sendo, que estão acontecendo na empresa.

Participante A: Mas, é interno. É, tipo... Parece um congresso na verdade...

Engenheiro A3: E aí, eventualmente, ele tem um *paper*...

Pesquisador: Só que é fechado pra vocês?

Engenheiro A1: Isso.

Engenheiro A3: É... Ele tem... A gente faz *paper* e tal pra submeter em aprovação pro congresso.

Engenheiro A1: Inclusive, é... E o motivo, que que eu entendi, né? Ele nasceu porque... Exatamente porque tinha muita gente que faz pesquisas aqui dentro, muita gente que desenvolve coisas aqui dentro...

Participante A: Ninguém sabe, né? A outra área não sabe.

Engenheiro A1: E, também porque, assim... A gente sabe que muitas coisas a gente não pode publicar fora. Então, pra que a gente pudesse pelo menos compartilhar internamente, foi criado esse congresso aqui...

Participante A: SETI. Seminário...

Engenheiro A1: É... Tecnologia e Inovação, acho que é.

Participante A: É... De Tecnologia e Inovação. Chama SETI.

Engenheiro A3: Mas, de alguma forma, não colabora com a academia em si, né? Que é a questão que ela tá questionando... Porque a gente não divulga.

Engenheiro A1: É.

Participante A: É. A única... Eu acho assim... Meio de colaboração com a academia é o DT... Desenvolvimento Tecnológico. Tem vários, muitos convênios. Muitos.

Engenheiro A1: Isso... Que são essas parcerias.

Engenheiro A3: E tem também o PEE. Que de alguma forma...

Engenheiro A1: É.

Participante A: Ah, o PEE... A especialização em engenharia que os três são do PEE, é... Engenheiros recém-formados estudam um ano e meio com bolsa do ITA e depois a grande maioria vem pra Empresa 01. Estão fazendo engenharia aeronáutica, na verdade...

Engenheiro A1: Mestrado, é...

Participante A: Faz um ano de matérias e seis meses pra fazer o projeto de uma aeronave.

Engenheiro A1: Isso.

Participante A: E, aí, tem o título de mestre...

Engenheiro A3: É... Isso.

Engenheiro A1: Pelo ITA.

Participante A: Pelo ITA.

Engenheiro A2: Você disse que tá há sete anos na indústria?

Pesquisador: Isso. Trabalhando com aeronáutica e estudando. Agora, pretendo ir pra Portugal. Acho que vou aproveitar e visitar a fábrica da Empresa 01 de Portugal, né?

Participante A: Isso...

Engenheiro A2: É... Lá, se você for lá, você vai reparar que é certificada. A fábrica, ela tem LEED... Você já ouviu falar do certificado LEED?

Pesquisador: Não.

Engenheiro A1: De construção.

Participante A: É de construção, de edificação.

Engenheiro A2: LEED. É uma construção que, enfim... Desde o DIP da construção da fábrica é pensado para minimizar os impactos, então, é altamente... Alto aproveitamento da luz solar, máximo possível pra que impacte... Assim, a temperatura interna, é... Tenta regular por isolantes, né?

Engenheiro A1: Materiais, mesmo.

Engenheiro A2: Materiais de alvenaria... Mas, enfim, claro... Tem lá o aquecedor porque o inverno chega a 0 graus, 1 grau que compromete, inclusive, a qualidade das substâncias e materiais que são usados na produção. Então, é... Você tem a fábrica de compósitos na verdade LEED prata não cumpriu alguns requisitos que a fábrica de metálicos que é uma avenida que tem... De um lado é uma e de outro é outra, atravessa a rua... Essa de metálicos realmente é LEED ouro, então... Para mais detalhes e informações você entra no site do LEED, e... Em São Paulo a gente tem um prédio LEED, né? Que ele... É todo espelhado, tem toda uma questão de aproveitamento, o uso mínimo de ar condicionado pra manter o clima... Pra manter a temperatura ideal usando o mínimo de ar condicionado, enfim, usa pouquíssimas luzes e as luzes que usam são de LED e etc., né? Gestão de resíduos, tudo isso... O esgoto.

Engenheiro A1: Aproveitamento de água.

Engenheiro A2: Aproveitamento... Tudo isso aí entra como pontos pro LEED. É um *checklist* público imenso e geralmente as empresas, as construtoras, elas contratam uma consultoria pra poder orientar e falar... Pô, como é que eu faço pra ser LEED? E aí, em troca, a construtora paga, não é nada de graça... Mas aí tem uma placa que fica exposta no prédio certificando que aquele edifício é LEED.

Pesquisador: Legal. E a fábrica de lá já é toda nesse conceito?

Engenheiro A1: É.

Engenheiro A2: Uma é LEED prata e a outra é LEED ouro.

Pesquisador: Legal.

Engenheiro A2: Dá pra fazer a atualização, né? *Upgrade*... Mas aí, tudo tem um custo, né? É lógico. Uma vez que foi certificado, é difícil recertificar.

Pesquisador: Muito bom.

Pesquisador: Então, gente, da pesquisa é isso... Eu quero saber se vocês têm alguma coisa a comentar, alguma coisa que vocês acham que faltaram, que seria legal acrescentar na pesquisa... Algum tema em específico ou no contexto em geral, por exemplo, você mencionou, Participante A, a dificuldade com as equipes, né?

Participante A: Isso. A conscientização.

Engenheiro A1: Ah... Eu acho que é legal mostrar pra ela, até que eu mostrei hoje de manhã, aquele paper curtinho... eu posso mandar porque é público... Da ASD... Que fala um pouco, por exemplo, da dificuldade da aviação e aeronáutica em atender legislações *current*. Que a ASD é Associação das Indústrias *Aerospace and Defense* da Europa, falando da dificuldade deles em cumprir a legislação europeia de restrição de substâncias químicas que seria o REACH.

Pesquisador: Tá, legal. Pode me mandar que eu agradeço.

Engenheiro A1: É interessante.

Participante A: Eu acho que a dificuldade, as duas maiores dificuldades que eu vi aqui... A conscientização e o outro é o envolvimento da cadeia de suprimentos.

Engenheiro A1: É...

Participante A: Porque se o avião for sustentável... Ela tá cuidando das cartinhas que vão pros... Ela tá cuidando da... Não é, é que nós estamos fazendo pesquisa com os fornecedores pra ver o conhecimento, o grau de conhecimento das legislações e, por exemplo, a gente identificou aí... A gente tá, nós estamos com um *software* agora que cruza uma aeronave, aquilo que foi cadastrado, o *cas number* de uma substância que é perigosa... Se tem alguma legislação que tá associado... E a gente identificou algumas que são, que chama de *very high concern* da Europa.

Engenheiro A1: Do REACH.

Participante A: É, do REACH... Agora, nós estamos perguntando pro fornecedor... Acreditamos que você tenha isso aí, você tem conhecimento? Você tá achando um alternativo? Aqueles que precisam de autorização, você já tá buscando autorização? Que a gente tá preocupado mesmo com a obsolescência... Que, se de repente, proíbe uma substância... É, a gente pode ter problema depois na fabricação, né? Porque a gente não... Na indústria aeronáutica você não faz uma alternativa de uma hora pra outra, né? Às vezes demora meses, até anos, assim... Até você testar tudo, passar por todo o processo de certificação... Então a gente tá fazendo essa pesquisa e a Engenheiro A3 tá coordenando aí as atividades.

Pesquisador: Legal. Então... Terminamos por aqui, e eu só tenho a agradecer... Agradeço por vocês me receberem e dedicarem o tempo de vocês participando dessa pesquisa de uma maneira tão completa. Muito obrigada.

Workshop na Empresa 02

Pesquisador: Bom dia. Primeiramente, eu gostaria de agradecer desde já pela sua disponibilidade em participar dessa pesquisa. Conforme conversamos, o objetivo desse workshop é a avaliação dos resultados teóricos da minha pesquisa sobre práticas de economia circular no desenvolvimento de produtos aeronáuticos, feita por um profissional experiente da aviação. Pra isso, eu gostaria de o meu framework fosse avaliado quanto aos exemplos de iniciativas da indústria aeronáutica para a transição de um modelo de produção e consumo linear para um modelo circular.

Pesquisador: Para a análise, estão sendo apresentados alguns quadros que detalham cada uma das seis ações do modelo ReSOLVE, proposto pela Fundação Ellen MacArthur, como ações a serem adotadas por empresas e governos para que eles façam a transição de um modelo linear para circular. Os quadros mostram estratégias circulares vinculadas a exemplos de iniciativas, na indústria aeronáutica, encontrados na literatura que compõe a revisão bibliográfica dessa pesquisa. Bom... A ideia é que você comente sobre suas experiências com o tema dessa pesquisa e sobre as aplicações que estão sendo aplicadas pela indústria. Fique à vontade, também, pra expor sua opinião sobre os resultados encontrados na literatura.

Participante B: Olá, Pesquisador. Eu li o seu trabalho, achei interessante e tenho alguns comentários, né? Algumas coisas que podem ser melhoradas ou melhor explicadas, né?

Participante B: Por exemplo, logo na introdução, onde você explica o porquê desses modelos sustentáveis, eu acho que cabe aí alguma explicação do porquê, em si. A adoção de modelos sustentáveis, em geral, na indústria, ela não é uma decisão da própria indústria... Existem duas linhas que o mercado segue, né? Produtos que são vendidos a consumidor final, eles têm realmente um apelo de o pessoal pensar na sustentabilidade como marketing. Porque o consumidor final pode ter conceitos pessoais, né? Opiniões pessoais de que é melhor o *environmentally friendly*, coisas do gênero. Agora, a indústria, ela não pensa exatamente dessa maneira, né? A indústria, ela é muito focada em legislação e custo/benefício. Então, por exemplo, a aeronáutica, ela não vende avião diretamente ao consumidor final, então, no caso da aeronáutica, penso que a maior motivação pra ir pra essa linha de produtos sustentáveis é, de fato, o atendimento de normas. Quer dizer, a população tem suas aspirações, elas fazem suas pressões nos senados, nos governos... Os governos criam as normas, são traduzidas nos órgãos de certificação aeronáutica e nos órgãos de controle... Uma CETESB, por exemplo... E de lá,

essas... Por essas normas que a aeronáutica é obrigada a correr atrás e repensar alguns processos. Mas, vamos lá... Performance, é algo que a indústria vem atrás, custo ela vem atrás... Redução de custo, redução de... Tanto de produção como de operação, a indústria vem atrás. Restrição de materiais que geram gasto pra empresas, só quando você tem pressões governamentais.

Participante B: Você mesma, na página 2, você fala, né? De... Existem outros fatores, né? O econômico e o social. Na verdade, eles são os mais importantes, né? O econômico é uma questão de posicionamento da empresa dentro do mercado e o social é essa pressão que eu tô falando, né? Que é... O governo, ele... Ele, pra atender as aspirações da população, ele normatiza e a indústria tem que seguir atrás.

Participante B: Na página 4, né? Você põe uma frase que você fala que a aeronáutica tá um pouco atrás, né? Eu não concordo, exatamente, com essa afirmação, né? Eu vejo que a indústria mais bem estruturada que existe é a aeronáutica porque é a indústria onde existe o maior número de requisitos, é uma exigência da operação da aeronáutica como você sabe, né? Toda a traceabilidade de produtos, traceabilidade de tudo... Isso aí tá dentro da própria certificação. Então, eu acredito que... E que em muitos casos, o próprio ambiente de desenvolvimento da aeronáutica e pelos custos também, né? Porque você tá falando de produção... Praticamente artesanais. Eles forçam o desenvolvimento de práticas que reduzem os custos. Lembre-se que, por exemplo, dependendo do produto que você usa, o descarte dele não é barato. A forma de você faz a anodização da fuselagem, os tratamentos superficiais... Então, pra você descartar esses produtos é muito caro. O resultado desses ácidos. Então, é uma questão do mercado, mesmo... Então, a aeronáutica, em alguns aspectos, eu penso que ela tá na frente de outras indústrias. Praticamente, 100% das sobras de retalho de alumínio aeronáutico são recicladas, ou seja, não se fala 100% dos produtos da automobilística.

Participante B: Outra informação que você coloca na página 4, né? É que a aeronáutica, né? Ela tem uma pressão grande pra reduzir o custo do *buy-to-fly*, a massa de matéria-prima por componente de massa de produto acabado. Aí, eu diria pra você que existem dois ambientes dentro da aeronáutica... Existe a aviação civil e a aviação da defesa. A civil, realmente, ela cai dentro dessa pressão pra reduzir o desperdício, né? Agora, a defesa, é onde é colocada a performance muito em evidência, então, são... É a área onde você acaba utilizando muito material usinado, você usa pouca chapa. Então, depende de quais são os requisitos. Você não pode afirmar que a aeronáutica trabalha sempre pra maximizar o consumo de... Minimizar o

consumo de matéria-prima por produto acabado. Na defesa, em muitos casos, quase que na maioria das peças que a gente faz, a gente nem cogita o uso de soluções mais simples, simplesmente, por causa de performance. Você precisa do avião leve e com uma resistência absurdamente alta. Então, não tem espaço pra você ter produtos, peças montadas, peças de chapa montadas... Você acaba precisando ter usinados.

Participante B: Na página 7, né? Onde você monta o seu framework... Eu tenho alguns exemplos, de... Que mostram um pouco o que eu tô falando, né? Por exemplo, no passado, a anodização crômica que era feita nas fuselagens, a anodização, provavelmente, você sabe... Ela é uma necessidade pra... Ela afeta a fadiga, mas é uma necessidade pra proteger a fuselagem contra corrosão e outros problemas que, eventualmente, podem existir. No passado, os aviões usavam muito as anodizações por ácido bórico e ácido crômico. Esses ácidos, ao longo do tempo, foram proibidos em alguns países e reduzidos em outros. De onde vem a pressão disso aí, né? Isso aí não é uma escolha da aeronáutica, isso aí foi uma escolha do mercado, das pressões da população que normatizaram em alguns países a proibição, como é o caso do Brasil... É proibido usar esses ácidos e buscou-se outras soluções... Elas são menos eficientes, mas elas são *environmentally friendly*, né? Como o uso do ácido fosfórico e tartárico.

Participante B: É... Outro ponto, você fala de... Dessa primeira tabela que é, regenerar... A aeronáutica tem buscado soluções pra melhorar a eficiência, redução de poluentes... Por exemplo, o que tá entrando na moda é o que você, provavelmente também já foi, quando você estava atuando, já deve ter mexido ou o pessoal já deve ter comentado, né? O uso de motores elétricos. Fala-se muito de hidrogênio, fala-se muito de outras soluções, mas, assim... Os estudos mais avançados, hoje, já indicam que essas outras soluções, elas não têm futuro, né? É muito difícil você conseguir viabilidade econômica e performance pra motivar um novo ciclo de desenvolvimento aeronáutico. O que espera-se hoje, dentro da indústria, o pessoal que tá mais ligado à concepção dentro das grandes fábricas, os grandes OEMs, hoje, olha-se com bons olhos as soluções com baterias em motores elétricos. Esse, provavelmente, é o próximo salto que a aeronáutica terá pra reduzir emissões, emissões eu não falo só de combustível, de poluição, também sonora e se desligar um pouco do uso de combustível fóssil.

Participante B: Na sua segunda tabela, na página 7, primeiro item que eu queria falar, acho que tem um erro de ortografia... Você fala alguma coisa de... Das galeras, acredito que você quis dizer *galleys*, então, dá uma pensada aí depois.

Participante B: Algo que vem sendo discutido nessa linha de compartilhamento e, na verdade, não vem sendo só discutido, né? Já existe várias iniciativas em andamento, como um grupo lá na Suécia, nós aqui na Empresa 02 já estamos trabalhando um pouco nisso também, que seriam os ferramentais flexíveis. Que que seria isso, né? Hoje, um gasto muito grande que existe dentro das empresas é com ferramentais, ferramentais e espaço pras montagens. Por exemplo, se você tem uma fuselagem, você tem que ter às vezes um ferramental com painel direito e um painel esquerdo. Isso pega no meio ambiente também, obviamente, né? Você tem que duplicar a fabricação de ferramentais e duplicar o uso do espaço. O espaço também tem os seus custos, né? A ideia do ferramental flexível, são ferramentais que você consegue, rapidamente, reconfigurá-lo pras outras funções, não só uma. Isso pode parecer uma bobagem quando você pensa em alto nível, mas vamos lá... A função mais importante de um ferramental é garantir as tolerâncias que são, extremamente, apertadas, né? Ferramental torto é problema na certa, né? Então, você criar um ferramental que ele possa ser reconfigurado, não é algo simples. Possa ser reconfigurado em pouco tempo e com pouco custo, né? Se não, não adianta nada. Então, e muitos casos, ferramentais no fundo, eles têm dispositivos hidráulicos, eles têm batentes, às vezes eles têm um processo de auto alimentação, né? Ele tem embutido nele, um *laser track* pra achar com precisão onde estão os braços... Então, isso já tem começado a acontecer, de ser usado na aeronáutica... Tem empresa já trabalhando com esse tipo de solução... Isso faz parte do futuro da aeronáutica.

Participante B: Outro ponto importante, né? Que tem crescido muito, né? É a parte do desenvolvimento de segmentos, desenvolvimento de peças... Você trabalhar com similaridade de peças. Mais uma vez, isso parece bobagem, mas você precisa ter um PLM extremamente desenvolvido pra você conseguir comunizar peças em aviões porque a certificação, ela é pesada, né? Como você sabe. Então, você usar uma peça de um avião no outro significa que você precisa revalidar, requalificar essa peça. Hoje, tem existido processos pra nos ajudar nesse tipo de trabalho onde você consegue, rapidamente, recalcular uma peça para uma nova situação. Você consegue ter um catálogo de peças e sair utilizando essas peças. Isso não era feito dessa maneira no passado... Tanto é que a gente vê entre aviões, às vezes, só porque o fabricante de um segmento é um *Latécoère* e o outro é uma *Sonaca* o *shear clip* é outro *part number*. Quer dizer, eles desenharam a mesma peça, que eventualmente poderia ser a mesma peça, mas não... Acabaram desenhando peças diferentes. Então, essa questão de gestão da informação, né? De um VPM, um PLM é algo que também tem atraído muita atenção.

Participante B: Outra coisa, né? A aeronáutica, eu ainda entendo ela como estado da arte, né? Por mais que, por exemplo, você disse que ela é um pouco atrasada, eu acho que tem coisas que ela é extremamente o oposto, é o estado da arte. Eu falei no áudio anterior sobre VPM e PLM, né? Algo que hoje é uma realidade na indústria aeronáutica de ponta é que a gente tá na segunda fase do *paper less*, né? O *paper less*, ele começou em escritório, né? Onde as empresas deixaram de usar impressão, né? Você pega, por exemplo, o grupo sueco, criador de sistemas de defesa e segurança aeroespacial, que nós trabalhamos... Hoje, eu posso dizer pra você... A impressão é mínima, mínima, mínima... Hoje, a gente praticamente imprime no setor aqui 10 folhas, 10 páginas por dia. Quer dizer, não imprime, praticamente. Mas, hoje a gente tá vivendo a segunda fase do *paper less* que o pessoal chama de MBD (*model-based definition*) onde, inclusive, na produção... Esse é o grande diferencial... Na produção não se usa mais papel nem roteiros impressos. O padrão hoje, que o mercado tá atingindo, cada estação de trabalho vai ter um terminal... Já tem, na verdade... Porque isso já tá acontecendo. Tem um terminal onde o operador pode consultar tudo que ele precisa ali. Inclusive, com vídeos mostrando a operação que ele tem que fazer, as normas de selante, instalação... Tudo que ele precisar, tá lá de maneira bem visual. Então essa é a segunda fase, né? Que nós entramos desse ambiente limpo, né? Que como eu disse, né? Isso aí contribui pro meio ambiente, também. Que seria essa gestão do conhecimento, não só mais na fase que projeto, mas inclusive, na manufatura. Existe já estudos avançados pra... Quando você tem um problema numa aeronave, você passar um scanner que ele mapeia a região onde tem a avaria e você já manda, diretamente pro engenheiro, um modelo 3D já com as dimensões pro engenheiro poder fazer o trabalho dele mais rápido, mais limpo.

Participante B: Outro ponto interessante com relação à reutilização, né? Isso é algo que, eu acredito, que a aeronáutica, ela é pioneira, né? A reutilização, a reciclagem... Mas não a reciclagem destruindo o produto e transformando ele em outra coisa... A reciclagem de fato, né? Hoje em dia, tem se tornado cada vez mais comum, né? Você comprar aeronaves antigas e revitalizar pra outras operações, né? Os projetos militares, é onde você mais faz isso. Você tem, por exemplo, o F5, né? Que é um caça de, se eu não me engano, de 59... O primeiro F5 fabricado, no mundo, voa pela Força Aérea brasileira. Quer dizer, um avião que tá voando aí desde a década de 60. Como a mesma aeronave? Não... O pessoal troca tudo a aviônica, mas a célula dele continua voando. Quer dizer, são produtos que foram desenhados pra uma longevidade gigantesca. Você pega, hoje, o projeto de um caça multiuso de quarta geração e meia, fabricado por uma empresa aeroespacial sueca... Hoje, ele tem, de projeto, 35 anos de

durabilidade... Então, por mais que o processo de fabricação dele seja poluidor, né? O caça multiuso sueco... A gente tem, em torno de 2 a 3% só do material utilizado na usinagem dele, vira avião... Porque ele é usinado, praticamente 100% usinado. Você pega um avião comercial, você chega a 80, 90%. Bom, mas vamos lá... O caça multiuso tá sendo desenhado pra 35 anos, então, é uma aeronave que afeta pouco o meio ambiente... A escolha de materiais dele também é toda ligada à reciclagem, você... Todo o material, tanto que foi gerado durante a sua produção quanto no descarte dele, são todos materiais que foram escolhidos para serem reciclados no futuro.

Participante B: Bom... E o processo também, em si, de fabricação, né? Otimiza-se toda a estrutura, usa-se o estado da arte, né? Pra buscar soluções mais leves, né? Mais leve entenda consumo de combustível, né? O que norteia a aviação civil é consumo, então, todo o trabalho que é feito pra redução, busca de novas soluções pra diminuir o peso, contribui pro meio ambiente. Novos materiais... Deixa eu ver o que que eu escrevi aqui...

Participante B: Outro é... Tecnologia embrião que tem sido usada, né? Não sei se você já ouvir falar um tal de robô *snake*... *Robot snake*. Seria um... Algo pra facilitar a produção, reduzir o número de ferramentais e segmentação de peças, né? Hoje, né? Como você já viu, né? A rebiteagem de avião ela é muito complicada em alguns casos, né? Porque você precisa acessar a fuselagem dos dois lados... Se você quer usar um rebite, por exemplo, de alumínio batido. Que que esse robô *snake*? Ele caminha dentro da fuselagem como uma cobra... E ele faria o contra peso do outro lado, né? O calço, né? Pro operador rebitar. Ou o próprio robô faz a... Então, dessa maneira, você consegue soluções diferenciadas, né?

Participante B: Outro ponto, né? A própria certificação aeronáutica, ela exige que você faça a certificação, não só da aeronave, mas de todo o processo, né? De *life cycle* do produto, né? Até o descarte. É exigido que você demonstre esse tipo de controle, né? Então, é uma característica da aeronáutica, né? Você precisa pensar no próprio descarte dos produtos. Um exemplo também de peça, né? Que, hoje em dia, tem sido cada vez mais difícil de ser produzido e as pessoas tão mudando até o processo de fabricação, né? *Skin* de avião, sobretudo civil, eles são... Eles têm usinagens que, antigamente, se fazia química, né? Você tinha os *pockets* onde você usina, né? Isso aí tem sido, com os anos, deixado de lado. Porque a usinagem química, ela tem uma... Ela gera muito resíduo de... Do processo, né? Então, tem sido mudado esse processo pra usinagem convencional, com fresa, né? Lembrando que a fresa veio antes da usinagem química né? Então,

por que que surgiu a usinagem química? Por causa da tolerância, né? Das tolerâncias do processo, né? A usinagem mecânica, antigamente, a tolerância não atendia, né? Você tem um *skin* de 1.6 e em alguns lugares você quer reduzir pra 1.1... Se você tiver uma tolerância de 0.3, que é mais ou menos o que você acaba tendo da usinagem mecânica, isso não atende... Você não sabe direito se você tem um *skin* ou um papel laminado, né? Só que hoje, têm sido atingido os níveis de tolerância pra você ter esse processo que é mais... E foi uma mudança que foi toda ligada a meio ambiente, não é ligada a custo porque, ao que eu sempre escutei, usinagem mecânica sai mais caro em muitos casos que você fazer usinagem química.

Participante B: Eu não sei se te ajuda, né? Mas, por exemplo... Recentemente... Recentemente assim, né? Há 2 anos. Há 2, 3 anos. A gente começou o projeto da fábrica de uma empresa sueca criadora de sistemas de defesa e segurança aeroespacial, em São Bernardo do Campo e o primeiro projeto que nós fizemos foi realmente um *framework* sobre análises de requisitos de meio ambiente, saúde e segurança. Por que, né? Pra abrir uma fábrica, a primeira coisa que você tem que pensar são as restrições tanto de legislação municipal, estadual e federal, né? Essa é a primeira análise que você faz pra saber se você pode instalar uma fábrica... Quais são as restrições de processo... Então a gente fez tudo isso pra empresa aeroespacial sueca. Então foi um processo longo, né? E feita, realmente, uma avaliação de todos os órgãos... Não só bombeiro, mas CETESB, a ANA, né? Agência Nacional das Águas... Você acaba vendo tudo, né? É... Pra começar a elencar como é que você vai tratar de todo o processo, né? E esse processo, ele parte também de uma análise do meio ambiente, né? Quais são as restrições locais, como é que você tem que... Como é que você vai tratar com os químicos... Os requisitos de uso de químicos... Você pega uma cidade, uma cidade você não pode colocar alguns processos químicos em qualquer lugar... Você tem restrição por questão de segurança, contaminação dos solos... Então é um processo longo, né? Eu não sei se isso é interessante pra você, né?

Participante B: Mas, de fato, nós fizemos isso nesse primeiro estudo... Depois foi feito um outro *framework* pra fazer a análise de... Da cidade, em si, né? No caso foi em São Bernardo do Campo... Onde você faz a análise, não só olhando as restrições, porque existem restrições locais, elas são geográficas, tá? Tal lugar pode fazer isso, tal lugar não pode fazer aquilo... A contaminação do solo... Você tem um mapeamento da contaminação do solo... Também faz uma análise de enchentes, trânsito, acesso, restrições de transporte de carga... Bom, é um trabalho um pouco paralelo ao que você tá fazendo, né? Mas ele acaba entrando também um pouco nessa parte de poluição. Não sei se te interessa informação sobre isso...

Participante B: As ideias vão surgindo aí eu vou falando pra você, né? Você não comentou nada de indústria 4.0, né? Você sabe que a gente tá vivendo uma nova fase, né? Da indústria, né? Que é o porquê fala-se em 4.0, né? A quarta revolução industrial, quarto ciclo, né? Eu acho que isso é algo que vai mudar muito o mundo, né? A questão das automatizações, das simulações de fábrica, das... A fábrica, hoje em dia, ela vai se tornar cada vez mais um *commodity* flexível, né? Que você consegue, rapidamente, customizar uma fábrica pra um determinado produto ou passar pra outro produto, analisar processos, antes de... De simular os processos antes deles existirem. Quer dizer, você faz a fábrica rodar antes dela existir. Isso aí tem uma série de ganhos, né? Você consegue prever todos os problemas de processo que vai acabar também afetando o meio ambiente, acaba afetando performance do produto, a durabilidade do produto que também tem a ver com descarte... Você... A indústria 4.0 não é só a industrialização, é você simular todo o *life cycle* do produto. Então, eu acho que, talvez, é algo interessante de você dar uma lida e também dar uma pincelada porque acaba afetando toda a vida do produto. Esse tema... Indústria 4.0 que tá bem na moda, aí... É algo que ainda as empresas tão engatinhando, ainda poucos têm conhecimento ou vivem uma situação dessa, mas é... É o que tá aí batendo na porta pros próximos anos.

Participante B: Bom, Pesquisador... No mais, o que eu tinha pra falar é isso...

Pesquisador: Bom... Eu só tenho a agradecer... Muito obrigada pela sua participação e pela contribuição que fez para essa pesquisa.

Workshop na Empresa 03

Pesquisador: Bom... Então, só pra entendimento geral, tá? O objetivo da pesquisa é avaliar as seis esferas, que são esferas consideradas esferas circulares, tá?

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Então, a Fundação Ellen MacArthur que é quem criou o conceito, ela entende que, se as empresas adotarem essas seis palavrinhas aqui, essas seis ações, elas caminham do ciclo linear que é o ciclo onde a gente descarta tudo no final e faz, só pensa em fazer um novo...

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Pro circular, onde você consegue reaproveitar, onde você consegue redistribuir seus produtos pra outros mercados, ou seu serviço...

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Então, consegue agregar valor a isso e tornar o negócio sustentável, tá? No primeiro quadro, a primeira ação que é o regenerar, a preocupação é com energia basicamente, então, energia mais limpa e materiais também, mais sustentáveis, tá? A questão do meio ambiente, do ecossistema e a parte de recursos biológicos, tá? Na aviação, o que foi encontrado na literatura é a transformação de fornecimento de energia fóssil pra energia renovável, então, alguns exemplos de uso de biocombustível, novos combustíveis com alguma base de biomassa...

Participante C: Sim.

Pesquisador: É... Já mais conhecidas, principalmente matéria brasileira, e... Uso de hidrogênio, também, tá? Como uma prática sustentável. Em geral, a troca de combustíveis fósseis por biocombustíveis ou até mesmo, novas fontes de energia, por exemplo, passar pra parte elétrica.

Participante C: Sim.

Pesquisador: Tá? Então isso, também, foi um conceito encontrado na literatura. Em geral, ações que buscam diminuir a emissão de CO₂, tá? Na aviação comercial... Mudança de operação, por exemplo, não só mudança de infraestrutura, tá? Substituição, como eu falei... O uso da biomassa e resíduos, inclusive florestais, madeireiros, já como biomassa... E, aqui o último... Até o uso

de UAVs, já... O uso de drones, né? Elétricos para algumas atividades onde vocês antes usavam avião...

Participante C: Sim.

Pesquisador: Então o exemplo até que você mencionou ali pra fazer as bordas...

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Então, são as perspectivas de mercado, né? Hoje, já se pesquisa, por exemplo, pro uso de fotografias, os drones que são mais sustentáveis que você utilizar um avião grande pra fazer.

Participante C: Sim, sim.

Pesquisador: Utilização de fibras, também... Fibras naturais em compósitos, fibra de coco, né? Linho e outras... Então, esses foram os exemplos encontrados na literatura, tá? E aí, fica à vontade pra compartilhar outras experiências que não sejam essas...

Participante C: Sim.

Pesquisador: Que você tem, ou de projetos que estão previstos, ou projetos passados, ou se você quiser contextualizar... Ah, eu vivi essa situação há dez anos atrás...

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Ou não, eu enxergo que isso vai ser vivido daqui tantos anos ainda, pra frente... Fica à vontade pra falar um pouco desse quadro.

Participante C: É... Que que eu, assim, ao longo da experiência na aviação, é... Considerando aí, especialmente o ambiente mais de fabricante... Que eu comecei a me envolver mais com esse ambiente de 2006 pra cá.

Participante C: É... A primeira questão, assim... Por exemplo, interiores... Tudo era *plate*. Então, tinha muita coisa que precisava ser dourado ou que precisava ser prateado, precisava ser metálico e aí você tinha peso, você tinha material metálico, né? Envolvido no processo, é... Fazer um interior executivo na época dos primeiros aviões da família de aeronaves executivas de pequeno a médio porte de uma grande empresa brasileira, fabricante de aviões e tudo mais,

que não era um avião puro sangue, assim, né? Já era um avião que partia de uma plataforma de um avião que atendia linha aérea regional e foi modificado, é...

Participante C: Pra atender a aviação executiva, então ali já começou o desafio de tipo de material pra ser utilizado, peso, manutenção desse material... Você desmontar uma *galley* de um avião desse, dos primeiros desse modelo, era uma coisa assim absurda, né? Você tinha uma cafeteira, ali... Que era algo que se via valor... É... Isso mudou muito rápido. Começaram a sair interiores aonde se valorizava menos *plate* e mais outros, outros materiais. É... Os materiais de móveis de interiores começaram a mudar, começaram a ser colmeias de compósitos, é... Com leveza e com aproveitamento de outros materiais, que aí entrou carbono, entrou fibra de coco, essas... Esse tipo de material, é... E a gente começou a já perceber um monte de mudanças.

Participante C: Carenagens com muito mais composto, *prepreg*, enfim, e acabamento... Às vezes acabamento até voltado para aerodinâmica... Você pega *winglet*, por exemplo, é... Já é um material composto. Isso foi mudando... A gente foi sentindo isso no mercado, né? Essa mudança. E o reaproveitamento pra fazer essas mudanças, ele começou a ser algo comum, também. Então, o cara chegava muitas vezes com uma aeronave bimotora a jato fabricada por volta de 1998 e queria transformar ele em um daqueles aviões executivos de pequeno a médio porte, fabricados a partir de 2001... A Força Aérea viveu muito isso na aviação executiva que atende a Força Aérea. Revitalizações de painéis... O cara chegava com um avião turboélice destinado ao uso civil e militar, dos anos 70, lá na fabricante e era tudo “pau e bola” e, de repente, o cara queria colocar um Garmin, queria colocar... E, aí, você tem toda uma modificação, é... De cablagem, você tem toda uma modificação de painel, você tem toda uma modificação de tipo de material até que você vai usar ali porque os fios mudaram, enfim, mudaram uma série de coisas.

Participante C: É... Isso a gente foi vendo que tinha um apelo de transformação, de atualizar aviões, né? Com relação à aviônica, com relação a interiores, com relação, é... À performance, entrega de tecnologia... Essa transformação foi adquirindo quebra de paradigma de mudança de material também, né? Então a gente, assim, percebe mudanças que o mercado foi demandando e, pra fazer essas mudanças, a indústria começou a analisar novos materiais e, enfim, ganhar com isso, né? De uma maneira geral.

Participante C: Outras mudanças que a gente foi percebendo, principalmente, é... Na aviação voltada pra prestação de serviço, né? Um avião que atende uma operação executiva pro

agronegócio, é... Um avião que atende um MEDEVAC, né? Um aeromédico... Começaram-se a avaliar possibilidades de mudanças de motorização e de combustível. Então, começou a aparecer apelo de, por exemplo, aviação agrícola mudar, é... Um motor à pistão utilizando AVIGÁS pra utilização do etanol, né? Isso era uma coisa, assim... Mas como, né? Como usar álcool? Hoje é uma realidade. O avião agrícola monomotor de asa baixa desenvolvido e fabricado no Brasil, ele sai de fábrica à álcool, né? E já nem... Já nem consideram não fazer, é... À etanol.

Participante C: É... E aí isso migrando pra aviação executiva, começaram-se a aparecer motores de aproveitamento de motor da indústria automobilística, com modificações, é... Que tanto agregava valor com relação peso/potência, né? No produto ali, pra performance... Quanto consumia... Por exemplo, um querosene de aviação ou um diesel diferente que o Brasil ainda não tem esse tipo de diesel, mas lá fora já tem e já se usa... E, obviamente, a questão de modificação, é... Pra elétrico que...

Participante C: Se você pensar, quando se discutia aviação motor a álcool, é... Pra aviação agrícola, né? E se tinha uma frota enorme aí, todos com AVIGÁS e nem tinha turbo hélice na aviação agrícola... De repente, aviação agrícola com turbo hélice é uma realidade, né? A crescente da frota já vem pra turbo hélice, já uma queima de querosene... Já muda combustível, já muda performance de avião, já muda realidade de estrutura de ambiente de aplicação, né? Quantidade de aplicação e aquele que sai pistão já sai com etanol. Isso foi muito rápido. Isso aconteceu muito rápido. E de repente a gente começa a discutir assim “Ah, avião elétrico...”. Em 2015, eu tava em *Oshkosh* e eu estava vendo LSA, chinês, 100% elétrico, voando. Não era coisa de *stand*, de projeto e tudo mais... Então, assim, é... É muito rápido, né? Muito rápido. Você pega de 2015 pra cá, o que aconteceu com a aviação elétrica? Esse ano uma grande fabricante de aeronaves brasileira lançou, é... O início da operação do avião agrícola deles, monomotor de asa baixa desenvolvido e fabricado no Brasil, projeto elétrico. Tá voando... O avião tá em teste, né?

Participante C: Então, de repente a gente tava discutindo queimar... Muito rápido, né? Tamo falando de um ciclo aí, sei lá... De uns 4, 5 anos. A gente tava discutindo não queimar AVIGÁS pra queimar etanol. Aí, passou a ter a opção de etanol e a opção de turbo hélice queimando querosene. Essa mesma aviação, pra essa mesma prestação de serviço, hoje tá voando motor elétrico. Então, um ciclo... Num espaço muito curto de tempo, você vê inovação pela

necessidade do mercado, alinhada a custo/benefício por conta de ser avião pra prestar serviço... É... E aí, questão ambiental, né? Questão de quebrar paradigma mesmo, e... Ah, se é avião, eu tenho que ser tão tradicional quanto só fazer, é... Alumínio aeronáutico, só usar AVIGÁS, ou só usar querosene se a aviação é maior... Hoje, hoje você não desenvolve mais projeto baseado nisso. Você desenvolve projeto baseado em análise de custo/benefício, que que eu posso reaproveitar, o que que polui menos, o que que é mais alinhado com estratégia de sustentabilidade, e... Como que eu dou o suporte, como que eu dou manutenção nisso, né?

Pesquisador: E se a gente fosse falar assim, né? No português bem claro... O quanto você acha que a questão de economia, de custo/benefício foi impulsionadora da mudança e o quanto, realmente, as pessoas tavam olhando a questão da sustentabilidade ambiental? O quanto a sustentabilidade, você querer um ambiente mais limpo, empurrou e o quanto a questão de custo/benefício empurrou o desenvolvimento?

Participante C: Olha... Sendo muito sincero... Eu acho que sempre a primeira análise tá voltada pra custo/benefício, mas quando a consequência da análise do custo/benefício mostra que ela pode ser viável, mudando... Mudando material, quebrando paradigma, fazendo coisa nova, começa-se ter um apelo de custo/benefício, mas uma história bonita pra contar. E aí, as pessoas começam a ver valor, não só no custo/benefício, mas na história. Fala assim... “Olha, eu tenho o melhor custo/benefício quando eu uso um etanol, mas eu também estou poluindo menos, eu também...” Então, aí começa naquela... Aquela questão de cartilha de sustentabilidade, né? Que as empresas adicionam hoje no marketing, adicionam na maneira que elas se posicionam pro mercado, elas começam a não levar só um discurso de custo/benefício, mas também levar um discurso de sustentabilidade.

Participante C: Isso é uma fase de transição que a gente tá passando, né? A gente tá numa geração que começa a dar mais valor pra sustentabilidade e não só pro custo/benefício. Eu acho que as próximas gerações já vão ter como prioridade a sustentabilidade e o custo/benefício vai ser algo a mais ali, né? A gente ainda não tomava uma decisão por priorizar sustentabilidade, tomava uma decisão por priorizar custo/benefício. Por consequência, adicionava sustentabilidade e contava uma história bonita... E agora isso tá mudando, né? Agora, é... Enfim, a humanidade tá mudando com relação a isso, né? As pessoas não querem, é... Não querem mais alimento que não seja produzido com sustentabilidade, não querem mais vestir algo que não seja feito com responsabilidade e sustentabilidade, não querem mais carro assim... Avião

não vai ser diferente, né? Então, isso, devagarzinho vai sendo valor, né? E, daqui a pouco, vai ser por opção mesmo, acho, né? Não vai ser por, simplesmente, grana.

Pesquisador: Daqui a pouco, você chutaria ou estimaria o que? Uma década, menos? Baseado no que você viu dessas mudanças, do andamento até aqui...

Participante C: O daqui a pouco pra mim é quando os engenheiros que estão se formando, é... Ou recém-formados... Vão estar no mercado como responsáveis por desenvolvimento de novos projetos, né? A gente tá numa transição aonde a gente pega a turma que, é... Formou a referência, né? As literaturas e fez os cálculos e viu viabilidade... Transformou o projeto em produto e colocou no mercado. Essa turma tá recebendo, aí, a turma que tá formando hoje, que tem essa pegada, que se preocupa com isso, e essa transição vai acontecendo. A hora que essa turma, que tem essa pegada, assumir e começar a contratar os estagiários deles, esses estagiários vão vir e falar assim... “Nós estamos falando de sustentabilidade? Então deixa comigo o projeto.”. Então, vai ser... Eu acho que mais uma geração de... E aí, o ciclo da geração não é o ciclo de formação, né? De cinco anos, seis anos, sete anos... Não esse ciclo... Mas, o ciclo da geração, a tua geração, por exemplo, quando a tua geração for cabeça, tomador de decisão, é... De um projeto, desenvolvimento de projetos, né? Pesquisador, você vai desenvolver um projeto do zero, a partir de hoje, você é a engenheira responsável por esse projeto... Você vai olhar pra isso, né? O estagiário que você trouxe, os outros engenheiros que você trouxe do mercado, novos, pra falar de inovação, essa galera vai olhar pra isso. Eu acho que é rápido. Pensando em aviação é rápido porque a gente ainda faz na aviação coisa da década de sessenta, cinquenta, vai... É... Inclusive, em base de certificação, tudo mais...

Participante C: Mas, eu acho que essa geração nova... Porque quando você fala de materiais, é... Pra geração que desenvolveu lá atrás, eles não querem fazer tentativa e erro e eles não querem, muitas vezes, inovar se a inovação não tiver diretamente relacionada a custo/benefício, né? Porque eles querem... Eles sabem o que já deu certo no mercado, eles confiam naquilo... Eles querem confiabilidade, e segue o fluxo assim... Não vamos sair muito do campo, né? É... Você pega a nova geração, eles querem desafio de, justamente, falar assim... “Deixa eu ver... Por que que a gente não usa uma liga diferente?”. Ela é questionadora, né? E ela quer provar que essa liga diferente pode ser um negócio interessante. Ela quer provar que um material alternativo pode ser um negócio interessante. Ela quer provar que, é... Você não precisa depender de uma única indústria, né? De repente um único fabricante, é... Que tá muito voltado

pro mercado norte-americano ou pro mercado canadense... Pra ficar dependente, refém, daquele cara ali pra cadeia produtiva, pra prestador de serviço, qualquer coisa assim. Então, essa provocação que essa galera faz, esse questionamento, o porquê assim? Por que ser tradicional? Por que não inovar? Agora ela é questionamento, daqui a pouco ela vai ser decisão.

Participante C: Vocês tão vivendo a geração de questionar isso... Da galera mais, é... Mais madura, digamos assim, né? Mais experiente. Daqui a pouco vai ter uma outra galera nova questionando coisas que vocês questionaram e não fizeram ainda. Então acho que vai ter... Vai ter muita mudança. A gente vê... A indústria automobilística, por exemplo, vivendo uma grande, acho que crise existencial, até. Porque as pessoas não querem ter mais carro, elas querem ter o direito de uso. Então, o cara precisa se transportar, ele tem, dependendo de onde ele mora, preferência por não ter o carro próprio e utilizar um UBER. Isso é uma mudança De modelo de consumo, né?

Pesquisador: Sim... Produto-serviço...

Participante C: Aí começaram os híbridos... Agora os caras já querem... Eu quero um carro que eu só entro, sento, abro o aplicativo... E tá rolando, né? E você vê isso acontecendo na Europa, você vê isso acontecendo nos EUA... Daqui a pouco vira realidade, daqui a pouco a hora que isso tornar popular, acabou... Essa indústria vai ter que se transformar, e... E aí, qual que é a preocupação hoje dessa indústria? Quando ela tem que se preocupar em bateria, ela tem que se preocupar em motor elétrico... Aí ela tem que se preocupar em segurança pra isso... Aí, base de certificação pra isso muda... E aí quando você coloca tudo isso num contexto, o cara já não faz mais o carro que ele faria, né? E não... Acho que não vai ser diferente na aviação.

Participante C: Você pega há 15 anos atrás, se você falasse que você ia fazer um avião 100% composto, seja dentro de uma engenharia, né? Dentro dos fabricantes, dentro de uma oficina, dentro do usuário, os caras falavam... “Vocês são loucos... Como é que vai fazer reparo?” Porque o cara fazia uma coisa com previsão de reparo, é... Qual que vai ser a base de certificação disso? Como nós vamos ensaiar? E, de repente, vem o CIRRUS... É um dos aviões executivos mais vendidos no mundo, pra aviação de pequeno porte, à pistão, e o avião é composto, né? E aí já tem outras discussões no caminho, é... Que envolvem linha aérea... Tem outras discussões que envolvem aviação médio porte, que envolvem aviação executiva... E, aí, o composto já é uma realidade, hoje... E aí o composto passa a ser uma realidade em ambiente estrutural, mesmo, né? Não só revestimento... Enfim, não só carenagem...

Participante C: E... É real, né? Tá aí... Tá rolando. E precisa continuar. Precisa evoluir ainda mais, né? Porque tem muita coisa que não se sabe ainda. O próprio Cirrus, você tem uma limitação, é... Em ciclos, baseado no que se tem de literatura ou de ensaios que foram feitos pra material composto... Mas, certamente, isso vai evoluir, né? Então, eu acredito que, daqui a pouco, o estudo de fadiga e tudo mais pra isso, vai ser muito maior do que é hoje... Se eu não me engenho, acho que era 15mil ciclos, uma coisa assim... Daqui a pouco, os caras vão ter referência pra fazer isso virar 30mil, 50mil... Ou daqui a pouco vai ser um *condition*... O cara, sei lá, em determinado tempo lá faz uma análise e, se tiver ok, vamos em frente...

Pesquisador: E como que você enxerga a questão do confronto, vamos chamar assim... Entre segurança e a questão da inovação? Então, a mudança e a segurança... Você pensar em mudança e, por outro lado, a aviação é bem crítica, as pessoas mesmo já têm um medo, vamos falar assim, né? Muitas pessoas têm um medo de... “Ah, a aviação é algo mais sério porque você tá voando...” Não é um carro, vamos falar assim... O que eu aplicaria num carro eu não vejo aplicado na aviação... As pessoas, por natureza, trazem esse medo... Mesmo a aviação sendo um meio seguro, né? A gente tem até comparações com o próprio elevador, né?

Participante C: Sim...

Pesquisador: Como você enxerga hoje? Então, o que as pessoas, o que você tem visto ou do mercado, ou das empresas, ou do próprio governo... Uma ANAC, um FAA... Nesse confronto de segurança e de mudança. Mudança de materiais, mudança de combustíveis...

Participante C: Ah... Eu acho que é uma questão cultural. É... Tem uma máxima no ambiente corporativo, aí, que fala que a cultura come a estratégia no café da manhã, né? É... Não adianta você ter uma excelente estratégia se você não conseguir aculturar aquilo... Sua estratégia vai por água abaixo. E eu acho que é uma questão cultural. Segurança, há pouco tempo atrás, em veículo automotivo, era cinto de segurança... Hoje é airbag, ABS e câmeras... É um contexto, já não é mais uma coisa que te prende e te segura... É um conjunto de fatores, é... E que tem inovação no meio, né? No sistema de segurança. Segurança hoje é um conjunto não é mais uma coisa só. Eu acho que na aviação não vai ser diferente... Eu acho que segurança na aviação relacionada a novos materiais, ela vai estar contextualizada entre, é... O que que esse... O que que esse material oferece ainda, né? De custo/benefício, que que esse material oferece de sustentabilidade, o quanto ele foi ensaiado, quando ele foi ensaiado, como ele foi ensaiado e o contexto de você analisar que a segurança de um avião, é... Por exemplo, inteiramente

composto, ela tá... Eu tenho tecnologia embarcada pra uma melhor operação, eu tenho estrutura de solo e comunicação aeroportuária, tudo mais, melhor, mais avançada, é... Eu tenho redundâncias em sistemas considerando *softwares*, considerando enfim N sistemas, pra aumentar o meu nível de segurança e, na última... No último pico da curva de segurança eu puxo um paraquedas balístico e, que eu vou descer com segurança, sabe-se lá onde ainda, mas que eu vou descer com segurança.

Participante C: Então, é um contexto. O cara não vai tomar uma decisão mais porque, assim... “Não, é fibra...” E seja lá qual for, é fibra de vidro ou tem carbono no meio, é... E se isso quebrar e se X... Não, pera aí... Quais são os indicadores que eu tenho que isso pode quebrar? Que tipo de ensaio que foi feito? Como é que foi isso? É... Que que eu tenho de amostragem, né? Eu começo, eu tenho dois no mercado, de repente eu tenho mil no mercado, de repente eu tenho seis mil no mercado... Isso vai dando mais conforto. Vai dando mais tranquilidade e a história que vai se contando, né? Começa a aparecer.

Participante C: Hoje, o acesso à informação tá no toque de dois dedos, né? Então o cara começa a contar uma história... A primeira história é assim “Um avião inteiro composto”... “Opa, tenho preconceito”. Depois “Ah, mais o avião tem paraquedas balístico”... “Ah, interessante, mas será que funciona?”. Aí depois, de repente, o cara tem vídeo chegando no WhatsApp dele de um de um cara que teve um problema, acionou e desceu no estacionamento de um supermercado ou de um shopping e foi tranquilo pra casa. Aí quando esse conjunto de fatores, quando essa história é contada, o cara fala assim “Eu não me preocupo mais com segurança com relação a isso. Essa inovação tá superada pra mim no que diz respeito à segurança.”. Então, é isso. Essa cultura vai aumentar, aumentar, aumentar, aumentar... Chegar um ponto em que as pessoas não vão se preocupar com segurança por conta do tipo de material que tá sendo utilizado ali, mas quais são... O conjunto de segurança, né? De sistemas, que traz segurança. Eu acho que é isso que vai acontecer e que tá acontecendo, na verdade.

Pesquisador: Tá. E ainda aqui na regeneração, né? A gente veio falando dos combustíveis, dos materiais, ou seja, a mudança, a adaptação do produto avião, né?

Participante C: Sim.

Pesquisador: Mas, além disso, a literatura também, até apontou um exemplo, que é o uso de UAV pra fotografias de alta resolução de processamento.

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Então, você já tirar o que você usava, que era aeronave...

Participante C: Sim, sim.

Pesquisador: E substituir por uma mudança mais radical que é uso de drone, o uso de UAV.

Participante C: Sim.

Pesquisador: Você poderia falar dessa aplicação ou de outras aplicações já nessa mudança mais radical?

Participante C: É... Um caminho sem volta eu vejo, né? Assim, primeiro, tudo que diz respeito a serviços de imagem, de comunicação, tá cada vez mais relacionado à ambiente virtual, né? A compactar, aquilo que traz, que gera a informação, a fonte geradora daquilo... Seja de dados, seja de imagem, né? Então, tá cada vez mais compacto. É... Então, cada vez mais, a tecnologia busca aumentar a resolução e compactar o *hardware* que entrega aquilo, depois, é... Uma análise de viabilidade de custo daquilo, né? De fazer a operação daquilo... Você decolar um avião pra fazer imagem fotográfica é algo caro demais, né? E, depois, à medida que as tecnologias nascem, e começa lá com drone brinquedo, aí de repente bota uma câmera nesse drone brinquedo, aí de repente evoluem a qualidade dessa câmera, de repente começa a fazer algo que consegue comunicar com satélite, aí avança em antena, avança em comunicação, avança em bateria, avança em autonomia, cria-se ambiente de *software* que aprende, né? Sozinho, né? Vai começando a ter inteligência artificial em cima disso... É um caminho sem volta porque começa a entregar melhor qualidade, eficiência de tempo maior, custo/benefício maior e começa minimizar outros riscos também, né? Se você pensar na atuação de um drone numa lavoura, se você tem um problema técnico e acontece um incidente ou um acidente, é da proporção que o tamanho de um drone pode causar. Se você pensar, pra mesma coisa, num avião ou um VANT, o impacto certamente seria maior, e...

Participante C: O que eu acho que falta é conseguir, como a gente tá numa transição, você tem... Você tem conceito base de certificação e ambiente de auditoria disso ainda numa plataforma antiga. Feito e voltado pra o que foi desenvolvido no passado, então, precisa nascer essa nova base de certificação e essa nova forma de auditar pra atualizar. Pra você conseguir olhar pro

que tem, que foi feito pra trás, né? Tecnologias anteriores... Conseguir monitorar as atuais e pensar que o futuro é, amanheceu o dia é futuro, então... Todo dia coisa nova acontecendo, né?

Pesquisador: E você mencionou nas lavouras, né? Na agrícola você enxerga que isso também já é uma realidade? São projetos?

Participante C: Muito, muito. Hoje, hoje a parte de telemetria, é... Toda a parte de georreferenciamento, ou você tá usando satélite, você tá usando *software* que comunica, você tá usando até na aplicação, drone, é... Pra controle de praga, pra aplicação em si, pra mapeamento de área, pra, é... Fotografar algum ambiente, fazer alguma intervenção, é uma realidade. Já está em operação e a demanda só cresce, a tecnologia só evolui... Já acontece dessa forma, hoje. Hoje, você vai fazer, você vai fazer um... Você vai georreferenciar a sua, sua área, já é dessa forma... Se você quiser fazer um arremate utilizando drone ou aplicar em área que é difícil acesso pra aeronave já se faz com drone. Você quer fazer um mapeamento, é... Por câmeras multiespectrais pra análise de praga, por calor, já é realidade.

Pesquisador: Então, o mercado consumidor já se adaptou?

Participante C: Já consome isso. Consome e cada ano que passa só aumenta o nível de tecnologia. O agronegócio hoje, o agronegócio antes era extremamente tradicional, é... Aprendia, primeiro ali por tentativa e erro, criava uma receita daquilo e repetia aquilo todos os anos e, se desse tudo certo, se chovesse na hora certa, se fizesse o sol certo, produzia a mesma coisa ou mais. Hoje, é uma indústria a céu aberto que tem muito processo, melhoria contínua e muita tecnologia, muita tecnologia, né? Porque você precisa estressar menos o ambiente, produzir mais com menos custo, tirar o máximo de produtividade da mesma área, é... Fazer diversidade de cultura, enfim, tem que acontecer um monte de coisa pra manter ou aumentar a produtividade que, se não tiver aliada com tecnologia, com um processo de melhoria contínua, não faz... Dá batente muito rápido, né?

Participante C: Eu brinco assim, eu hoje no agronegócio e olhando as questões de aviação do agronegócio acontecendo, eu brinco com os meninos, aqui... A gente é uma *startup* de aviação no agronegócio, né? Oferecendo tecnologia pra aplicação, aviação no agronegócio... Beleza, isso é hoje, amanhã a gente já tem que estar fazendo coisa nova e enquanto a gente tá rodando isso no mercado, desenvolvendo coisa nova, pensando em inovação, a gente tem que pensar que se o Brasil não planta a China não come. Então, é muito dinâmico... Precisa andar.

Pesquisador: E rápido porque tem chinês por aí...

Participante C: Rápido.

Pesquisador: Bom, desse quadro, eu acho que a gente comentou dos tópicos principais, né? Que são as questões mais desenvolvidas, então, combustíveis, materiais... Vamos passar pro próximo conceito... Você tem alguma coisa a mais de regeneração pra acrescentar? Nós comentamos...

Participante C: Não... Acho que deu pra passar por, pelo menos os pontos principais, né? Do que tem acontecido que é essa mudança de material, revitalização, é... Questão de fator de segurança, tipos de combustíveis, tipo de aplicação, enfim, eu acho que é isso.

Pesquisador: O segundo conceito é o compartilhamento. Os pontos mais fortes encontrados foram a respeito da reutilização, né? Então, em questão de conceito, a Fundação Ellen MacArthur ela fala que você pode ou tanto compartilhar ativos, então, dentro da empresa entre setores ou com outras empresas, como o conceito pensando em compartilhar também engloba o produto na questão de você reutilizar, você usar produtos de segunda mão... Então, quando como tá falando de compartilhar, você pode estar pensando num produto, como numa estrutura, você pode pensar em compartilhar de várias formas, tá?

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Dentro da literatura, alguns exemplos na aviação foram encontrados, né? O compartilhar ele vai indo desde a estrutura até o produto... Você compartilhar entre vários mercados o mesmo produto...

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Ou você, também, pensar em prolongar a vida daquele produto.

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Na aviação, fala-se bastante do uso de compósitos reciclados... Era de uma estrutura crítica, você reutiliza em uma estrutura não crítica, por exemplo, tá?

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Alguns exemplos de desmontagem de aeronaves pra você utilizar de outras formas...

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Então, inclusive em outros mercados, até foi encontrado um exemplo onde eram utilizadas peças de aeronaves como mobiliário de escritório.

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Então, são realidades encontradas na literatura. Então, esses foram os conceitos principais baseados na Fundação.

Participante C: Uhum, sim.

Pesquisador: Então, você utilizar dentro da própria aviação, de aviação pra aviação, de uma parte principal pra uma segunda parte, ou você já compartilhar até com outros mercados.

Participante C: Sim.

Pesquisador: então, eu queria que você comentasse um pouco do que você viveu... Sua experiência sobre o compartilhamento.

Participante C: É... Eu acho que, assim... Tem um leque aí que a gente pode falar a respeito disso... Que que eu vi de compartilhamento acontecendo e tendo sucesso e sendo muito interessante? Desde o compartilhamento de uso em si... Hoje, as pessoas não querem... Elas querem ter o direito de uso das coisas, elas não querem necessariamente ter as coisas, né? Então, assim, alguém pode comprar um avião por realização pessoal, mas alguém pode precisar ter o uso de uma aeronave de forma que não é... Que exige uma frequência, uma regularidade pra atender determinada demanda, seja de serviço, é... Ou de lazer, enfim, que ela não queira utilizar de linha aérea, de fretamento, né? Pra isso. Então, já existe, né? Compra compartilhada, você compra a cota de um avião e tem empresas especializadas administrando isso... E você utiliza ali baseado na sua cota, qual que... O que que ela te oferece de disponibilidade, com custo diferencial, isso acontece demais.

Participante C: Até prestação de serviço, se você pensar, linha aérea bem lá atrás era aquela coisa, né? Vamos dizer, um pouco saudosista, assim... Talher de prata, as mulheres botavam chapéu pra embarcar, luva... Os homens iam de terno, fumavam a bordo, enfim, né? Saudosa

Varig aí, Transbrasil, viveu isso. Isso foi mudando bastante, chegou na água, no amendoim e na internet a bordo, e... Uma utilização muito mais popularizada, digamos assim, né? Então, isso é algo que mudou bastante. Essa aviação lá de trás era uma aviação que era transporte, ponto. A aviação de hoje, ela transporta carga, transporta passageiro, transporta animais, né? Carga viva, transporta órgãos, transporta, enfim, uma série de coisas na mesma operação, né? O que era você comprar um *ticket*, sair de São Paulo e ir pro Rio de Janeiro, e servia só pra aquilo, transformou-se em... Você paga uma parte dessa operação no seu *ticket*, o outro paga outra parte porque só quer mandar uma carta, o outro quer mandar uma ferramenta, o outro quer mandar um animal, o outro quer mandar, enfim... Então, esse compartilhamento é uma realidade e só aumenta né? O compartilhamento das coisas, no geral, né? Casa, enfim, um monte de coisa... Tem o Airbnb, aí, alugando quarto do dia tal, da hora tal a tal. É... Os UBER da vida... Então, esse compartilhamento de utilização, o compartilhamento de uso mesmo, né? De você usar a mesma plataforma pra transportar várias coisas, também só aumenta...

Participante C: E... Eu vejo muito, assim, revitalização... Então, você tinha um avião antigo, hoje você consegue atualizar motorização, você consegue atualizar painel, você consegue atualizar interiores, você consegue agregar até algumas carenagens que melhoram a eficiência, e... Isso tem lá o *Black Hawk* lá pro *King Air*, teve revitalização dos aviões brasileiros turboélices, da década de 70, da Força Aérea... Porque não tinha um avião pra substituir pra atividade que a FAB fazia, então, ela revitalizou esses aviões... Revitalização de avião executivo pra aumentar a autonomia, pra aumentar a eficiência, colocaram... Uma própria grande fabricante brasileira de aeronaves colocou um tanque, fez um boletim, colocou um tanque lá que é um *boot* no estabilizador dos aviões da família de aeronaves executivas de pequeno a médio porte deles, se eu não me engano, e aí você cria uma condição de autonomia maior... Boletim pra operar acima do teto que ele operava pra criar condição de custo/benefício da operação maior... São reaproveitamentos.

Participante C: E outros reaproveitamentos... Reaproveitamento mais óbvio como pegar uma sucata com alumínio aeronáutico, derreter e fazer qualquer outra coisa de alumínio, considerando a mesma liga... Até um ambiente de *design*, onde as pessoas hoje acham superlegal ter uma hélice em casa como enfeite, ter uma mesa com uma poltrona que é poltrona de avião, enfim, tem... Tem ambiente de *design* tanto voltado pra escritório quanto voltado pra casa, quem tem *hobby*, no segmento de aproveitar. Na questão do composto, como os aviões de composto tão operando, são relativamente novos, a gente não viu na prática muito isso

acontecer, a não ser, em caso de incidente ou acidente que o cara quer pegar uma peça para enfeite ou pra estudar, né? Não vi nada muito avançado ainda, mas vai acontecer, é questão de tempo, né? Questão de tempo.

Participante C: Uma coisa que eu vi, tá muito assim acontecendo, é avião que foi sucateado por algum motivo acabar sendo cedido pra uma escola, pra uso de treinamento técnico... Isso é uma constata, aí, no mercado. E, até, até as traquitanas que voam por aí, né? Que pega peça de uma coisa com peça de outra e faz um experimental puro e opera, né? Ou coisas que não são aeronáuticas e transformam em aeronáutica, né? O cara pega um motor Volkswagen, lá... Pega um motor Honda... E faz algumas modificações e transforma num motor aeronáutico, acontece... Na aviação experimental tem um leque muito grande disso, de acontecer. É... Na aviação certificada já não. Então, tem bastante, né? Reaproveitamento é uma prática.

Participante C: E dentro da própria, falando de certificação... Dentro da própria utilização, as companhias aéreas tomam a decisão de focarem numa determinada frota por questão de compatibilidade de componente... Você tem muito, é... Utilização de componente de um avião pro outro, ser compatível da esquerda pra direita, hoje a engenharia pensa nesse sentido. Eu tenho dois componentes, o que que eu faço pra ele ser intercambiável, né? PNs alternativos, aquela coisa que já não... O fabricante, né? Por algum motivo, seja tempo ou mudança de material, não utiliza mais aquele material padrão, você tem um material alternativo que também é certificado, né? Mas que, às vezes, não foi feito exatamente o mesmo processo que o original foi feito... Isso é uma realidade.

Participante C: É... E eu acho que só vai aumentar, né? A tendência é aumentar, principalmente, a questão do uso. Eu acho que, principalmente a aviação executiva e a aviação de prestação de serviços, quando não se tratar de uma realidade de realização pessoal pra pessoa adquirir, ela não vai querer o produto inteiro, ela vai querer o direito de uso daquilo. Porque você tem um avião com o potencial de operar 100 horas/mês e você tem uma demanda pra 30 horas/mês, você tá jogando tempo, dinheiro, espaço, tudo isso no lixo, né? Então, isso é... Acho que uma realidade já presente e que só vai melhorar.

Pesquisador: A terceira questão é a otimização, né? Então, a otimização, o conceito de otimizar, quando a gente já fala nele e gente já pensa em aumentar desempenho, né? Que é diretamente o que é proposto no modelo ReSOLVE. Então, é falar de aumento de desempenho e eficiência

do produto, remoção de ruídos, por exemplo, né? Remoção de resíduos da cadeia de produção... Então, você otimizar não só o produto, mas tudo.

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Desde a parte de produção, a parte de consumo, né? E aí tem a questão de automação, também. Então, você tá pensando em resíduo, diminuição de resíduo, você tá pensando em automação no processo...

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Então, você otimizar o processo, você reduzir resíduos do produto e do processo, também...

Participante C: Sim.

Pesquisador: Você mudar a forma de consumo, então, você melhorar o desempenho e a eficiência do próprio produto. Alguns exemplos, aqui, que foram encontrados... Você pensar na otimização da própria massa e, você mesmo mencionou, a troca do alumínio, do metal pelo composto, né?

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Pensando em reduzir, tirar massa do avião...

Participante C: Sim.

Pesquisador: E, aí, ganhar eficiência... Poluir menos, consequentemente, porque você tem menos consumo de combustível, tá?

Participante C: Uhum.

Pesquisador: A questão de melhoria do sistema de produção em si, então, você pensar em motorizações mais eficientes que é o que a gente já até comentou, né?

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Então, tornar o produto mais eficiente, substituir processos de produção convencionais por outros processos...

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Então ao invés de você rebitar, por exemplo, uma aeronave, você buscar alternativas como uma cola eficiente, né? Ou você tentar soldar isso com um tipo de solda em específico.

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Então, isso também foi encontrado... E a parte de gestão de resíduos, em geral, né? Então, você gerir os resíduos de produção não só do produto, mas também da estrutura... Então, de ferramentais, de tudo que a gente tem envolvido na produção.

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Então, esses foram os principais conceitos, tá? Envolvendo o produto e a produção e aí, por fim, o uso de *big data* mesmo, de algoritmos... Então, você tentar criar estratégias, gerir os processos através de análises computacionais... E como os *softwares*, aí, tão entrando na aviação, no produto e no processo... Então, pra gente falar um pouco de otimização em geral. O que você tem visto? E o caminho...

Participante C: O que eu vejo é o seguinte... A manufatura, hoje, ela não aceita e não tem mais espaço pra desperdício. Então, é... Países que passaram por guerra, por exemplo, né? E tiveram que se reconstruir, e tiveram que eliminar desperdício pra se reconstruir, é... E desenvolveram processos, né? Pra isso. Que viraram referências, né? Que, hoje, não existe produzir sem estar baseado em processos de melhoria contínua e a melhoria contínua nada mais é do que isso... Analisar as oportunidades de eliminar desperdício, aumentar a produtividade, fazer mais com menos e tudo mais. É... Então, isso é... Já acontece, né? Já é uma prática... Não tem espaço mais pra desperdício e desperdício, antigamente, era só aquilo que você joga fora... Hoje, desperdício é tempo... Hoje, desperdício é qualidade de vida, é sustentabilidade, é inovação... Se você não está inovando, você está desperdiçando. Você tem um projeto que não é inovador, a chance de risco de mercado, dele nascer morto, é grande... É... Aquilo que você tá produzindo hoje já tá obsoleto com relação ao que você tá entregando pro mercado versus a expectativa que o mercado tem de receber, então, não tem mais espaço pra isso. A gente vai sempre estar eliminando desperdício em todas as frentes.

Participante C: O reaproveitamento é uma questão cultural, também, né? Porque as sobras que são matérias, elas passam a ser reaproveitadas não só na indústria, mas em casa, né? As pessoas tão reciclando, é... É moda, agora, você comprar usado, usar usado... Brechó, enfim... Então, as

peessoas estão entendendo que, desperdiçar é falta de inteligência de uma maneira geral, né? De inteligência de negócio, de necessidade e tudo. Então, eu acho que isso, principalmente essa geração nova, que vem... Já vem com cabeça de Lean, o cara sai da faculdade com cabeça de *Lean*... Vai ver o *Lean* na prática ali, a hora que ele entra no primeiro emprego, no primeiro estágio, tudo... Mas ele sai com referência disso, né? Tende a diminuir consumo, sempre... Tende a aumentar produtividade, sempre... Tende a pegar qualquer coisa que sobrou e transformar em valor agregado, seja naquele produto, seja em qualquer outra coisa na cadeia produtiva... Eu acho que isso é... Nós estamos vivendo isso, né? A tendência é só melhorar.

Pesquisador: E você consegue citar alguns exemplos que você tem conhecimento, tem participado na aeronáutica, que você tem visto já o pessoal aplicando pra otimizar?

Participante C: Sim... Tem muita coisa pensando em químicos, normativos, questão de meio ambiente, é... Você acaba extraindo ali, separando óleo, tudo mais... Usando esse óleo pra fazer lubrificação de outras coisas que não demandam o que um ambiente certificado demanda... É... A gente vê uso, o próprio... O próprio alumínio aeronáutico transformando em panela que seja, né? Nesse tipo de coisa... A gente vê uso de... De um determinado painel, um determinado instrumento que tá em desuso, virar um ambiente de treinamento, né? Virar uma bancada pra teste, pra treinamento. É... Esse tipo de coisa acontecendo, a gente vê, é... Pneu de avião virar solado de calçado, né? Não sei, você já deve ter visto por aí o povo falar assim... “Ah, isso aqui é de... A sola é de pneu de avião.” É verdade, acontece... As pessoas já usam pra reciclar, então...

Pesquisador: E o uso de tecnologia pra otimizar, por exemplo, o processo ou tentar prever... Um exemplo, ao invés de você fazer um *mockup* físico, você tentar levar isso pro computador. Como que você enxerga o uso de *softwares* pra isso?

Participante C: Demais, demais, né? Muitas coisas que eram feitas... Métodos tradicionais antigos pra ensaio e vários tipos de ensaios... Muitas coisas que demandavam horas de túnel de vento pra se chegar à conclusão, tomar a decisão, hoje estão tudo em ambiente de *software*, né? Também já é uma realidade e tem só evoluído nesse sentido. Você consegue chegar com um *software* em resultados muito próximos de reais, se não, até resultados reais ou melhores do que praticado por métodos tradicionais e mitigar um monte de riscos, pular um monte de etapa, né? Há muita eficiência em projeto, em desenvolvimento de projeto... Algumas coisas ainda se mantêm tradicional porque o mercado tem preconceito e quer ver, não que fosse uma

necessidade real do ponto de vista de engenharia, né? A engenharia tem tranquilidade de tomar decisões, hoje, baseada em dados, baseada em *software*, ambiente virtual, mas nem sempre ela toma essa decisão só com isso, ela acaba fazendo uma redundância com ensaios tradicionais por conta de preconceito do mercado mesmo... Mas isso vai acabar. Em pouco tempo, eu acho que vai acabar.

Participante C: Eu, o que eu vejo hoje é que, cada vez mais, um ensaio, um resultado, um cálculo, uma análise de viabilidade, sendo feito no ambiente virtual. Menos... Ganhando eficiência, né? De tempo pro desenvolvimento, eventualmente, até custando menos e trazendo dados mais precisos. Eu acho que você consegue, pra algumas questões, apurar resultados bem, bem melhores, do que métodos tradicionais. Eu acho que isso não volta. A tendência é... A hora que mudar, a hora que aculturar isso daí, acho que as bases de certificações vão estar muito relacionadas a entregar dados que comprovam. Você vê isso hoje no ambiente, na estrutura bancária, por exemplo, né? Você vê ambiente de... Quando que um fundo, por exemplo, toma uma decisão de validar que o processo de uma determinada empresa lá pra uma *valuation*, pra ele entrar como investidor, é viável? Quando tem *Lean*, quando tem SAP, quando tem as ISOs da vida... Só que tudo isso, hoje, tá baseado em que? Prática de que? Ambiente virtual... Processo... Não tá mais baseado em o cara testar pra ver se quebra botando peso em cima, então, isso é um caminho sem volta. E já tá muito avançado, né? Acho que só vai... Só vai melhorar. Acho que vai virtualizar cada vez mais.

Pesquisador: O próximo quadro, ele fala da questão do ciclo, né? Então, você utilizar conceitos, como por exemplo, da remanufatura. Então, você retrabalhar uma peça que seria descartada pra colocá-la, de novo, dentro do ciclo do produto.

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Você reciclar, também... Além de você retrabalhar, você também reciclar.

Participante C: Uhum.

Pesquisador: São as questões mais fortes. E, aí, dentro da aviação, a gente tem já propostas na literatura, de reciclagem da fibra de carbono, por exemplo... Então, você reutilizar a fibra de carbono... Você já utilizar os próprios compósitos reciclados pra reaplicação e você desmontar a aeronave, você já até deu o exemplo do óleo, né?

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Então, você desmontar a aeronave, que seria o fim do ciclo de vida dela, e pegar essas partes e esses componentes, e reutilizar de diversas formas, né? Então, você ciclar tudo aquilo que seria descartado para várias fases ou várias indústrias... Então, aqui também, de novo, a venda de peças pra outros fins, né? Então também envolve esse conceito de você pegar o fim de vida e ciclá-lo, novamente, de várias maneiras. Então, alguns exemplos que você puder falar sobre isso.

Participante C: Sim. Só voltando um pouquinho no outro, que eu lembrei agora, o ambiente de controle técnico de manutenção que é muito avançado na aviação, ele tem sido bastante utilizado em outros ambientes usando a aviação como referência, pra extrair o melhor de cada ambiente, né? Então, hoje, um parque fabril automatizado, ele tem um plano de manutenção equivalente a um plano de manutenção de um avião e você faz gestão daquilo, de manter aquela operação rodando, se esperar quebrar pra acontecer... Com manutenção preventiva, né?

Participante C: E... É... Pensando aí nessa questão de reutilização... Recertificação é uma realidade, né? Dentro da aviação. Você consegue recertificar vários componentes, isso é bastante utilizado, né? Você consegue adquirir de prateleira componentes recertificado, que por algum motivo entrou em desuso... Não componentes acidentados, mas componentes que... Ficou obsoleto ou por qualquer motivo foi removido do avião e colocado um novo... Recertifica e volta pro mercado... Isso acontece bastante. Quando você fala de composto, principalmente, se você falar de ambiente de interior de aviação executiva, acontece bastante também, né? Dependendo do material que é utilizado, se fabrica, se faz outros materiais, material plástico, enfim... Assim como nas outras indústrias, né? Na aviação não é muito diferente. Você não consegue fazer isso com 100% de composto, muitas vezes por falta de oportunidade mesmo. Você... Quebra uma carenagem, você vai trocar a carenagem inteira, só que é muito pouco a sobra do material de uma determinada carenagem pra você ir lá, colocar aquilo dentro de uma indústria e reciclar. Então, ele acaba entrando dentro de uma reciclagem geral, né? O cara tem ali, se é fibra a questão, ele tem outras fibras. Ele tem desde o negocinho lá antigo do telefone, a máquina de lavar, uma peça de carro, uma peça de avião... Tudo mais ou menos no mesmo balaio ali pra moer e reciclar. Não... Você não consegue, hoje você não tem volume, pra você criar um ambiente de reciclagem específico de aviação, que só trata itens de aviação. Não tem

volume que justifica isso. Mas já é reciclado, né? Já acontece bastante, e... Recertificação de componentes é uma coisa que funciona há muito tempo.

Participante C: Essa reciclagem, ela não acontece só no ambiente material... Ela acontece na mão-de-obra, ela acontece com as pessoas. Hoje, um piloto se aposenta numa linha aérea, ele vai dentro, pra dentro de uma escola de aviação dar instrução, né? E ele faz isso por muito mais tempo. É... Talvez o cara não tá mais com aquele gás pra estar na operação, voando, mas ele se sente muito bem pra estar dentro de um ambiente de simulador dando instrução. Hoje, um mecânico aposenta na aviação e vai pra dentro de uma escola, vira instrutor, então... Ou vira checador, vai pras certificadoras aí e vira... Faz algum tipo de inspeção, algum tipo de instrução, algum tipo de consultoria... A mão-de-obra tem se reciclado, né? Na aviação, né?

Pesquisador: Esse é um exemplo muito legal. Legal. Não foi encontrado nada na literatura, mas, ver que já é uma realidade...

Participante C: Não... Acontece muito, os ambientes de escola, no geral, na aviação hoje... Eles são formados por pessoas que já fecharam teu ciclo ali, né? E aposentados, se tornam referência naquilo pela experiência e trocam essa experiência... Ou aqueles que tão estudando, acabaram de estudar e não entraram no mercado ainda, eles ficam nesse ambiente mais acadêmico por um período e depois, pra se preparar melhor, e vão pro mercado. É... Então, é uma constante essa reciclagem aí de mão-de-obra qualificada, né?

Difícilmente... Você vê um cara que tem uma curva... Vamos pensar nas várias frentes, aí, né? Na operação voltada ao voo, em si, né? Piloto, comissário e tudo mais... Essa galera vai der instrução. Normalmente, vai pra treinamento. É... Você pega os técnicos, os mecânicos... Ou eles vão pra treinamento ou eles viram, como é que se diz? Os “PACs”, né? Vão pra área de certificação, auditar e tudo mais. E o restante da galera, normalmente, vira consultor, né? Vai, vai... Volta pro mercado ensinando aquilo que aprendeu, as boas práticas, pra quem tá nascendo pro mercado não cometer os mesmos erros que eles aprenderam no passado... Dinamizar. Eu gosto muito dessa mescla do pessoal que aposentou e ainda tá com gás no mercado com a galera que tá formando e entrando agora. Eu acho que você aplica a cabeça de inovação, de melhoria, de oportunidade, de processo, com as boas práticas do que já deu certo, do que não deu certo, por que não deu certo... Eu acho que ganha bastante.

Pesquisador: Na questão da desmontagem, né? Foi uma coisa bastante já, é... Explorada. Então, quando a gente olha a literatura, é o mais explorado hoje. A desmontagem de uma aeronave em estágio final, então, você deixar de ter aqueles cemitérios de aviões, né?

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Que eram famosos, né? E você passar a... Você falou, até recertificar isso. Você enxerga uma diferença entre capacitação, seja de mão-de-obra ou de uma cadeia de fornecedores, Brasil e resto do mundo?

Participante C: Ah, tem...

Pesquisador: Então, o que que você pode falar, assim... A influência do cenário pra esse item. Você estar aqui e você estar fora.

Participante C: É... A viabilidade dessas coisas tá sempre baseada em volume, né? Se você pegar, fizer uma análise de frota, os EUA têm 200mil aeronaves operando, o Brasil tem 20, né? Então, nós temos 10% da frota de um país que, se você olhar, analisar do ponto de vista territorial, a gente deveria estar muito melhor atendido em número de aviões, né? Ter um volume maior... Aí, você pega a Europa, por exemplo, por uma questão territorial, tem uma frota que já tá, é... Supri, né? Tá sobrando. Então, o que acontece é que, por ter volume, você justifica investimentos pra reaproveitamento daquilo, né? E você tem sempre oportunidade de inovação dessa frota, né? No Brasil, você pega... Tem avião que, sei lá, da década de 50, 60, aí que começou uma operação executiva, se transformou em táxi aéreo, que se transformou... Foi sucateando, né? Se transformou em garimpo, foi se transformando, foi se transformando e, de repente, esses avião tão na mão de um aeroclube hoje dando instrução, de repente, esses aviões tão na mão de alguém que tem *hobby* e preferiu comprar um avião antigo por saudosismo mesmo, é... Tá na mão de pequenas coleções, né? Museus... Então, eu acho que é uma questão de oportunidade. Fora é muito mais viável por uma questão de volume, volume e oportunidade. Você tem oportunidade fora porque você tem volume, né? Você trabalhar ambiente de investimento pra reciclar... Um ambiente em que você tem 200mil aeronaves é diferente do ambiente em que você tem 20mil.

Participante C: E a questão da oferta e o uso, né? EUA você tem... Uma questão de juros diferente, você tem uma questão de acesso a crédito diferente, você tem uma questão de acesso à formação diferente, com custo diferente... Toda família tem um piloto, então, é fácil o cara

ter um avião de *hobby* que seja, ou ter um avião que atenda à família ou, enfim, se precisar de um táxi aéreo, eventualmente, na... Se não, no bairro dele tem uma pista, uma operação, tem na cidade dele. No Brasil, isso não é uma realidade. Então, você tem aviação antiga muito operando, ainda. Você tem pouco volume de descarte e de sucatear pra viabilizar reciclar tanto. Então, eu acho que isso está diretamente ligado a volume, é o volume que faz a oportunidade. Acho que isso vai mudar no Brasil... A tendência da frota brasileira é aumentar muito. É... Eu acho que o Brasil, o Brasil tem a terceira frota, é EUA, Canadá e depois Brasil... O Brasil deverá chegar na segunda frota rápido... É... Por pouca estabilidade econômica, o Brasil já aumenta consumo de várias coisas, no avião não é diferente e eu acho que o Brasil tem lutado muito. O Brasil tem muita habilidade com aviação, tem muito *know how* e tem lutado muito pra colocar coisas novas no mercado. Quando isso se tornar realidade, eu acho que a aviação cresce aqui, bastante, e aí daqui algum tempo a gente vai ter a oportunidade de reciclar mais porque vai ter volume que justifica.

Pesquisador: Certo. O outro quadro é sobre virtualização... A gente já até falou um pouco na questão de virtualizar ensaios, né? Você até mencionou o túnel de vento...

Participante C: Uhum.

Pesquisador: E o conceito geral encontrado na literatura sobre isso é a questão do TI verde, então, você utilizar, por exemplo, nos ensaios, o que é uma característica da aviação... Mas, você também tentar mudar isso no conceito geral. Então, por exemplo, você passar a pensar na desmaterialização... Então, *e-commerce*, né? Então, você tentar comercializar isso de uma forma diferente, você virtualizar o processo em si... Então, menos papel...

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Mais CD, mais DVD... Então, você mudar a fora do processo em geral. Então, existe uma desmaterialização pra trabalhar com compra *on-line*, com processos *on-line*... E existe a desmaterialização do produto, né?

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Que é o que a gente tava falando, de transformar isso em serviço.

Participante C: Sim.

Pesquisador: Então, a virtualização no seu conceito mais radical.

Participante C. É.

Participante C: Ah, o que eu vejo, assim... Muita coisa já aconteceu. Ambiente de documentação, por exemplo, desde... Biblioteca técnica, no geral... Seja pra treinamento, seja pra consulta, né? Referência de manual de manutenção, de partes e peças... Antigamente, se tinha tudo isso em papel, depois evoluiu pra ter em papel e CD, e evoluiu pra uma assinatura que você faz e é 100% online, você tem acesso a tudo e com muito mais habilidade pra pesquisa, pra busca... Você chega num PN, num parágrafo, muito mais rápido do que fazia-se no papel. Então, isso já é uma realidade. No consumo, também é uma realidade... Você tinha que ir até uma operadora, comprar um *ticket*, era um papel, um negócio, um *card*, ali... Que você levava, guardava, tal... Destacava... Hoje, você baixa um aplicativo, faz a reserva, paga com cartão que também é virtual ou com seu cadastro ali, gera ponto, utiliza seu ponto, compra outras coisas... É... Faz o seu *check-in* virtual e embarca com *QR Code*... É... Ainda usa um documento ali pra *cross check*, mas daqui a pouco o documento vai ser virtual também e não vai usar mais... Então, pro consumidor, já é uma realidade, né? De virtualizar tudo... Pro ambiente de literatura, já é uma realidade de virtualizar.

Participante C: Pro ambiente operacional, que se tinha muita coisa analógica, é tudo digital... Existia uma necessidade de integração desse digital com algo que tivesse mais acessível, pré voo, né? Algo antes do voo... Hoje, já é uma realidade... Então, o cara faz o plano de voo pelo iPad, consegue fazer uma análise de rota pelo iPad, a melhor opção... Consegue fazer de clima, né? Como é que tá a rota, como é que tá o ambiente climático na rota... Tudo isso ele faz pré voo, ele nem tá dentro do avião e tá acontecendo tudo isso, né? E na hora que ele tá no avião, ele tá preocupado... Ele não tá preocupado com preparar o voo... Ele tá preocupado com homem-máquina, né? Muda um pouco. Preparar o voo do ponto de vista de plano de voo, de qual planejamento, ali... Qual estratégia que ele vai adotar, ele faz do hotel, faz de casa, faz tomando café, faz no iPad dele... Ele já faz remoto e faz 100% digital e, essa parte da operação, que ele faz 100% digital, integra com a operação do avião e é, extremamente, eficiente também... Um caminho sem volta, assim, né?

Participante C: Fora isso, você tem, assim... Acompanhamentos remotos que não estão integrados com o avião, mas que vão te dando informações. Esse relógio, por exemplo, é um GPS da Garmin, eu faço um plano de voo nele, não tem nada a ver com o plano de voo do

avião, e acompanho... Eu tô lá na linha aérea voando, eu sei a altitude que o cara tá, sei quanto tempo tá fora, sei onde a gente tá passando, sei que velocidade que tá... No meu relógio e nem... Eu não tenho nada a ver com o voo, não estou envolvido no voo, a não ser como passageiro. Então, isso daí já é uma realidade.

Pesquisador: E a questão de serviços onde até você mencionou o projeto da empresa aqui, que é a questão de você também ter a liberdade de conhecer os parâmetros da lavoura.

Participante C: Sim. É... a Empresa 02, o que que ela oferece hoje, né? Pro mercado... Você vai fazer uma operação aérea de aplicação de qualquer tipo de insumo ou defensivo na lavoura... E aí você consegue, através do nosso *software*, você consegue entender o momento ideal pra você fazer essa aplicação, do ponto de vista de clima, de pressão, de vento... Você consegue ter a referência do talhão específico que você vai fazer a aplicação, você consegue ter tudo isso no pré voo, né? Você consegue ter qual que é a melhor curva pra aquela operação, qual que é a melhor direção de aplicação pra aquela operação, é... E aí, depois, enquanto você tá fazendo a aplicação, se você tem uma área de restrição, você consegue visualizar essa área de restrição, você tem alarme sonoro pra não atuar naquela faixa de restrição... Se o sistema do avião for moderno e atual, ele consegue, passando numa área de restrição, ele corta automaticamente o bico, então, não tem o risco de cair ali a aplicação indevida...

Participante C: E, depois, ele tem os mapas que mostra pra ele onde ele aplicou, qual que foi a faixa de assertividade da aplicação... Se ele aplicou fora, aonde ele aplicou fora... Se faltou aplicação, aonde? Se sobrepôs, fez duas aplicações no mesmo lugar, aonde que foi... Então, ele consegue ter índice que melhoram o custo/benefício, ele vai voar menor, ter mais assertividade na aplicação, vai voar com mais informação, mais direcionamento pra essa operação... Vai consumir menos quantidade de produto, de combustível, de horas, do piloto... E, ele vai ter dados que, se ele precisar fazer algum outro tipo de intervenção na lavoura, esse mapa vai oferecer quase que em tempo real ali pra ele tomar uma ação. Então, ele fez uma aplicação de manhã, ele tem condições de ter dados dessa aplicação na hora do almoço e, se precisar fazer, refazer uma aplicação ou fazer qualquer outro tipo de intervenção baseado naqueles dados, ele faz à tarde, né? Isso melhora a produtividade, melhora custo/benefício, viabiliza do ponto de vista de sustentabilidade, né? O cara, assim... Tem uma área de citrus, tem um apiário anexo à área de citrus, você consegue fazer a aplicação na área de citrus sem afetar o apiário... Isso é só um exemplo, mas pode ser um manancial, pode ser uma floresta, pode ser casa, pode ser o que

for... Tem qualquer tipo de restrição, ele consegue... É quase que autônoma a operação... Não é 100% autônoma, ainda, mas você consegue ter bastante direcionamento.

Pesquisador: É um exemplo de virtualização, otimização...

Participante C: Sim, sim. E o acompanhamento é no aplicativo, então, o produtor entra no aplicativo e sabe o que foi aplicado na fazenda dele, onde foi aplicado... Vê a aplicação... O piloto consegue fazer o pré voo dele e ir pra pista pra aplicar com um monte de dados, de informação... Consegue ter no aplicativo o *feedback* da aplicação dele... Saber o quanto ele foi assertivo, o quanto não foi... Aonde ele tem oportunidade de melhoria, aonde... Até do ponto de vista da operação, entendeu? Tô voando muito baixo, tô voando muito alto... Minha curva tá boa, minha curva não tá... Tá mais eficiente, não tá... Fiz uma escolha de fazer uma operação por uma direção, pela outra poderia ser melhor... Então você vai melhorando a eficiência em vários aspectos, ele é um aplicativo e um sistema, baseado em georreferenciamento e dados do DGPS da aeronave... Extraído do DGPS da aeronave. Já é sistema conversando com outro sistema que está acoplado a um *hardware* do avião e que tem intervenção de piloto na operação, tem intervenção de ambiente externo, clima... E que tem a análise do cara que tá ali pagando, né? Investindo naquela operação e com expectativa de retorno. A gente consegue fechar todas as pontas.

Pesquisador: E ligado a outras tecnologias, né? O que você tinha mencionado ali das bordas do talhão, drone e tudo isso...

Participante C: Sim... Você consegue ter dados pra complementar aquilo que o avião não consegue oferecer, mas... Por uma limitação do equipamento em si, da plataforma em si... Você consegue atender com plataformas complementares, o drone é um exemplo, né? Fazer bordadura aonde o avião não consegue aplicar... Você tem linha passando, você tem uma área que precisa de aplicação, mas o avião não consegue fazer... Fisicamente, não é viável... Você vai lá e complementa... Você tem dados pra ir lá e complementar. E, aí, você vai fazer via drone, vai fazer via outras máquinas que tenha viabilidade, né? Terrestre... Estudo de pragas, enfim... De falhas... É bem bacana.

Pesquisador: E, aí, pra encerrar... Eu sei que você também tá apertado... A questão da troca, né? A gente já até falou um pouco de alguns conceitos, mas... Em geral, o uso da tecnologia, né?

Em conceitos gerais, a gente encontra na literatura falando bastante sobre trocar aplicando tecnologias como, por exemplo, impressão 3D.

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Então, eu queria saber como que você vê isso dentro da aviação, se já é uma realidade, se ainda não é... E até onde vai isso, né? Substituir por materiais avançados, também... Então, a substituição de novos materiais... Você mencionou um pouco de ligas, também, no começo da conversa, né?

Participante C: Uhum.

Pesquisador: E a questão do serviço, mesmo... Então, você utilizar, por exemplo, transportes mais eficientes... Então, mudar um pouco o método de transportar produtos acabados, ou o método de transporte em geral, né? Entre a cadeia de fornecedores...

Participante C: Uhum.

Pesquisador: Então, como funciona esse transporte de partes, transporte do produto final...

Participante C: Sim.

Pesquisador: Na aviação, foi encontrado exemplo de uso de material sustentável em interiores, você mencionou a própria fibra de coco no começo da conversa, né? E exemplo sobre uso de novas tecnologias, por exemplo, impressões 3D, né? Mas, a literatura não trouxe muitos exemplos aplicados à aviação, né? Sendo que, no conceito geral, já se mostra exemplo aplicado, por exemplo, no *design* pra reciclagem, você trabalhar... O próprio DIP, né?

Participante C: Uhum.

Pesquisador: O pessoal de desenvolvimento pensando no *design* pra modularidade, então, pra você poder trocar partes, né?

Participante C: Sim, sim. Ah... Que que se vê, né? Com relação a isso... Eu acho que com relação a transporte, tem algumas coisas acontecendo de... Desde otimização de área pra carga mesmo, né? Pra viabilizar melhor o uso de avião em transporte de carga. Outras tecnologias que voam, também... Você pega uma *Amazon* fazendo entrega com drone, não deixa de ser transporte e de usar algum tipo de voo pra isso... Você vê muito, indústria trazendo a cadeia produtiva pra dentro, né? Você pega, por exemplo, desenvolvimento de interiores de alguns

segmentos de uma grande fabricante de aeronaves brasileira, hoje... Uma empresa austríaca que faz... E a base avançada dela é dentro da fabricante brasileira, né? Isso acontece.

Participante C: E no transporte interno, aí falando de produção, tem muita coisa acontecendo já com robô, né? Dentro da linha, trabalhando... Fazendo o transporte de partes, ali, dentro da linha... Acontece bastante e está sendo cada vez mais utilizado, né? Você vê um robô, por exemplo, funcionando na fábrica de asas de uma grande fabricante de aeronaves brasileira, ele já pesca o ferramental, pesca o rebite, pesca todos os itens, ali... O transporte tá no braço do próprio robô que aplica. Isso acontece... Já acontece na aviação, na indústria de médio e grande porte... E eu acho que é uma tendência, aí, pra indústria de pequeno porte... À medida que essa indústria de pequeno porte, ela vai crescendo, ela vai pescando, né? Tecnologia da indústria de grande porte. O que mais que tinha ali?

Pesquisador: O pensamento na fase de *design*, né? Então, você pensar na troca, na modularidade, pensar na reciclagem...

Participante C: É, o *design* hoje, assim... Todo mundo quer plataforma versátil. Então, assim, eu quero um avião que eu uso pra cinco passageiros ou eu removo um assento e coloco 100kg de carga ou eu removo todos os assentos e transformo num cargueiro... E, tudo isso, demora uma hora pra configurar ou desconfigurar... E, então, meu avião, ele é um MEDEVAC, ele é um transporte de carga, ele é um transporte de passageiro, ele é um transporte de passageiro e carga... Isso é algo que, assim, o mercado já demanda, as empresas já perceberam isso, já fazem isso, né? Já tá acontecendo... O que acontece é que muita coisa foi adaptação, foi fazer modificação pra fazer isso, não nasceu assim... Mas, agora, a oportunidade dos projetos novos é nascer voltado pra isso, né? Pra oferecer... A gente vê aviões nascendo pra oferecer isso, né? Essa versatilidade na operação.

Participante C: E existem discussões, hoje... Estudos dessa versatilidade acontecer com relação a combustível, por exemplo, né? Você não ter um, mas ter mais de um tipo de uso de combustível, né? Na aviação. Eu posso, enfim... Colocar uma aplicação, ali, que aceita usar o álcool e o AVIGÁS junto... Ou, a modificação pra quem só tinha AVIGÁS e quer ir pro álcool, fazer a modificação... Isso é uma tendência, né? Já acontece... Ir pro querosene...

Pesquisador: E a troca por materiais mais avançados, por exemplo?

Participante C: Também, também. Troca de materiais sempre tá relacionada a peso e custo/benefício, né? Então, se você tem uma oferta de um material mais leve, com melhor custo/benefício, facilidade de produção, facilidade de manutenção daquilo, né? De suporte, em todas as possibilidades que se encontram essa oportunidade, a tendência é migrar, né?

Pesquisador: E você vê a migração, também, procurando materiais mais sustentáveis?

Participante C: Em alguns casos, sim. Indústria de interiores, por exemplo, você vê muito isso acontecer, né? Em pensar em materiais sustentáveis. Porque, se não ele tá diretamente ligado à madeira ou à plástico ou à metal. Então, se procura materiais mais sustentáveis pra isso. Quando se fala de *frame*, aí é difícil falar. Acaba tendo aquele discurso de ser sustentável, no final de um bom resultado de custo/benefício, né? Então, não se começa pelo... No interior eu ainda vejo se preocupando e começando o desenvolvimento de um projeto... Em pintura, né? Em tinta com outras bases... Pensando em sustentabilidade, né? Em questão de preparação, até, pra pintura... Anticorrosivo... Nesse sentido, sim. No sentido de estrutura, no sentido de *frame*, eu já vejo assim... Começa pelo custo/benefício e, aí, se o resultado de atingir o custo benefício oferecer sustentabilidade, a gente mostra que é legal. O que eu vejo é isso, na prática, ainda é isso. Vai mudar, mas ainda é.

Pesquisador: E, pra terminar, a impressão 3D... O que você diria dela?

Participante C: Em pré-projeto, eu já vi utilizar... A engenharia utilizar, muito mais pra sensibilizar *design*, naquela questão de pegar, né? De olhar, de ver como é que ficou, de beleza... Muito mais nesse sentido do que no sentido voltado pra um determinado ensaio ou voltado pra validação de forma... Eu vejo mais isso hoje no ambiente de software e, aí, de repente... Ah, bacana... Aparentemente, tá legal. Vamos ver como é que ficaria? Enfim, imprime lá e valida. E é isso... É mais, digamos assim, cancelar a beleza, né? A expectativa do *design*. Não o *design* do ponto de vista de eficiência, mas do ponto de vista de aceitação visual, né? Do mercado. Nesse sentido, eu já vi uso, né? Não vi ainda pra ensaios, pra outras coisas... Mas, eu acho que é uma tendência. À medida que você consegue ter materiais iguais ou equivalentes pra fazer o ensaio ali, e tem melhor custo/benefício pra fazer na impressora, e tem flexibilidade da impressora em suportar desenvolver, vai acontecer, né?

Participante C: A questão da impressora 3D, assim... Tem um monte de coisa acontecendo... Você vê vídeo, lá... Fazendo bloco, fazendo casa, é... Ainda tem um pouco de preconceito, esse

preconceito tá relacionado a tipo de material que tá sendo utilizado e ao tipo de ensaio que é feito, mas não tá relacionado à tecnologia em si, a falar... A impressora 3D tá fazendo. Isso, na verdade, impressiona superbem... As pessoas acham incrível você ter algo que foi feito por uma impressora 3D. O que elas questionam é qual material que essa impressora utilizou e que tipo de ensaio que foi feito pra isso garantir segurança. A impressora, em si, as pessoas recebem muito bem.

Pesquisador: E sobre isso migrar pra um cenário onde partes de um avião são impressas?

Participante C: Eu acho que é questão de tempo e cultura, também, né? Eu acho que, à medida que... Se você chamar de impressora 3D e as pessoas têm aquela imagem daquela impressorinha fazendo, lá, uma bolinha, um bonequinho, um aviãozinho, vai ter preconceito. Mas se você entrar... Você não chama de impressora 3D, mas entra num ambiente industrial e fala assim, ó... Essa daqui... Esse é o robô ou, essa é a máquina que desenvolve esse componente a partir dessa liga ou, a partir desse composto... E esse componente segue nessa linha, e é ensaiado aqui com um carregamento tal, assim, assim, assado... Se a maneira de contar a história muda, o preconceito diminui. Não deixa de ser uma impressora 3D... Eu acho que o preconceito tá mais relacionado à forma que é apresentada e não a o que que tá fazendo, né? Se é um robô, se é uma impressora 3D que tá fazendo. Se você conta a mesma história e chama aquilo de robô, o cara vai falar assim... “Nossa, super tecnológico, esse negócio é TOP demais, eu acredito e confio.”. Se você chamar a mesma coisa de impressora 3D, ele vai falar... “Deixa eu ver melhor isso...”. Eu acho que é só a maneira como é contada a história.

Pesquisador: Em geral, sobre a sustentabilidade, você, na sua posição, o que que você vê? Sobre a importância de sustentabilidade, pra onde a gente tem que caminhar...

Pesquisador: Sobre a sustentabilidade, em geral, na aviação, né? Que é o conceito que a gente tá trabalhando aqui... Então, nas empresas migrarem de um ciclo linear, de um ciclo de descarte, pra um ciclo circular onde a gente pense em todas essas frentes que a gente conversou aqui, né? Você, na sua posição, que está bastante vinculada principalmente ao comercial, né?

Participante C: Uhum.

Pesquisador: À estratégia... Então como que você vê isso? Com qual importância? Com qual perspectiva de aplicação, ou seja, quanto tempo isso vai demorar, né? Como que você enxerga a sustentabilidade na aviação de uma forma geral? O que você diria sobre ela?

Participante C: Eu também acho que é uma questão de geração e cultura. Há algum tempo atrás, era bonito fumar... As pessoas não querem que ninguém fume mais. Não se usava cinto de segurança e capacete... As pessoas não querem que isso aconteça mais. A gente tem um momento de transição de geração, ainda existe geração que não dá valor pra sustentabilidade e existe geração brigando por sustentabilidade. É... Sustentabilidade é algo que precisa se tornar prioridade, né? Porque, enfim, a gente sofre muito, né? Tem muito impacto em vários aspectos por conta de não olhar pra sustentabilidade... Eu acho que é uma questão de geração, né? A próxima geração que vai estar atuante no mercado desenvolvendo, produzindo e consumindo, ela vai estar diretamente ligada com sustentabilidade porque se ela não tiver, ela não vai ter condição de fazer isso, né? A gente teve uma geração pra trás que não aproveitou a oportunidade de ser sustentável, a gente tem essa geração que tá pregando e desenvolvendo sustentabilidade, e a gente vai ter outra geração que vai viver sustentabilidade. Então, eu acho que é só uma questão de ciclo de geração.

Participante C: A próxima geração vai ser a geração que vai viver sustentabilidade. A gente vai pregar a sustentabilidade. A gente vai conseguir fazer algumas coisas, né? Ainda tem... Tá engatinhando em um monte de segmento... Tem coisa que já é condição, se não for sustentável, não funciona... O agronegócio é uma delas, né? Apesar de se ter muito preconceito e muita discussão, muitas... As pessoas pouco entendem do agronegócio, a verdade é essa. O agronegócio, hoje, ele é bastante sustentável, briga por sustentabilidade, busca, desenvolve, investe em tecnologia pra sustentabilidade em todos os aspectos... Porque tem uma geração que cobra sustentabilidade, está-se vendo valor nisso, tá vendo a importância disso pra próxima geração... Só que a próxima geração é a geração que vive sustentabilidade, aí, ou tem ou não vive. Então, não tem muita... Não tem muita opção, né? E aí, isso afeta todo o ambiente, né? E não tem jeito... Não vai ser diferente na aviação. As pessoas vão querer consumir motorização que seja sustentável, material que seja sustentável, aproveitamento do produto de forma sustentável, é... Operação sustentável... Não tem como não ser assim, né? E um monte já tá acontecendo, um monte de coisa já tá acontecendo.

Participante C: Antigamente, avião era branco com faixa ou, no máximo, alguma faixa ou algum dizer da companhia. Hoje, avião é *outdoor*. Tem propaganda em avião, a pintura é uma propaganda... Existem aplicações que não são tinta, é um adesivo e ele tira e muda constantemente... A revista a bordo não é só mais pra falar da companhia, mas é pra vender uma série de outras coisas e experiências... O assento diferente é uma experiência que você

paga diferente pra ter... Tudo isso já é, já é... Aspecto de sustentabilidade rolando na aviação. Então, vai acontecer, né? E a indústria, ela... Ela observa comportamento de consumo do mercado, oportunidade de produzir com custo/benefício melhor, eliminando desperdício, né? Tem toda essa melhoria contínua... E ela tá sempre atenta à inovação. Que que eu vou aplicar? O que que tá sendo aplicado em outros segmentos que eu posso aproveitar pro meu, que vai agregar valor, que o cliente percebe valor? Hoje, as pessoas percebem valor naquilo que está relacionado a custo/benefício, mas já se agrega custo/benefício com saúde, com qualidade de vida, é... Com conceito de bem-estar, de cuidar do outro, de cuidar das coisas... À medida que esses valores vão sendo mais percebidos pelas pessoas, vão se tornando cultura, eles passam a se tornar pessoas dispostas a pagarem por ter aquilo quando adquire um serviço ou produto. Então, ninguém quer mais só um serviço de transporte, né? Ninguém quer mais só sair de um ponto e ir pra outro. As pessoas querem aquilo com qualidade, querem aquilo com experiência, querem aquilo com outros valores, né? Então, é levado em consideração praticidade, é levado em consideração saúde, é levado em consideração N fatores que não eram... Que, antigamente, era só relação custo/benefício. Então, assim, não vejo a aviação desvinculada de sustentabilidade e nem tão distante. Na verdade, já tá acontecendo... Eu só acho que vai evoluir bastante, especialmente, quando for uma mudança de geração, aí... Que a próxima geração for a geração que tá desenvolvendo o que o mercado vai estar consumindo.

Pesquisador: Muito bom. A gente encerra, eu agradeço a participação e a contribuição na pesquisa...

Participante C: Eu que agradeço... É um prazer imenso.

Pesquisador: Os exemplos, a experiência.

Participante C: Espero conseguir agregar, aí, de alguma forma... E, estou à disposição. Tantas quantas vezes você precisar falar de novo e falar mais ou entrar em algo mais específico, se eu puder ajudar, estou à disposição.

Pesquisador: Obrigada.

APÊNDICE 4

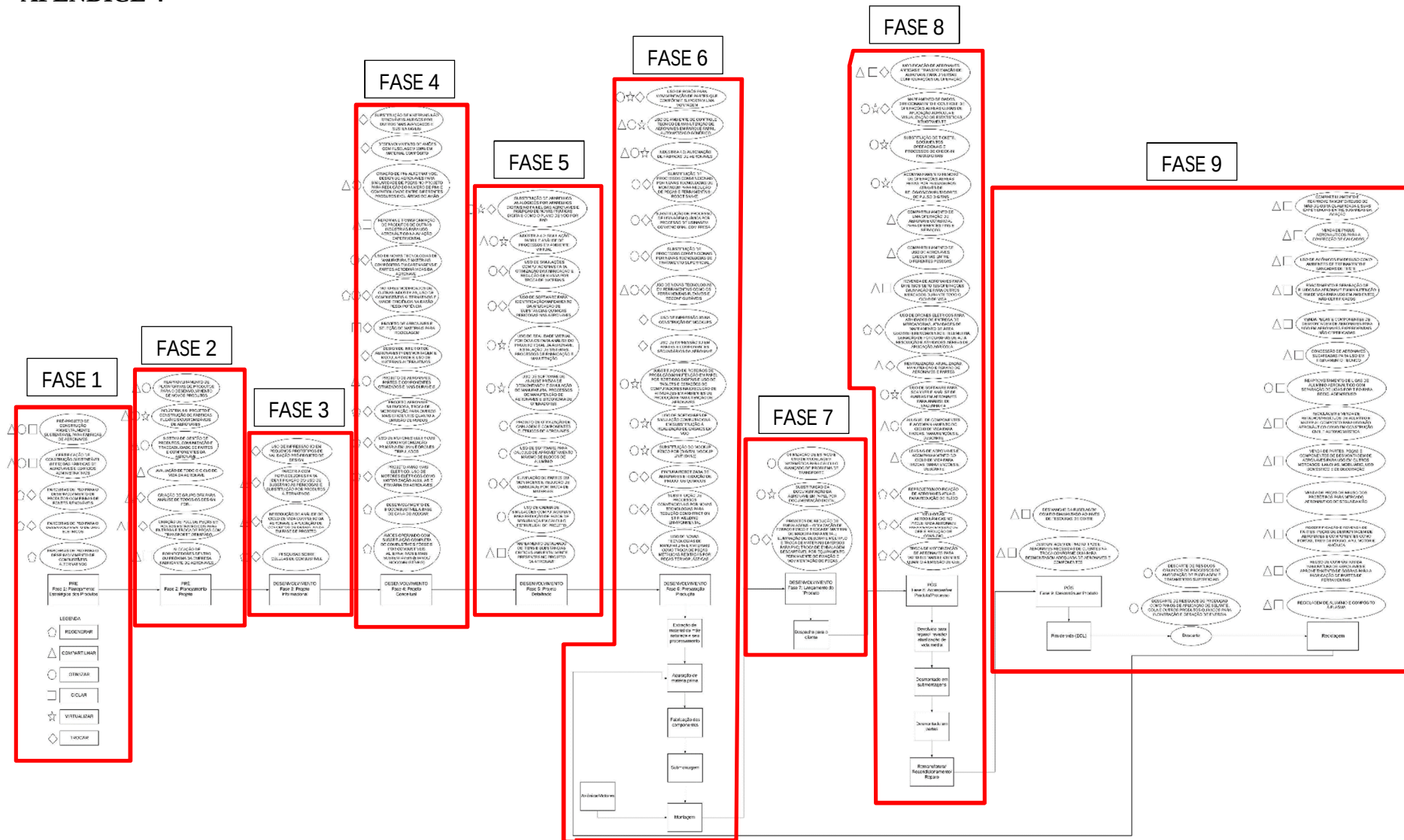


Figura 24. *Framework* ilustrativo de iniciativas de EC após análise empírica.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

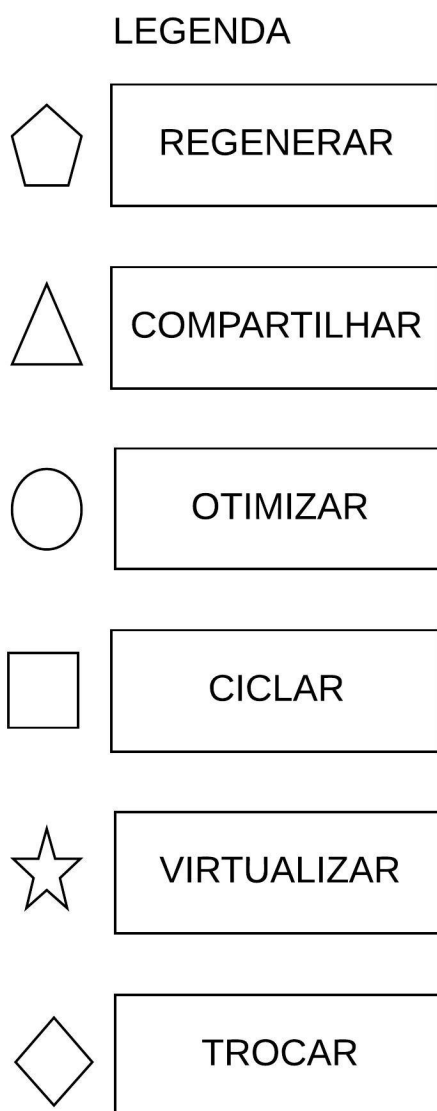


Figura 25. Legenda geométrica para ações do modelo ReSOLVE.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

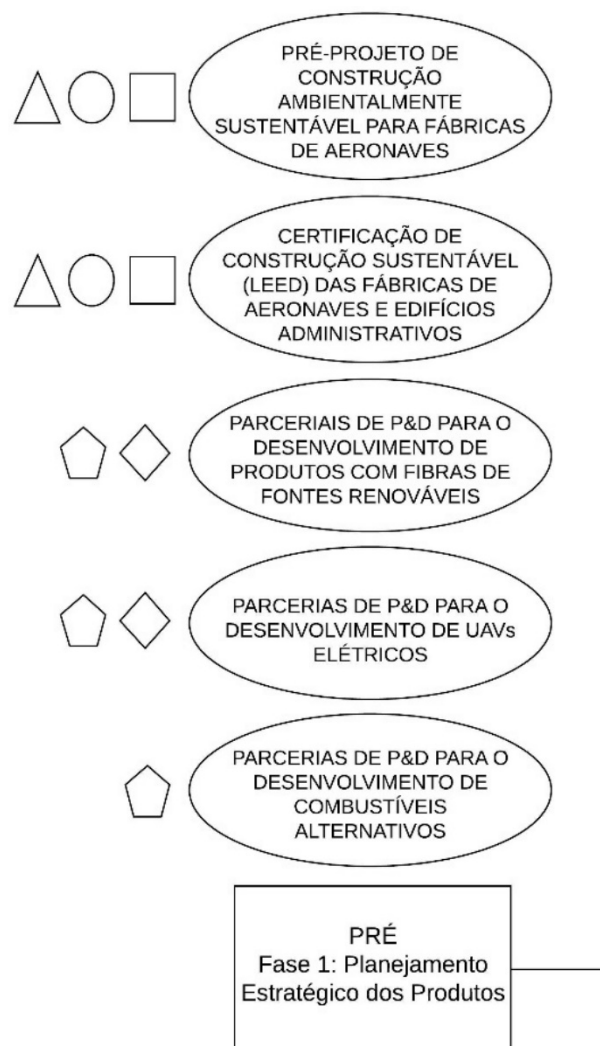


Figura 26. Fase 1: Planejamento Estratégico dos Produtos, iniciativas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).



Figura 27. Fase 2: Planejamento Projeto, iniciativas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

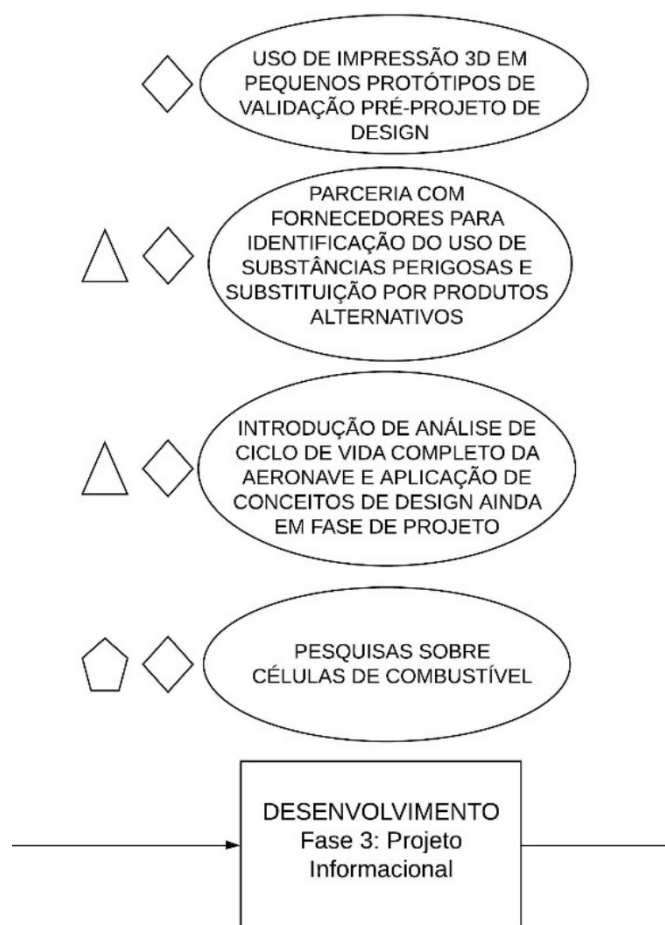


Figura 28. Fase 3: Projeto Informacional, iniciativas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

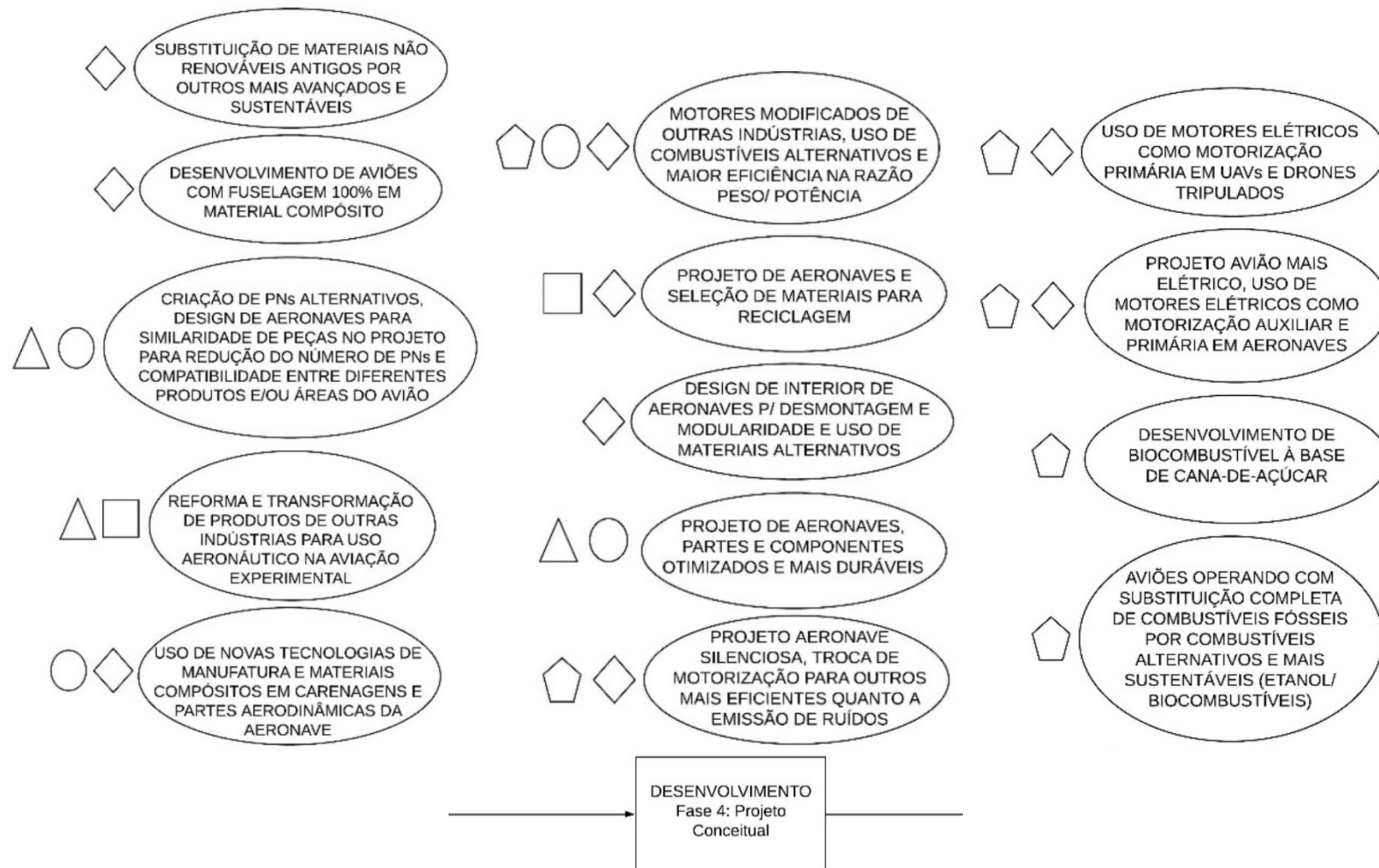


Figura 29. Fase 4: Projeto Conceitual, iniciativas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

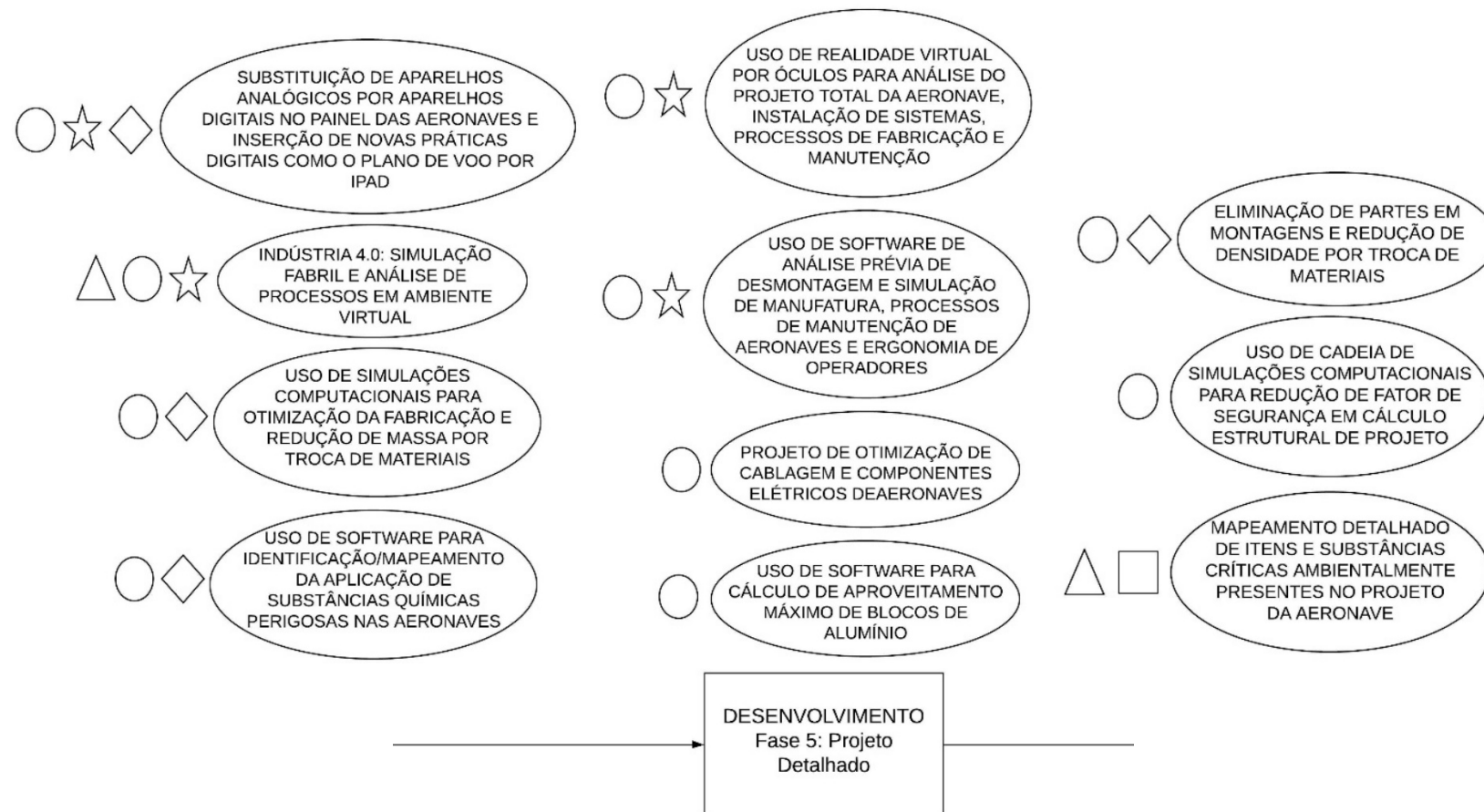
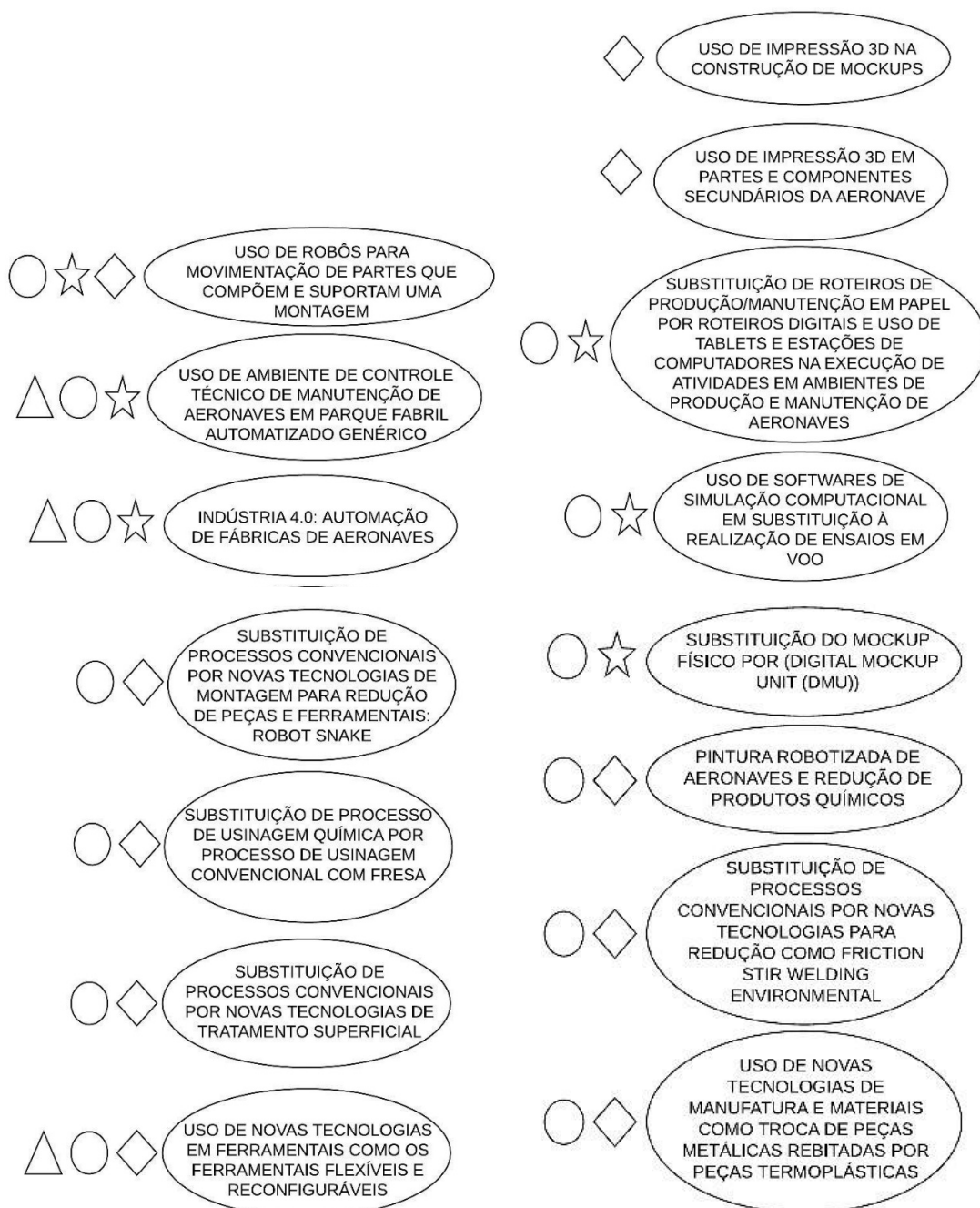


Figura 30. Fase 5: Projeto Detalhado, iniciativas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).



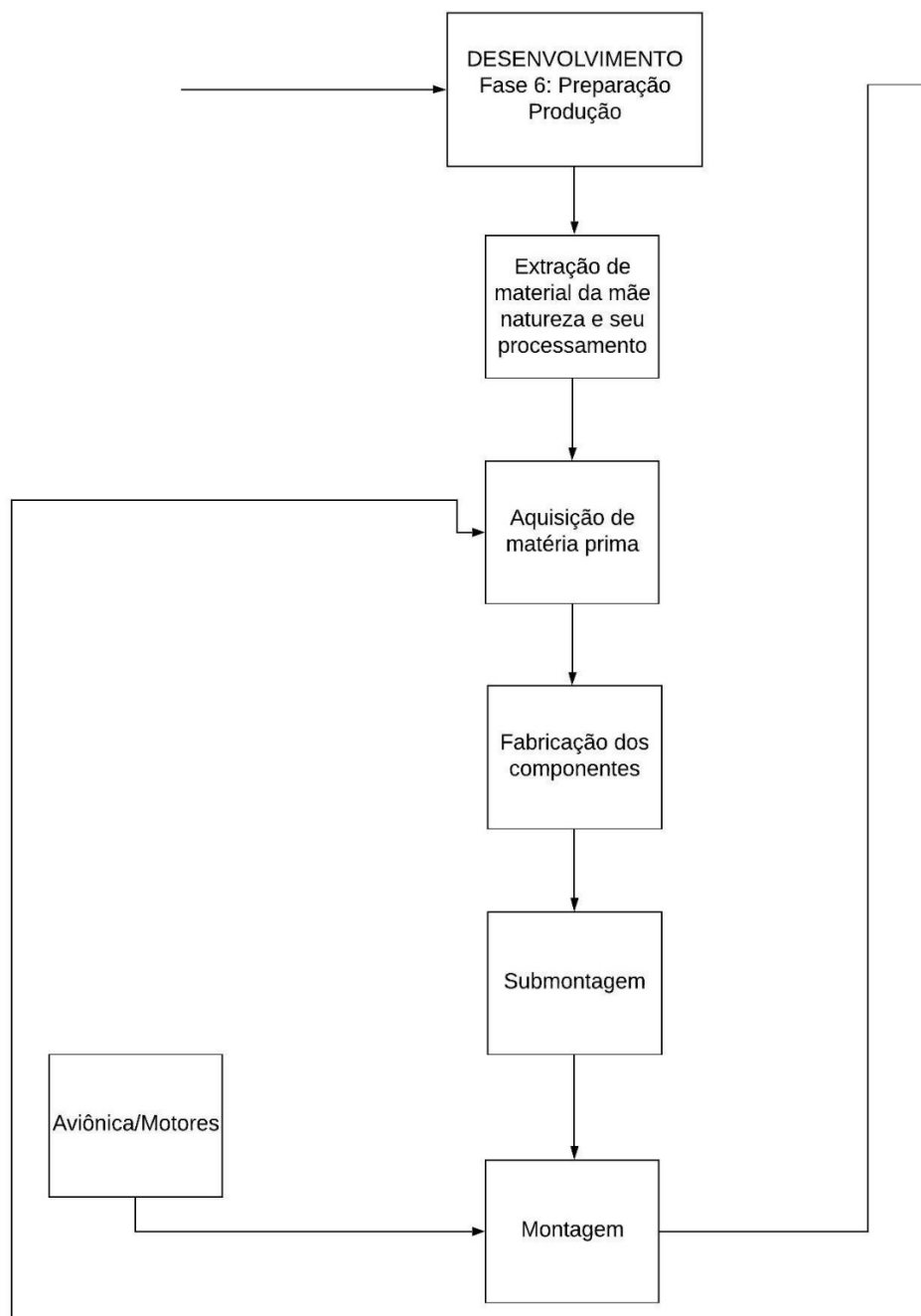


Figura 31. Fase 6: Preparação Produção, iniciativas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

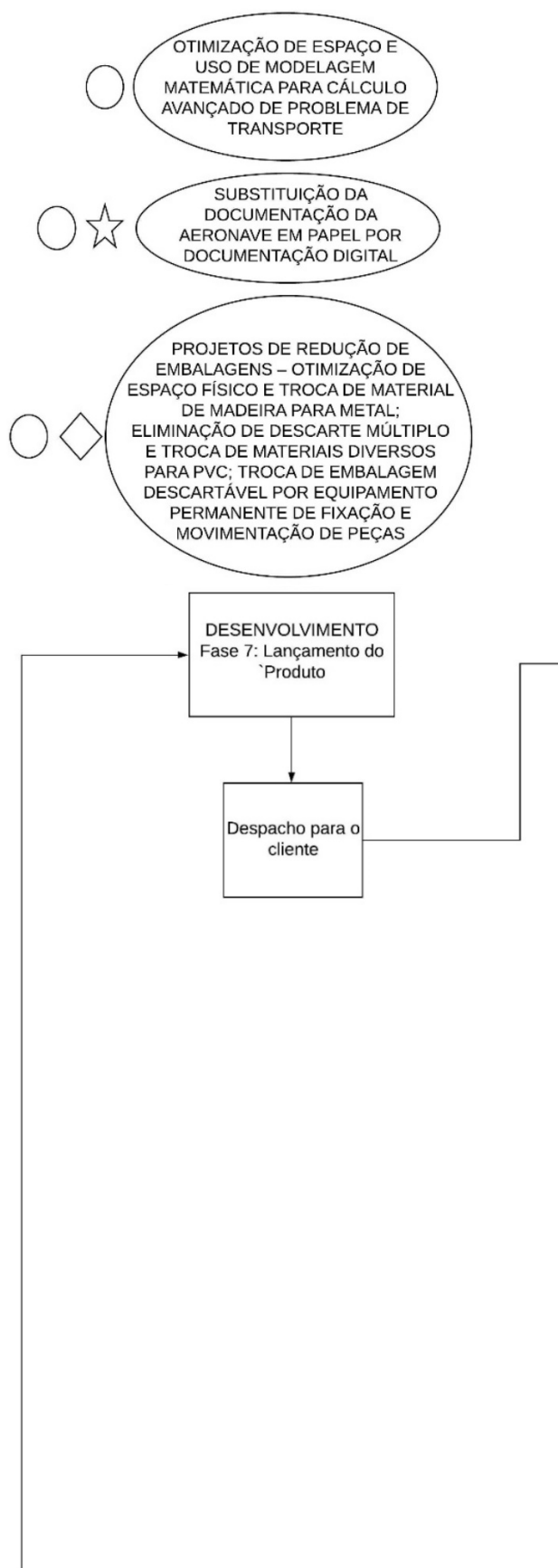
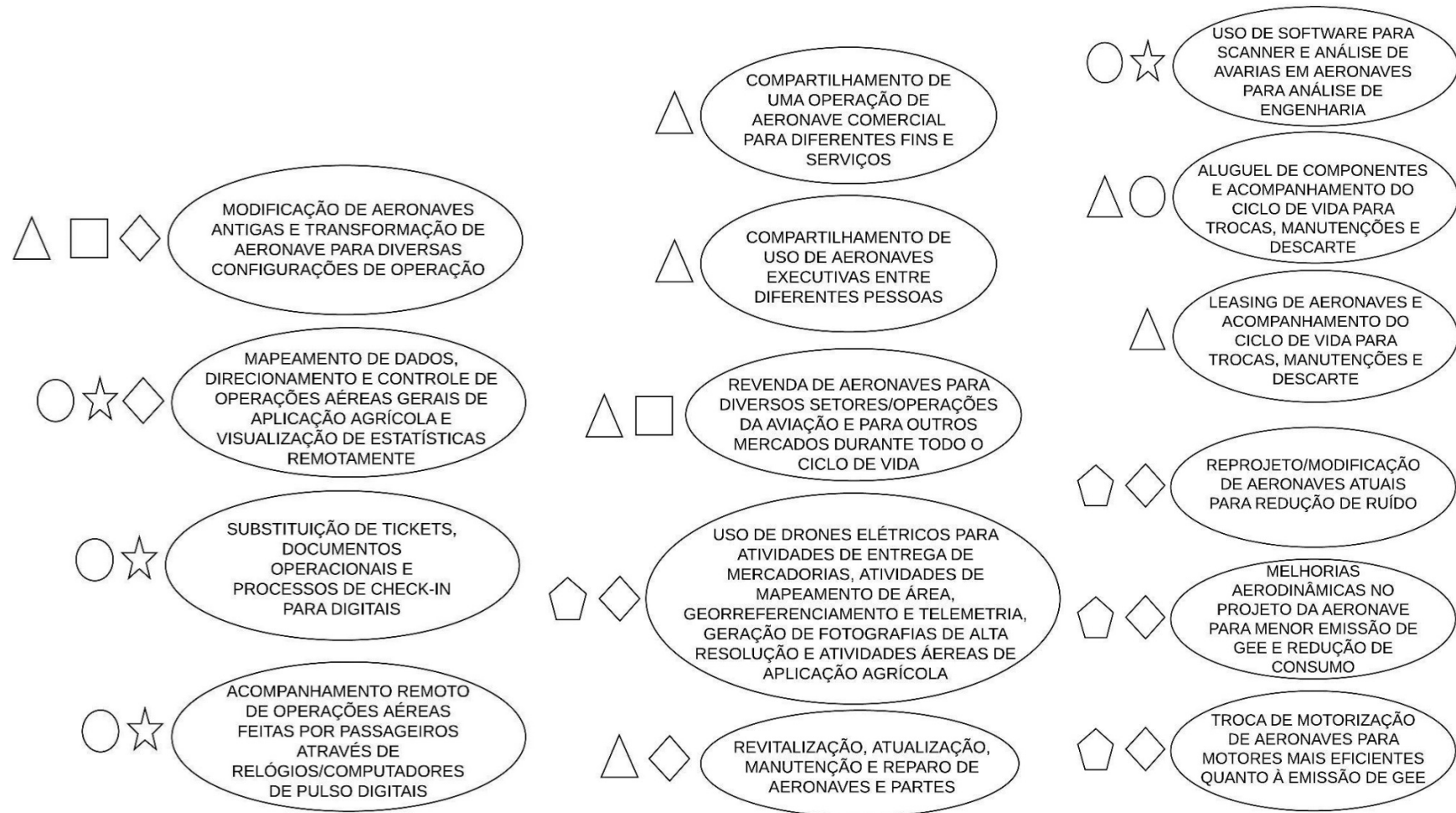


Figura 32. Fase 7: Lançamento do Produto, iniciativas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).



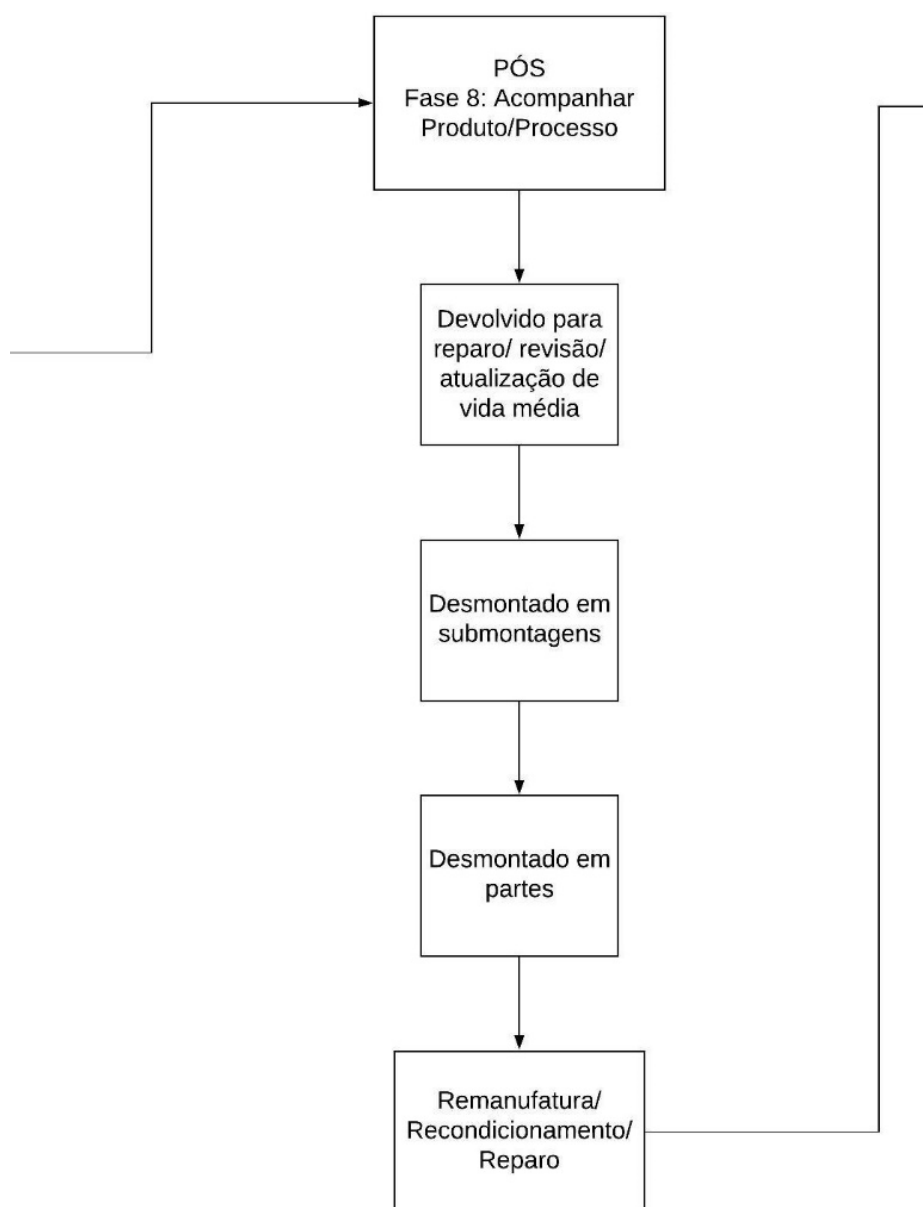


Figura 33. Fase 8: Acompanhar Produto/Processo, iniciativas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

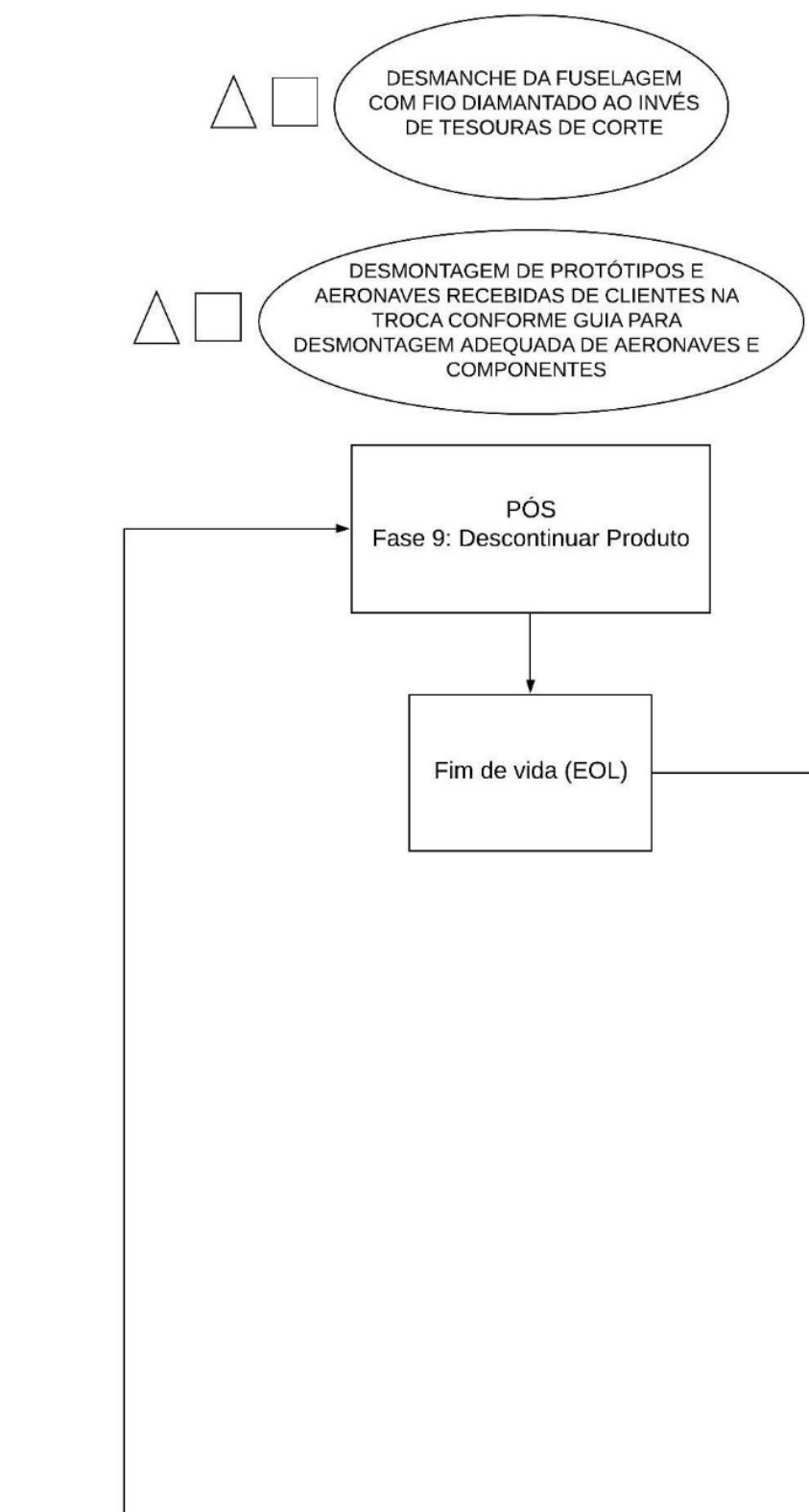


Figura 34. Fase 9: Descontinuar Produto, iniciativas (parte 1).

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

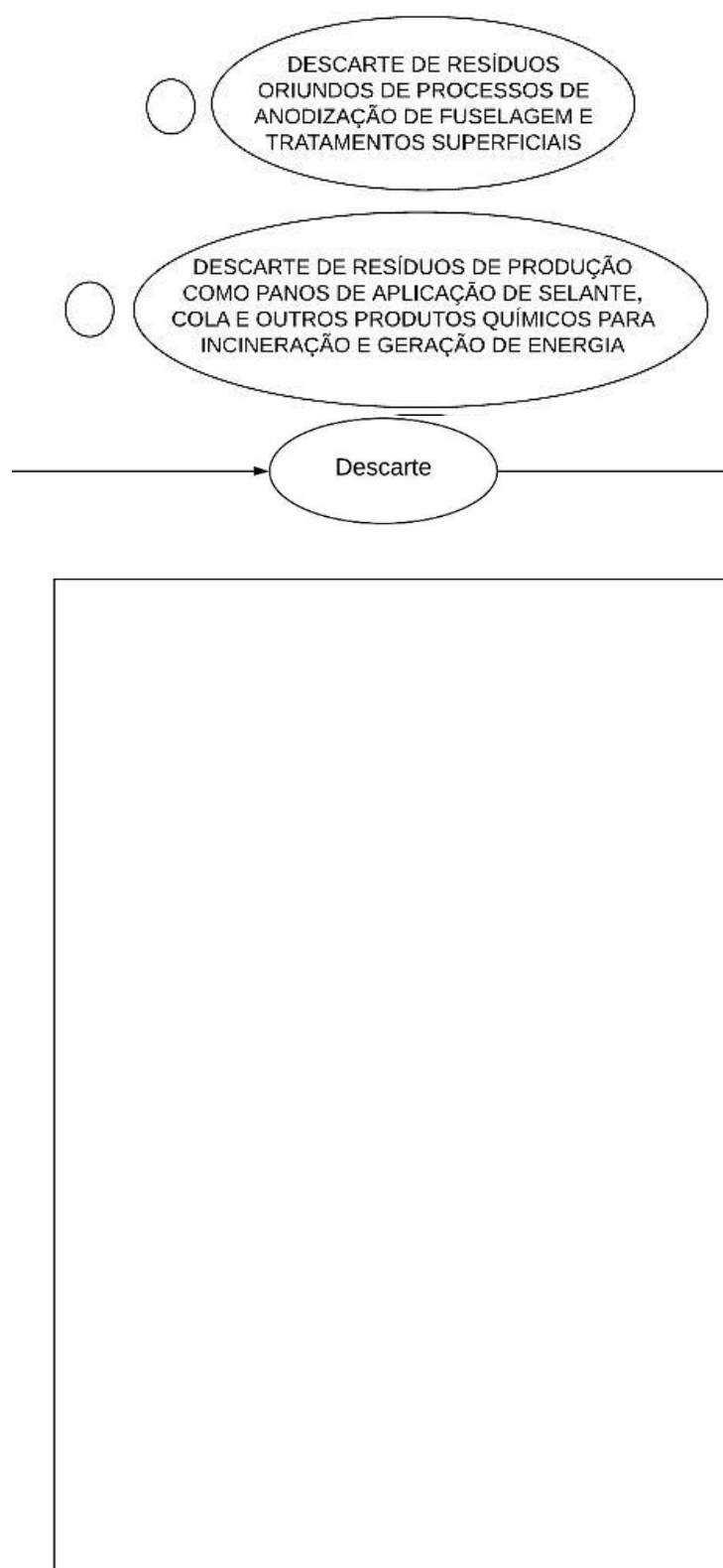


Figura 35. Fase 9: Descontinuar Produto, iniciativas (parte 2).

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

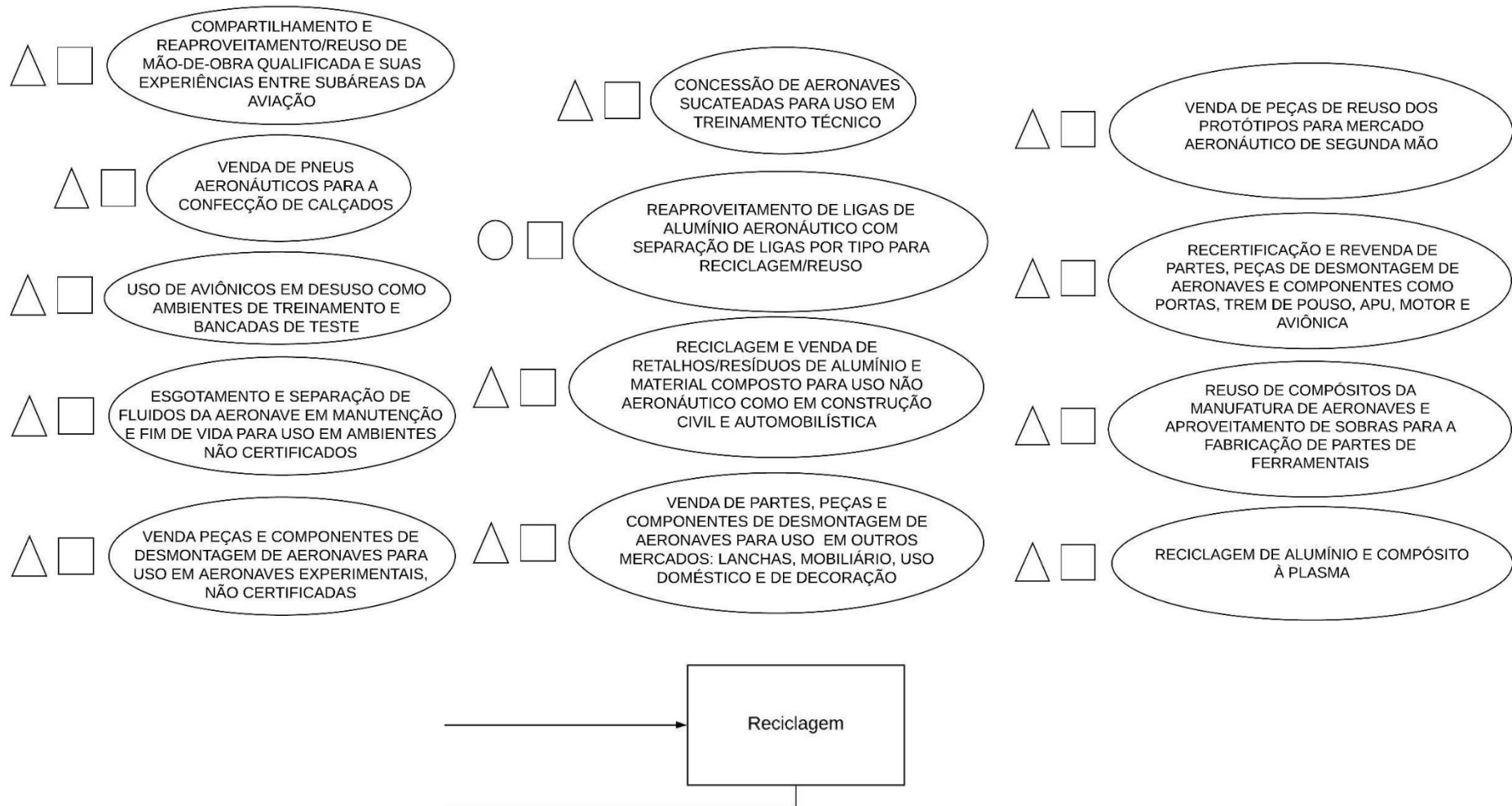


Figura 36. Fase 9: Descontinuar Produto, iniciativas (parte 3).

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).